



Strål
säkerhets
myndigheten

Swedish Radiation Safety Authority

2019:18

Granskningsrapport –
Utbyggnad och fortsatt drift av SFR



Strål
säkerhets
myndigheten

Swedish Radiation Safety Authority

2019:18

Granskningsrapport –
Utbyggnad och fortsatt drift av SFR

Datum: Oktober 2019

Rapportnummer: 2019:18 ISSN: 2000-0456

Tillgänglig på www.stralsakerhetsmyndigheten.se



Granskningsrapport

Datum: 2019-10-11

Diariennr: SSM2014-5966

Dokumentnr: SSM2014-5966-11

Granskningsrapport - Utbyggnad och fortsatt drift av SFR

Ansvariga handläggare: Bengt Hedberg, Anders Wiebert, Henrik Öberg

Arbetsgrupp: Nils Addo, Karin Aquilonius, Maria Bergström, Patrik Borg, Annika Bratt, Michael Egan, Björn Engström, Fredrik Forsberg, Leif Granholm, Elisabet Höge, Yvonne Johansson, Emil Jorpes, Flavio Lanaro (tidigare medarbetare), Sofia Lillhök, Georg Lindgren (tidigare medarbetare), Jinsong Liu, Gennadi Loskoutov, Maria Nordén, Carl-Henrik Pettersson, Lena Sonnerfelt (tidigare medarbetare), Karolina Stark, Bo Strömberg, Mikael Ungell, Anders Viklund, Shulan Xu (tidigare medarbetare).

Godkänd av: Ansi Gerhardsson



Innehåll

Innehåll	2
Del I Sammanvägd bedömning.....	7
1 Inledning.....	7
1.1 Om befintlig och planerad utökad verksamhet	7
1.2 Översiktligt om SKB:s ansökan.....	9
1.3 Rapportstruktur	10
2 Granskningens genomförande	11
2.1 Den parallella och stegvisa prövningsprocessen.....	11
2.2 Tillståndsprövning av en anläggning i drift.....	13
2.3 SSM:s beredningsarbete	15
3 SSM:s bedömning av ansökan	17
3.1 Förutsättningar för SSM:s ställningstagande	17
3.2 SSM:s ställningstagande till SKB:s yrkanden	20
3.3 SSM:s förslag till tillståndsvillkor	20
3.4 Sammanfattning av SSM:s granskningsresultat.....	26
Del II Anläggningsutformning, drift mm.....	43
1 Inledning.....	43
1.1 Övergripande beskrivning av kravbilden.....	43
1.2 Struktur Del II av granskningsrapporten.....	44
2 Sammanvägd bedömning för Del II.....	45
2.1 Krav	45
2.2 SSM:s bedömningar av SKB:s förutsättningar att uppfylla grundläggande säkerhetsbestämmelser.....	46
3 Lokalisering, konstruktion och utförande samt drift.....	50
3.1 Förläggningsplats.....	50
3.2 Konstruktionsregler	51
3.3 Anläggnings- och funktionsbeskrivning samt uppförande av den utbyggda anläggningen.....	63
3.4 Anläggningens drift med tillhörande program och instruktioner.....	68
4 Analyser av säkerheten under uppförande och drift	72
5 Utsläpp av radioaktiva ämnen under normala driftförhållanden och vid driftstörningar 76	
6 Utformningen av den planerade verksamhetens personalstrålskydd	79
7 Planer för framtida avveckling av anläggningen	87
8 Fysiskt skydd	88
9 Beredskap.....	90



10	SKB:s organisation, ledning och styrning	91
10.1	Organisation, ekonomiska, administrativa och personella resurser	91
10.2	Ledningssystem och kvalitetssäkring	95
10.3	Upphandling av produkter och tjänster	96
10.4	Kompetenssäkring	97
10.5	Erfarenhetsåterföring	99
10.6	Arbetsförutsättningar	100
11	Ekonomisk säkerhet för ersättning vid radiologiska olyckor	102
12	Inventariet av radioaktiva ämnen och avfall som uppstår i anläggningen	102
12.1	Källtermer för spridningsberäkningar under driftfasen	102
12.2	Kärnämne och kärnavfall	103
Del III Långsiktig strålsäkerhet		105
1	Inledning - granskning av långsiktig strålsäkerhet	105
1.1	Kravbild	105
1.2	Struktur del III av granskningsrapporten	105
2	Säkerhetsanalysmetodik långsiktig strålsäkerhet	106
2.1	Inledning	106
2.2	Säkerhetsanalysens innehåll	109
2.3	Säkerhetsanalysmetodik	112
2.4	FEP-hantering	115
2.5	Initialtillstånd och inre betingelser	117
2.6	Yttre betingelser	118
2.7	Säkerhetsfunktioner och säkerhetsfunktionsindikatorer	120
2.8	Hantering av osäkerheter	122
2.9	Tillämpbarhet av modeller, parametervärden och andra förutsättningar	122
2.10	Kvalitetssäkring	123
2.11	Återkoppling till teknikutveckling, framtida analyser och SKB:s kärnavfallsprogram	126
2.12	Sammanvägd bedömning	127
3	Geosfären och platsförutsättningar	128
3.1	Inledning	128
3.2	Långsiktig klimatutveckling	129
3.3	Geologi	138
3.4	Bergmekanik	146
3.5	Hydrogeologiska förhållanden	148
3.6	Geokemiska förhållanden	154
3.7	Ytnära systemet	158
3.8	Sammanfattande bedömning	161



4	Slutförvarets initialtillstånd.....	163
4.1	Inledning.....	163
4.2	Avfallskollin och –matris.....	165
4.3	Betongbarriärer och betongkonstruktioner	189
4.4	Lerbarriärer	217
4.5	Berg och bergutrymmen	221
4.6	Förslutningen	225
4.7	Sammanfattande bedömning.....	234
5	Slutförvarets utveckling de första 1000 åren	238
5.1	Inledning.....	238
5.2	Avfallskollin och –matris.....	240
5.3	Betongbarriärer och betongkonstruktioner	245
5.4	Lerbarriärer	257
5.5	Berg och bergutrymmen	263
5.6	Hydrogeologi i närzonen och berget.....	268
5.7	Kemiska betingelser i närzonen och berget	272
5.8	Sammanfattande bedömning.....	276
6	Slutförvarets utveckling efter 1000 år - tempererat klimat	280
6.1	Inledning.....	280
6.2	Avfallskollin och –matris.....	281
6.3	Betongbarriärer och betongkonstruktioner	286
6.4	Lerbarriärer	295
6.5	Hydrogeologi i närzon och berget.....	308
6.6	Kemiska betingelser i närzonen och berget	311
6.7	Retardationsmekanismer för radioaktiva ämnen i slutförvarsmiljön	315
6.8	Sammanfattande bedömning.....	338
7	Slutförvarets utveckling efter 1000 år - periglacialt klimat	344
7.1	Inledning.....	344
7.2	Övergripande redovisning för tiden efter 1000 år – periglacialt klimat.....	345
7.3	Betongbarriärer	347
7.4	Lerbarriärer	348
7.5	Hydrogeologi i närzonen och berget.....	349
7.6	Kemiska betingelser i närzonen och berget	350
7.7	Sammanfattande bedömning.....	351
8	Framtida mänskliga handlingar.....	352
8.1	Inledning.....	352
8.2	Allmänt om framtida mänskliga handlingar	353
8.3	Brunnsborrning i anslutning till förvaret	359



8.4	Övergivet och oförslutet förvar.....	362
8.5	Borrning i förvaret	363
8.6	Indirekt påverkan på förvaret.....	366
9	Scenarier	367
9.1	Inledning	367
9.2	Val och kategorisering av scenarier	368
10	Konsekvensanalys.....	382
10.1	Inledning	382
10.2	Metodik.....	383
10.3	Modeller för radionuklidtransport i när- och fjärrområdet	385
10.4	Modeller för radionuklidtransportmodellering i biosfären, dosberäkningar och miljöpåverkan	390
10.5	Radionuklidtransportparametrar och deras utveckling med tiden	402
10.6	Redovisningar av konsekvenser för människa och miljö.....	405
10.7	Sammanfattande bedömning av SKB:s konsekvensanalys.....	417
11	Sammanfattande bedömning utifrån SSM:s granskningsresultat	419
11.1	Kravbild	419
11.2	Tillämpningsområde	424
11.3	Helhetssyn på strålsäkerhet.....	425
11.4	Barriärsystemet och dess funktioner	426
11.5	Optimering och bästa möjliga teknik.....	429
11.6	Slutförvarets konstruktion och utförande samt intrång och tillträde.....	432
11.7	Skydd av människors hälsa och miljöskydd	439
11.8	Tidsperioder i säkerhetsanalysen	443
11.9	Säkerhetsanalys och hantering av osäkerheter.....	445
Del IV	Miljöbalkens krav, optimering och bästa möjliga teknik.....	452
1	Allmänna hänsynsregler	452
1.1	Inledning	452
1.2	Grundläggande strålskyddsprinciper och de allmänna hänsynsreglerna	452
1.3	SKB:s underlag	453
1.4	Kunskapskravet.....	454
1.5	Försiktighetsmått med krav på bästa möjliga teknik	457
1.6	Produktvalsprincipen	459
1.7	Hushållnings- och kretsloppsprincipen.....	460
1.8	Lokalisering	461
1.9	Rimlighetsavvägning	466
2	Alternativredovisning – platsval och utformning av anläggningen	468
2.1	Krav	468



2.2	Alternativa platser	470
2.3	Alternativa utformningar	481
2.4	Sammanvägd bedömning gällande val av plats och val av utformning.....	492
3	Miljökonsekvensbeskrivningen	493
3.1	Inledning	493
3.2	Beskrivning av SKB:s underlag.....	496
3.3	Avgränsning av MKB/ansökan mot bakgrund av ändamål	496
3.4	Beskrivning av verksamheten	497
3.5	Beskrivning av planerade åtgärder för att undvika skadliga verkningar.....	498
3.6	Uppgifter som krävs för att påvisa och bedöma inverkan på människors hälsa och miljö	499
3.7	Alternativredovisningen i MKB	500
3.8	Samråd	503
3.9	Icke-teknisk sammanfattning.....	504
3.10	Sammanvägd bedömning MKB.....	504
4	Miljökvalitetsnormer	505
	Referenser	506
	Bilaga.....	533
	Övriga remisspunkter.....	533

Del I Sammanvägd bedömning

1 Inledning

Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB) har ansökt om att få utöka verksamheten vid befintlig anläggningen för slutförvaring av låg- och medelaktivt radioaktivt avfall i Forsmark (SFR). Syftet med SKB:s ansökan är att etablera ytterligare slutförvaringskapacitet för att kunna hantera och slutförvara låg- och medelaktivt avfall från rivning av anläggningar där den kärntekniska verksamheten upphört.

Strålsäkerhetsmyndigheten (SSM) är beredande myndighet inför regeringens beslut om tillstånd enligt lagen (1984:3) om kärnteknisk verksamhet (kärntekniklagen) för att utöka verksamheten vid det befintliga förvaret. Myndigheten redovisar i denna rapport hur SSM granskat och värderat SKB:s ansökansunderlag, tillsammans med de bedömningar som ligger till grund för SSM:s ställningstagande till SKB:s ansökan i myndighetens yttrande till regeringen.

1.1 Om befintlig och planerad utökad verksamhet

1.1.1 Befintlig verksamhet

Slutförvaret för låg- och medelaktivt radioaktivt avfall, SFR, är beläget på ön Stora Asphällan i Forsmark i Östhammars kommun. Avfallet från Forsmarks kärnkraftverk transporteras till SFR landvägen med terminalfordon. Från övriga kustförlagda kärntekniska anläggningar transporteras avfallet med SKB:s fartyg m/s Sigrid till hamnen vid SFR.

Befintlig anläggning består av en ovanjordsdel och en underjordsdel. Ovanjordsdelen utgörs av driftområdet och de centrala delarna utgörs av terminalbyggnad, kontors- och verkstadsbyggnad samt ventilationsbyggnad. Underjordsdelarna, i vilka själva slutförvaringen sker, ligger 60-140 meter under havsbotten. Dessa består av fyra 160 meter långa bergssalar och ett bergrum med en 50 meter hög silo samt ett tillhörande system av tunnlar och schakt och andra anläggningsdelar. Två parallella kilometerlånga tillfartstunnlar förbinder anläggningen med markytan.

Avfallets aktivitetsinnehåll och sammansättning är avgörande för både valet av förpackning, hanteringen av avfallet efter mottagandet och valet av deponeringsplats i SFR. Vid ankomsten till SFR görs en administrativ kontroll av dokumentation och transportbehållare inför deponering, så att rätt kolli deponeras i avsedd förvarsdel.

Efter mottagningskontroll transporteras avfallskollina med hjälp av terminalfordon genom drifttunneln ner till avsedd förvarsdel och lastas av i respektive förvarsdels inlastningszon eller, beroende på hanteringssystem i aktuell förvarsdel, direkt på avsedd plats i förvarsdelen. Kontroll av avfallskollina görs vid urlastning ur transportbehållare. Vid eventuellt uppkomna avvikelser vidtas erforderliga åtgärder för att korrigera avvikelserna och för att undvika upprepande.

Silon utgör det mest kvalificerade förvaringsutrymmet och där slutförvaras det mest radioaktiva avfallet. Siloförvaret är avsett för i huvudsak medelaktivt solidifierat avfall



från reaktorreningskretsar. Högsta tillåtna ytdosrat för avfallskollin är 500 mSv/h och hanteringen sker av strålskyddsskäl med fjärrstyrd utrustning. Förvaret består av ett cylindriskt bergtrum i vilken en fristående betongcylinder uppförts med en förvarsvolym för avfall om ca 17 700 m³.

Bergsalen för medelaktivt avfall (1BMA) har en förvarsvolym för avfall om ca 13 100 m³. Förvaret är avsett för i huvudsak medelaktiva solidifierade reningsmassor bl.a. från kondensatreningskretsar, slam samt annat medelaktivt fast avfall som skrotade komponenter och sopor. Högsta tillåtna ytdosrat är 100 mSv/h och hanteringen sker av strålskyddsskäl liksom i silon med fjärrstyrd utrustning.

Bergsalen för lågaktivt avfall (1BLA) har kapacitet att slutförvara ca 14 300 m³ avfall som i huvudsak utgörs av lågaktivt fast avfall, i huvudsak sopor och skrot. Högsta tillåtna ytdosrat är 2 mSv/h och hanteringen sker med gaffeltruck.

Bergsalarna för betongtankar (betongtankförvar 1BTF, 2BTF) har kapacitet att slutförvara ca 7 700 m³ avfall per förvarsdel som i huvudsak utgörs av avvattnad jonbyarmassa från kondensatreningskretsar samt aska från förbränning. Högsta tillåtna ytdosrat är 10 mSv/h och hanteringen sker med gaffeltruck.

1.1.2 Om planerad utökad verksamhet

SKB anger att genom utbyggnaden av SFR kommer ytterligare slutförvarsutrymme att tillskapas i direkt anslutning till befintliga förvarsutrymmen. Befintliga ovanjordsdelar kommer att anpassas till den framtida verksamhetens behov genom tillbyggnader och uppförande av nya byggnader och ytor. Tillkommande underjordsdelar kommer att bestå av sex bergsalar belägna 120 meter (taknivå) under havsytan samt tillhörande drift och teknikutrymmen.

De tillkommande bergsalarna kommer att utgöras av fyra bergsalar för lågaktivt avfall (2-5BLA), en bergsal för medelaktivt avfall (2BMA) samt en bergsal för reaktortankar (1BRT). Den tillkommande delen kommer att anslutas till befintliga nedfarter (det vill säga bygg- och drifttunnel).

Under utbyggnaden kommer driften att pågå i de befintliga delarna av anläggningen. I och med att de tillkommande underjordsdelarna kommer att uppföras i nära anslutning till de befintliga delarna kan deponeringsstopp förekomma under byggskedet.

Under byggskedet kommer system som exempelvis elförsörjning och ventilation under jord i befintlig anläggning att fortsätta fungera som i dagsläget, och delen under byggnation att försörjas av provisoriska system. Inför drifttagning av den utbyggda anläggningen kommer dessa system att integreras för att under driftskedet fungera som en integrerad anläggning.

1.1.3 Om gällande tillstånd för SFR

Regeringen lämnade i beslut 1983-06-22 tillstånd enligt dåvarande 2 § atomenergilagen (1956:306) till uppförande och drift av en anläggning för slutlig förvaring av låg- och medelaktivt avfall (SFR1) [*Regeringens beslut den 22 juni 1983 i ärende 1034/83, 1099/83, 1110/83, 1189/83, dossié 2611*].

Regeringen lämnade i beslut 1983-06-22 tillstånd (dnr FI 999/82) enligt dåvarande 136a § byggnadslagen (1947:385) till uppförande och drift av en underjordisk anläggning för slutförvaring av 90 000 m³ låg- och medelaktivt radioaktivt driftavfall (SFR1). Det första steget planerades att byggas ut i två etapper (SFR1 etapp 1 och etapp 2). Med undantag från försvarsdelen Silo, togs den första etappen, med en slutförvaringskapacitet om cirka 63 000 m³ avfall, i drift år 1988. Drifttillstånd medgavs för siloförvaret 1992. Den efterföljande etappen (SFR1 etapp 2) byggdes inte ut inom angivna igångsättningstider varför tillståndet i outnyttjade delar har förfallit.

Dåvarande Koncessionsnämnden för miljöskydd lämnade genom beslut 1983-12-01 (nr 192/83) tillstånd enligt miljöskyddslagen till uppförande och drift av ett slutförvar för låg- och medelaktiva avfallsprodukter från de svenska kärnkraftverken med mera [*Regeringens beslut den 22 juni 1983, dnr FI 999/82*]. Även enligt miljöskyddslagstiftningen har tillståndet att slutförvara mer än 63 000 m³ avfall förfallit.

1.2 Översiktligt om SKB:s ansökan

SKB lämnade den 19 december 2014 in ansökan enligt lagen (1984:3) om kärnteknisk verksamhet (kärntekniklagen) om tillstånd för utökad verksamhet vid SFR. SKB ansöker om tillstånd att:

1. vid anläggningen för slutförvaring av låg- och medelaktivt radioaktivt avfall i Forsmark, Östhammars kommun (SFR) uppföra de anläggningar som krävs för att efter utbyggnad slutförvara maximalt 180 000 m³ låg- och medelaktivt avfall, allt avfall härrörande från kärnteknisk verksamhet och annan verksamhet med strålning i Sverige (innefattande en utökning av den tillståndsgivna slutförvarsvolymen med 117 000 m³);
2. inneha och driva befintlig och utbyggd del av SFR som en integrerad anläggning för slutförvar av låg- och medelaktivt avfall samt, dessförinnan, inneha och driva befintlig del av SFR som en anläggning för slutförvar av låg- och medelaktivt avfall;
3. i SFR inneha, hantera, transportera, slutförvara och på annat sätt ta befattning med i punkten 1 angivet avfall;

SKB yrkar vidare:

att miljökonsekvensbeskrivningen godkänns;

samt

att regeringen föreskriver följande villkor för verksamheten i SFR:

1. Verksamheten ska bedrivas i huvudsaklig överensstämmelse med vad som anges i ansökningshandlingarna.

Maximalt tillåtet aktivitetsinnehåll i SFR för avfall som ska slutförvaras begränsas till $2 \cdot 10^{16}$ Bq (Becquerel).

Det ankommer på Strålsäkerhetsmyndigheten att meddela närmare villkor för att reglera maximalt nuklidspecifikt innehåll per försvarsdel med hänsyn till säkerheten under drift samt avseende säkerheten efter förslutning.

2. Strålsäkerhetsmyndigheten får godkänna förändringar i den i ansökan redovisade utformningen av anläggningen, till exempel utformning av bergsalar och barriärer.

SKB specificerar vidare att;

”Ändamålet med den sökta verksamheten är att slutförvara låg- och medelaktivt avfall för att skydda människors hälsa och miljön mot skadlig verkan av joniserande strålning från avfallet, nu och i framtiden. Avfallet som ska slutförvaras kommer från drift, avveckling och rivning av svenska kärntekniska anläggningar samt viss övrig verksamhet i Sverige. Ytterligare förvarutrymme behövs för slutförvaring av låg- och medelaktivt avfall för att möjliggöra rivning av anläggningar där den kärntekniska verksamheten upphört.”

1.3 Rapportstruktur

Rapporten omfattar förutom denna inledande del, som redovisar en sammanfattande bedömning utifrån granskningen av hela ansökan, frågor kring anläggningsutformning, drift, m.m., långsiktig strålsäkerhet samt frågor avseende miljöbalkens krav. Upplägget innefattar avsnittsvis en beskrivning av SKB:s underlag, samt SSM:s bedömning av underlaget. I de fall där avsnittet kan kopplas till ett krav i SSM:s föreskrifter återges en beskrivning av aktuell kravbild inledningsvis i avsnittet. Om det finns någon inkommen remissynpunkt kopplat till ett specifikt avsnitt återges en sammanfattning av remissinstansens synpunkt(-er) under en separat rubrik efter beskrivningen av SKB:s underlag, liksom hur SSM har beaktat synpunkten inom ramen för beredningen.

I del II redovisas granskningen av Bilaga F-PSAR SFR allmän del I, dvs. anläggningsutformning och drift av det utbyggda SFR. Därutöver ingår en granskning av bilagorna AV PSU, VOLS-Ansökan PSU och VOLS-Bygg PSU. Därmed beaktas aspekter av anläggningens uppförande, drift och avveckling.

I del III i denna granskningsrapport utgår SSM systematiskt från alla relevanta krav på slutförvarets långsiktiga strålsäkerhet vilka preciseras i SSMFS 2008:21 och SSMFS 2008:37. I de allmänna råden ger SSM närmare rekommendationer av hur de krav som följer av föreskrifterna kan uppfyllas. Rapportdelen är systematiskt uppbyggd för att åskådliggöra myndighetens bedömningar avseende säkerhetsanalys och säkerhetsanalysmetodik, beskrivningen av platsens egenskaper, slutförvarets förväntade utveckling över de tidsperioder som preciseras i SSM:s föreskrifter för olika klimatfall, samt scenario- och konsekvensanalys. I kapitel 11 i del III utförs specifika bedömningar gentemot samtliga föreskriftskrav i SSMFS 2008:21 och SSMFS 2008:37 baserat på det bedömningsunderlag som återfinns i rapportdelens övriga kapitel.

I del IV redogörs för granskningen och bedömningen av ansökan gentemot tillämpliga krav från miljöbalken samt de krav gällande bästa möjliga teknik och optimering som också följer av SSM:s föreskrifter på en övergripande nivå.

2 Granskningens genomförande

2.1 Den parallella och stegvisa prövningsprocessen

2.1.1 Prövningen enligt kärntekniklagen

Tillstånd enligt kärntekniklagen utgör den första fasen i en prövningsprocess i tre steg där SSM, om regeringen har lämnat tillstånd, ska bedöma och ta ställning till förnyade säkerhetsanalyser från SKB avseende (1) uppförande av anläggningen, (2) provdrift och där- efter (3) rutinmässig drift av denna. Både regeringen och SSM kan ställa villkor dels kopplade till något av prövningsstegen, dels löpande under dessa steg. Villkor kan ställas med utgångspunkt från bestämmelser i såväl kärntekniklagen (1984:3) som strålskyddslagen (2018:396). SSM kan även genomföra tillsynsinsatser utifrån ställda krav på plats under samtliga steg.

Bestämmelserna om ett stegvist prövningsförfarande bygger på IAEA:s Safety Guide No. GS-G-4.1. Principen är väl förankrad internationellt.

De säkerhetsanalyser som ingår i den inlämnade ansökan om tillstånd enligt kärntekniklagen är, i enlighet med den stegvisa prövningsprocessen, s.k. förberedande preliminära säkerhetsredovisningar (F-PSAR). Dessa ska innehålla en redovisning som gör det möjligt att på en övergripande nivå kunna bedöma uppfyllelse av vissa övergripande krav, samt om det finns förutsättningar för sökanden att etablera och bedriva verksamheten på ett sådant sätt att myndighetens strålsäkerhetskrav, det vill säga krav på säkerhet och strålskydd samt krav på kärnämneskontroll, kan uppfyllas.

De bedömningar som SSM har att göra i detta skede gäller således det första steget i den stegvisa processen enligt ovan. Det innebär att myndighetens bedömningar för delar av kravbilderna i detta skede kan utgå från principbeskrivningar och planer på vilket ytterligare utvecklingsarbete som behövs för att konkretisera den slutliga utformningen samt även bolagets strålsäkerhetsmässiga förmåga, kompetens och resurser.

Remissinstansers synpunkter

Östhammars kommun

Östhammars kommun anser sig (SSM2015-1640-33) ha en befogad rätt till insyn och delaktighet i såväl pågående prövningar som eventuella prövningar i framtiden och förutsätter därför att SSM vid beredning av frågor rörande förändringar av verksamheten tillgodoser kommunens berättigade krav om delaktighet, insyn och information.

Östhammars kommun vill föra fram (SSM2017-5439-4) en begäran om att Strålsäkerhetsmyndigheten i den fortsatta processen av säkerhetsredovisningar tillgodoser kommunens berättigade krav på att få insyn, vara remissinstans och en aktiv part även efter att tillstånd har lämnats av regeringen.

SSM:s beaktande av remissynpunkter

Avseende remisskommentarerna från Östhammars kommun delar SSM kommunens syn på rätt till insyn och att kommunen även i fortsättningen bör få vara delaktig i den fortsatta processen med säkerhetsredovisningar. SSM har öppnat upp för diskussion om hur detta kan ske på bästa sätt, men har ännu inte tagit ställning. Myndigheten förväntar sig en fortsatt dialog med kommunen kring detta.

2.1.2 Prövningen enligt miljöbalken

SKB har även ansökt om tillstånd enligt miljöbalken för den utökade verksamheten. Som förvaltningsmyndighet med expertkunskap inom strålsäkerhetsområdet är SSM remissinstans åt domstolen när sådana frågor aktualiseras i ansökningar som lämnas in enligt miljöbalken. SSM har inte någon utpekad partsroll enligt miljöbalken utan agerar i målet i egenskap av remissinstans. SSM kan alltså inte överklaga domar eller beslut enligt miljöbalken eller ansöka om omprövning. En tillståndsdom enligt miljöbalken hindrar däremot inte SSM från att, enligt strålsäkerhetslagstiftningen, ställa andra eller strängare krav på strålsäkerhet än vad som anges i ett tillstånd enligt miljöbalken. Prövningarna enligt de olika lagstiftningarna är inte bindande sinsemellan. SSM yttrade sig den 17 januari 2019 till Mark- och miljödomstolen i Nacka (SSM2017-5969-2). Myndigheten tillstyrkte huvudsakligen SKB:s ansökan enligt miljöbalken. SSM överlämnade dock till domstolen att ta ställning till om alternativredovisningen samt genomförda samråd enligt 6 kap. miljöbalken kan godkännas. SSM har också deltagit under domstolens huvudförhandling.

2.1.3 Övergripande kravbild vid granskning av ansökan enligt kärntekniklagen

SKB har ansökt om tillstånd enligt kärntekniklagen (1984:3) om utökad verksamhet vid anläggning för slutförvaring av låg- och medelaktivt radioaktivt avfall (SFR) i Forsmark. Förutom kärntekniklagen är strålskyddslagen (1988:220) och delar av miljöbalken (1998:808) tillämpliga vid SSM:s bedömning av slutförvarets strålsäkerhet efter förslutningen. En översiktlig genomgång av det nationella ramverket och lagstiftningen kring kärntekniska anläggningar återfinns i den nationella planen för ansvarsfull och säker hantering av använt kärnbränsle och radioaktivt avfall i Sverige (SSM rapport 2015:31).

Kärntekniklagen och strålskyddslagen innehåller övergripande bestämmelser om säkerhet vid kärntekniska anläggningar respektive strålskydd och regeringen har bemyndigat Strålsäkerhetsmyndigheten att utfärda föreskrifter inom vissa områden som lagarna berör.

Det finns ett antal föreskrifter som berör krav på anläggningens uppförande, drift och avveckling. Dessa listas nedan. Notera att listan avser de föreskrifter som var gällande vid tidpunkten för ansökans inlämnande. Det är kraven i dessa föreskrifter som ansökan prövas mot. I de fall förändringar eller uppdateringar av myndighetens föreskrifter har skett under den period som SSM har berett SKB:s ansökan inför myndighetens yttrande till regeringen beskrivs detta i fotnoter till berörda föreskrifter i listan nedan. Bedömningar av kravuppfyllelse eller förutsättningar för kravuppfyllelse avser således de krav som gällde vid tidpunkten för ansökans inlämnande. Hänvisningar till specifika föreskriftskrav i granskningsrapporten görs till då gällande krav.

- SSMFS 2008:1 Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter och allmänna råd om säkerhet i kärntekniska anläggningar
- SSMFS 2008:12 Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter och allmänna råd om fysiskt skydd av kärntekniska anläggningar
- SSMFS 2008:13 Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter om mekaniska anordningar i vissa kärntekniska anläggningar

- SSMFS 2014:2 Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter om beredskap vid kärntekniska anläggningar¹
- SSMFS 2008:23 Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter om skydd av människors hälsa och miljön vid utsläpp av radioaktiva ämnen från vissa kärntekniska anläggningar
- SSMFS 2008:24 Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter om strålskyddsföreståndare vid kärntekniska anläggningar
- SSMFS 2008:26 Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter om personstrålskydd i verksamhet med joniserande strålning vid kärntekniska anläggningar
- SSMFS 2008:38 Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter om arkivering vid kärntekniska anläggningar
- SSMFS 2008:51 Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter om grundläggande bestämmelser för skydd av arbetstagare och allmänhet vid verksamhet med joniserande strålning²

När det gäller den långsiktiga strålsäkerheten för ett slutförvar för låg- och medelaktivt radioaktivt avfall är de viktigaste föreskrifterna SSMFS 2008:21 om säkerhet vid slutförvaring av kärnämne och kärnavfall samt SSMFS 2008:37 om skydd av människors hälsa och miljön vid slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle och kärnavfall, därutöver har SSM utfärdat allmänna råd för föreskrifternas tillämpning. Dessa föreskrifter detaljerar kraven på slutförvar genom kompletterande bestämmelser till föreskrifterna SSMFS 2008:1 om säkerhet i kärntekniska anläggningar som gäller flertalet av kärntekniska anläggningar.

Kärntekniklagen hänvisar till att vissa bestämmelser i miljöbalken ska tillämpas vid tillståndsprövningar enligt lagen. Mer specifikt hänvisas till miljöbalkens 2 kap. om allmänna hänsynsregler, 5 kap. 3 § om miljö kvalitetsnormer och 6 kap. om miljökonsekvensbeskrivningar.

2.2 Tillståndsprövning av en anläggning i drift

SKB:s ansökan omfattar ett nytt tillstånd för hela den utbyggda anläggningen. Det befintliga tillståndet ska således ersättas av ett nytt. I och med detta är föremålet för tillståndsansökan inte enbart den del som ska byggas till utan även den del som för närvarande är i drift. SSM ska bedöma om hela den utbyggda anläggningen har förutsättningar att uppfylla tillämpliga författningskrav.

SSM har inom ramen för drifttillsyn av det befintliga SFR identifierat brister som fordrat utredningar och analyser i det befintliga tillståndet för anläggningen. Detta genom att utfärda förelägganden. Följande förelägganden är vid tidpunkten för yttrandet om tillstånd enligt kärntekniklagen öppna:

¹ Föreskrifterna SSMFS 2014:2 trädde i kraft den 1 januari 2015, dvs. efter att SKB lämnat in ansökan, och ersatte föreskrifterna SSMFS 2008:15 om beredskap vid vissa kärntekniska anläggningar upphörde att gälla. Övergripande krav rörande bl.a. beredskapskategori har flyttats till SSMFS 2018:01.

² SSMFS 2008:51 upphörde att gälla 1 juni 2018 och ersattes av föreskrifter som ingår i SSMFS 2018:1 om grundläggande bestämmelser för tillståndspliktig verksamhet med joniserande strålning.

1. Betydelsen av jordströmmar (SSM2012-2658-6)
2. Analys av strålsäkerheten för 1BMA (SSM2015-2432-26)
3. Åtgärder för feldokumenterat avfall (SSM2013-2073-18)
4. Acceptanskriterier för avfall till SFR (SSM2012-4914-33)

Ovan listade förelägganden adresserar olika aspekter. Myndighetens förhållningssätt till hantering av tillsynsfrågor vid tillståndsprövning beskrivs i (SSM 18-2660). SKB:s redovisningar som inkommit till föreläggandet avseende betydelsen av jordströmmar vid befintliga SFR (SSM2012-2658-6) granskas inom ramen för myndighetens tillsyn av det befintliga SFR. SSM bedömer dock att betydelsen av jordströmmar för de tillkommande förvarsdelen i den planerade utbyggnaden av SFR ur ett långsiktigt strålsäkerhetsperspektiv är liten (se Del III, avsnitt 5.3). Föreläggandena 2-4 i listan ovan adresserar frågor som skulle kunna få bäring på den befintliga anläggningens, och därmed även den integrerade anläggningens, långsiktiga strålsäkerhet. Föreläggande 2 (SSM2015-2432-26) syftar till att belysa långsiktiga strålsäkerhetskonsekvenser av förvarsdelen 1BMA i vilken sprickor i betongbarriären har observerats. Föreläggande 3 (SSM2103-20073-18) avser avfall som felaktigt deponerats i förvarsdelen 1BLA. Inom ramen för framtagandet av acceptanskriterier för avfall till SFR, föreläggande 4, (SSM2012-4914-33) föreligger bl.a. frågeställningar kopplade till svällande avfall i framför allt förvarsdelen 1BMA.

SSM bedömer att SKB vid utformningen av de förvarsdelen som innefattas av utbyggnaden har beaktat de problem som uppstått under uppförande och drift av befintligt SFR. SSM bedömer det vidare som osannolikt att problemen som adresseras inom ramen för, i synnerhet, föreläggande 2 och 4 upprepas i betydande utsträckning i den utbyggda anläggningen. SSM bedömer därmed att de produktionskrav som SKB har definierat för utformningen av konstruktioner innehållandes betongbarriär har förutsättningar att kunna uppnås. SKB bedöms vidare ha förutsättningar att demonstrera kravuppfyllelse genom att ställa krav på avfall som tillåts deponeras. SKB kommer dessutom att, under vidareutveckling och specifikation av produktionskraven, behöva beakta långsiktig strålsäkerhet och myndighetens krav på optimering av skyddsförmågan.

SSM bedömer att ovanstående är tillräckligt för att kunna fatta beslut om tillstånd för utbyggnad och fortsatt drift av SFR. Föreläggandena som listas ovan bedöms därmed i fortsättningen kunna hanteras inom ramen för myndighetens ordinarie tillsyn.

SSM har även utfärdat krav som innebär driftsbegränsningar av befintligt SFR. Detta gäller:

- Deponeringsstopp av avfall i förvarsdelen 1BMA från Ringhals kärnkraftverk tillhörande typbeskrivningar R.01 och R.15 (SSI dnr 6222/3745/03, SKI dnr 7.49/011030)
- Krav på möjlighet till återtagande av avfall som deponeras i förvarsdelen 1BMA samt att driftförslutning av fack i 1BMA endast får genomföras efter medgivande av SSM (SSM2015-2432-18)
- Deponeringsstopp av avfall i förvarsdelen 1BLA tillhörande typbeskrivning S.12 och S.14 som kan innehålla avfall från icke-kärnteknisk verksamhet (SSI dnr 2006/6-257)

SSM konstaterar att det radionuklidspecifika inventarium per förvarsdelen som angavs i underlag till ansökan om drifttillstånd (tab. 5.5-4 i Slutlig säkerhetsrapport för SFR 1, september 1987) till viss del har uppdaterats för de förvarsdelen som utgör den befintliga anläggningen i den aktuella tillståndsansökans referensinventarium (SKB, 2015, tabell 4-6). Denna förändring medför att ett ställningstagande måste göras avseende huruvida det

nuvarande tillståndets omfattning utökas i och med tillståndsprövningen av den integrerade anläggningen, och i sådana fall vilka långsiktiga strålsäkerhetskONSEKVENSER en sådan utökning medför. SSM noterar att ett sådant ställningstagande i första hand avser förvardsdelen 1BMA för vilken utredningar kopplat till dess långsiktiga skyddsförmåga pågår (SSM2015-2432-26). SSM noterar vidare att inventariet av den i säkerhetsanalysen för långsiktig strålsäkerhet SR-PSU (SKB, 2015) dosdominerande radionukliden kol-14 har utökats med en faktor sju jämfört med det befintliga tillståndets underlag. SSM har inom ramen för granskningen av SR-PSU bedömt att begränsningen av uttransport av radionuklider som kol-14, som inte tillskrivs någon sorptionsförmåga alls i de tekniska barriärerna, utgörs av de tekniska barriärernas flödesmotstånd. SSM bedömer vidare att flödesmotståndet hos de tekniska barriärerna har visats vara robust. Denna bedömning underbyggs av SKB:s scenario med accelererad betongdegradering där ett snabbare degraderingsförlopp för betongens hydrauliska egenskaper ansätts utan att omgivningskonsekvenserna ökar i betydande omfattning, se Del I, avsnitt 3.4.2 för en sammanfattande bedömning avseende långsiktig strålsäkerhet. Frågeställningar som identifierats inom ramen för myndighetens driftstillsyn (SSM2015-2432-26) och som kopplar till förvardsdelen 1BMA:s långsiktiga skyddsförmåga avser i första hand hur avfallets och de tekniska barriärernas kemiska barriärfunktion finns representerade i analyserna av långsiktiga omgivningskonsekvenser med beaktande av pågående utredningar avseende svällande avfall i samma förvardsdel (SSM2012-4914-33). Myndighetens granskning av detta ärende pågår.

SSM bedömer sammanfattningsvis att förändringen i radionuklidinventariet i förvardsdelen 1BMA i förhållande till det inventarium som det nuvarande tillståndet baseras på inte medför att omgivningskonsekvenserna ökar i någon betydande omfattning och därmed inte är att betrakta som en utökning av tillståndets omfattning av betydelse för tillståndsprövningen.

2.3 SSM:s beredningsarbete

Granskningen har genomförts i enlighet med SSM:s ledningssystem och dess genomförandeprocess "Tillståndspröva". I synnerhet har granskningsprocessen följt de principer som beskrivs i myndighetens inriktningsdokument "Beredning av tillstånd och prövning av tillståndsvillkor gällande kärntekniska anläggningar och andra komplexa anläggningar där strålning används" (SSM STYR2011-131). Enligt styrdokumentet är syftet med myndighetens beredning av ett tillståndsärende att bedöma om verksamheten kan förväntas bli lokaliserad, utformad och bedriven på ett sådant sätt att säkerhets- och strålskyddskraven, kraven på fysiskt skydd samt de allmänna hänsynsreglerna uppfylls. Inom ramen för granskningen ingår också att ta ställning till efterlevnaden av de övergripande krav som gäller förvarets utformning och lokalisering samt de krav som följer av 6 kap. miljöbalken.

Granskningen har genomförts i två faser. Den första inledande fasen syftade till att få en överblick över materialet och bedöma huruvida ansökan är tillräckligt komplett för att den ska kunna kungöras. Därutöver tillställdes SKB en rad kompletteringsbegäranden. Med utgångspunkt från resultaten från den inledande granskningen specificerades granskningsuppgifterna för den andra fasen, den så kallade huvudgranskningsfasen. I denna fas har SSM genomfört en detaljerad granskning av underlaget och en bedömning om SKB har förutsättningar att uppfylla tillämpliga författningskrav.

Under både den inledande fasen och huvudgranskningsfasen har myndigheten till sin hjälp använt sig av externa experter för att identifiera och ytterligare belysa frågeställningar som uppstått som en följd av granskningen av underlaget. Resultaten från de externa experternas granskning har publicerats i granskningsrapporterna SSM 2016:08, SSM 2016:09, SSM 2016:12, SSM 2017:28, SSM 2017:30, SSM 2017:31, SSM 2017:33 samt SSM 2019:16.

Eftersom säkerhetsanalysen för långsiktig strålsäkerhet SR-PSU (SKB, 2015) utgör en komplex säkerhetsanalys har kopplingarna mellan olika betingelser beaktats och svagheters betydelse utvärderats med hänsyn till deras påverkan på systemet som helhet och i förlängningen till dess betydelse i förhållande till författningskraven. Detta innefattade en under granskningsprocessen ständigt pågående identifiering av frågeställningar som behövde avhandlas inte bara av enskilda granskare utan av granskningsgruppen som helhet. Frågeställningarna utvärderades dels med avseende på associerade konceptuella och parameter-relaterade osäkerheter, dels med avseende på den aktuella frågeställningens inverkan på en eller flera barriärers tillverkning/uppförande/karakterisering och/eller deras långsiktiga funktion i slutförvaret. Identifierade frågeställningar av betydelse för slutliga bedömningar med avseende på föreskriftskrav diskuterades inom granskningsgruppen vid arbetsmöten. Den varierande bakgrunden hos granskningsgruppens deltagare möjliggjorde utveckling av ett integrerat synsätt som underlag för myndighetens slutliga bedömningar. Ett syfte med dessa arbetsmöten var att göra det möjligt för granskningsgruppens medlemmar att bilda sig en god uppfattning om strålsäkerhetsbetydelsen även av frågeställningar utanför det egna granskningsområdet. Den utförliga hanteringen av särskilda frågor i hela granskningsgruppen gjorde det möjligt att belysa dessa på ett mera mångfacetterat sätt. Diskussionerna sträckte sig längre än att utvärdera betydelsen för en specifik barriär/barriärfunktion, vilket i allmänhet innebar betydelsen för hela barriärsystemets robusthet och slutförvarets totala skyddsförmåga i såväl troliga som mer hypotetiska situationer.

SSM har för delar av analysen genomfört egna beräkningar och modelleringar. Dessa har genomförts av SSM:s personal och av externa experter. Modelleringarna har syftat till en ökad förståelse för SKB:s beräkningar och till att utvärdera trovärdigheten i SKB:s tolkningar av modelleringsresultaten. Övriga syften har varit att kontrollera att SKB:s beräkningar är korrekta och att bedöma SKB:s hantering av olika former av osäkerheter. I vissa fall har SSM tillämpat alternativa konceptuella modeller för att utreda betydelsen av konceptuella osäkerheter.

Med hänvisning till de ”Riktlinjer för kontakt i säkerhetsfrågor beträffande kärnanläggningar vid gränserna mellan Danmark, Finland, Norge och Sverige”, som upprättades vid en gemensam nordisk noteväxling den 15 november 1976, har Strålsäkerhetsmyndigheten under ärendets beredning informerat Sundhedsstyrelsen (Danmark), Strålsäkerhetscentralen, STUK (Finland) och Strålevernet (Norge) om Sveriges planer med avseende på utbyggnaden av slutförvaret för driftavfall.

2.3.1 Remisshantering

SSM har i sin beredning av SKB:s ansökan om tillstånd enligt kärntekniklagen genomfört en nationell remiss där myndigheten efterfrågade synpunkter på såväl ansökans fullständighet som SKB:s redovisning och argumentation i sakfrågor. Myndigheten har också inhämtat synpunkter från allmänheten genom kungörelse av SKB:s tillståndsansökan.

Inkomna svar har beaktats vid beredningen av ärendet. SSM har haft som ambition att lyfta in inkomna remissynpunkter och redovisa dem under det avsnitt i myndighetens granskningsrapport som synpunkten avser. Upplägget beskrivs i Del I, avsnitt 1.3, Rapportstruktur.

Inkomna remissvar inom ramen för den nationella remissen avseende ansökans fullständighet återfinns i ärende dnr SSM2015-1640. Inkomna synpunkter från allmänheten efter kungörelse av ansökan återfinns i ärende dnr SSM2017-5439. Dessa ärenden överlämnas till regeringen i samband med att SSM yttrar sig om SKB:s ansökan enligt kärntekniklagen.

3 SSM:s bedömning av ansökan

3.1 Förutsättningar för SSM:s ställningstagande

Syftet med SKB:s ansökan om utbyggnad och fortsatt drift av SFR är att integrera en idrifttagen befintlig anläggning samt de förvarsdelar som utbyggnaden avser. Utbyggnaden beskrivs i ansökan i termer av en referensutformning. Säkerhetsanalysen för långsiktig strålsäkerhet (SR-PSU) innefattar både den befintliga anläggningen och den planerade utbyggnaden.

Tillstånd medgavs 1983 för att uppföra och driva det befintliga SFR, se Del I, avsnitt 1.1.3 för mer detaljer. Nu gällande författningskrav avseende långsiktig strålsäkerhet har utvecklats efter att tillståndet gavs. SSM har inom ramen för driftstillsyn av det befintliga SFR identifierat brister som fordrat utredningar och analyser av tillståndet för anläggningen. Detta genom att utfärda förelägganden och andra tillsynsåtgärder, vilka beskrivs översiktligt i Del I, avsnitt 2.2 av granskningsrapporten.

Krav som anges i SSMFS 2008:21 och SSMFS 2008:37, har tillkommit efter det att den befintliga anläggningen fick tillstånd. Nedan beskrivs några utmaningar som är förknippade dels med att bedöma kravuppfyllelse där delar av underlaget ännu saknas, dels med att tillämpa dessa ”nya” krav på en befintlig anläggning i drift i jämförelse med en helt ny verksamhet.

Som framgår av SSM:s villkorsförslag (Del I, avsnitt 3), i enlighet med IAEA:s principer (IAEA, 2004), bygger SSM:s ställningstagande till SKB:s ansökan på att denna prövas i ett stegvist förfarande. För en mer detaljerad beskrivning av prövningen enligt kärntekniklagen se Del I, avsnitt 2.1.1.

Med utgångspunkt från ett sådant prövningsförfarande utgör en tillståndsprövning enligt kärntekniklagen den första av flera faser där SSM, efter att regeringen har beviljat tillstånd med tillhörande villkor om ett stegvist uppförande, granskar ytterligare ansökningar i form av förnyade säkerhetsredovisningar. Innehållet i de förnyade säkerhetsredovisningarna ska preciseras successivt avseende anläggningens detaljutformning och verksamheten vid denna. Dessa granskningar syftar till att ta ställning till om godkännande kan lämnas till uppförande, provdrift och rutinmässig drift samt sedermera förslutning.

I aktuellt skede av tillståndsprövningen utgörs beskrivningen av slutförvaret och dess skyddsförmåga med nödvändighet av en delvis teoretisk referensutformning av anläggningen snarare än en faktisk och i alla avseenden färdigutvecklad utformning. För



anläggningar såsom ett geologiskt slutförvar för radioaktivt avfall finns vanligen inte detaljkonstruktionslösningar framtagna vid ansökanstillfället.

Ändringar av initialt framtagna konstruktionslösningar kan därför komma att ske i senare steg. Av uppenbara skäl finns exempelvis inte detaljkunskap om bergets egenskaper på det djup som förvaret avses placeras på. Det kan t.ex. vara frågan om en platsanpassning på det avsedda förvarsdjupet och till de faktiska förhållanden som råder där, eller av andra ej förutsedda förhållanden som kan uppstå i samband med det praktiska genomförandet av den teoretiska referensutformningen av förvaret. Konstruktionsändringar eller avvikelser på detaljnivå jämfört med planerad referensutformning kan således komma att ske.

En stegvis prövning är därför en nödvändighet för uppförande och drift av ett geologiskt slutförvar för radioaktivt avfall, såsom SFR-utbyggnaden. Genom den utveckling av underlaget som successivt kommer att ske, kommer även förutsättningarna för att bedöma underlaget att utvecklas jämfört med de som föreligger i samband med tillståndsprövningen.

Den del av SKB:s *förberedande preliminära säkerhetsredovisning* (F-PSAR) som avser långsiktig strålsäkerhet, benämnd av SKB som SR-PSU (SKB, 2015), ingår som underlag till SKB:s ansökan enligt kärntekniklagen. F-PSAR som krävs i detta skede ska på en övergripande nivå redogöra för förutsättningarna för sökanden att etablera och driva en verksamhet som uppfyller erforderliga krav, vilka avseende långsiktig strålsäkerhet preciseras i SSMFS 2008:21 och SSMFS 2008:37.

SR-PSU (SKB, 2015) innefattar den riskanalys som syftar till att, utifrån den i säkerhetsanalysen redovisade referensutformningen av förvaret, demonstrera kravuppfyllelse gentemot SSM:s riskkriterium (5 § SSMFS 2008:37). Under det successiva förfarandet med uppförande, drift och slutlig förslutning kommer mer information avseende barriärernas tillstånd och slutförvarets skyddsförmåga att medföra att osäkerheter kopplade till antaganden i dessa avseenden reduceras. Allt eftersom dessa typer av osäkerheter reduceras så kommer de kvantitativa riskanalyserna, som utgör viktiga delar av kommande säkerhetsredovisningar, således successivt behöver bli mer och mer precisa.

En bedömning om kravet (5 § SSMFS 2008:37) i strikt mening är helt uppfyllt kommer dock aldrig att vara möjligt att göra. Riskanalysen i samband med förslutning kommer fortfarande att behöva beakta och adressera osäkerheter kopplade till förvarets långsiktiga utveckling, något som inte är möjligt att undvika givet de långa tidsrymder det handlar om. Det är också mot denna bakgrund som kravet på bästa möjliga teknik liksom övriga krav på konstruktion och utformning av förvaret också bör ges större vikt när osäkerheterna är större.

Andra delar av underlaget i ansökan (bl.a. alternativredovisningen i MKB och Bilaga BAT), syftar i första hand till att motivera valet av metod och även förvarets förläggningsplats, i detta fall i anslutning till den befintliga anläggningen SFR. Säkerhetsanalysen SR-PSU utgör ett viktigt stöd för bedömning av dessa frågor.

Myndighetens föreskrifter innehåller utöver SSM:s riskkriterium (5 § SSMFS 2008:37), bland annat krav på optimering och bästa möjliga teknik (4 § SSMFS 2008:37). SSM:s föreskrifter innehåller även bestämmelser om bästa möjliga teknik i barriärsystemets konstruktion och utförande (6 § SSMFS 2008:21), vilket motsvaras av krav i miljöbalken (2 kap 3 §).

Kraven på optimering och bästa möjliga teknik syftar till att förbättra slutförvarets skyddsförmåga så långt som möjligt och rimligt och är nödvändiga tilläggskrav till riskkriteriet. Enligt de allmänna råden till SSM:s föreskrifter bör större tyngd läggas på bästa möjliga teknik för fall där de beräknade riskerna är behäftade med stora osäkerheter, t.ex. analyser av slutförvaret lång tid efter förslutning, eller analyser som görs i ett tidigt skede av utvecklingsarbetet med slutförvarssystemet. I steget som motsvaras av tillståndsprövningen kan kraven på bästa möjliga teknik betraktas som inramande av den övergripande metod för slutförvaring som avses liksom valet av förläggningsplats, eftersom förläggningsplatsen för ett geologiskt slutförvar är av stor betydelse för bedömning av huruvida metodvalet är lämpligt utifrån ett strålsäkerhetsperspektiv.

I SSM:s föreskrifter finns även krav på metod-, konstruktions- och utformningsval som avser barriärssystemet som helhet, dess konstruktion och funktion (SSMFS 2008:21). Även dessa krav kan betraktas som inramande av metoden då dessa syftar till att definiera ett system av passiva barriärer, naturliga och tekniska sådana, med erforderlig långsiktig skyddsförmåga givet det avfall som slutförvaret är avsett att omhänderta.

SSM:s reglering avseende strålsäkerhet efter förslutning utgår således från två av strålskyddets hörnstenar, dosgränser och strålskyddsoptimering. SSM gör detta genom att dels reglera den övergripande skyddsnivån (bland annat genom riskkriteriet), dels ställa tilläggskrav på såväl förvarets utformning, konstruktion, drift och dess lokalisering. Samtliga dessa tilläggskrav syftar till att vidta åtgärder för att så långt som rimligt och möjligt förbättra strålskyddet (optimering).

För en anläggning som redan tagits i drift är t.ex. grundläggande utformnings- och konstruktionskrav inte tillämpbara fullt ut. Det har inneburit att fokus i SSM:s bedömningar av dessa krav huvudsakligen fokuserar på den föreslagna utbyggnaden av SFR. Detta är också i enlighet med den bedömning som gjordes vid granskningen av SKB:s säkerhetsredovisning för den befintliga anläggningen 2001 (SSI rapport 2003:21). Detta innebär att SSM:s bedömningar av uppfyllelse gentemot övriga författningskrav som avser förvarets grundläggande utformning och konstruktion (i SSMFS 2008:21 och SSMFS 2008:37) väsentligen fokuserar på den föreslagna utbyggnaden av SFR och hur dess utformning och skyddsförmåga beskrivs i säkerhetsanalysen SR-PSU. Vid SSM:s aktuella granskning av SKB:s underlag avseende dessa frågor tar myndigheten således hänsyn till att vissa kompletteringar i detaljfrågor förväntas ske under den fortsatta stegvisa prövningsprocessen efter ett tillståndsbeslut av regeringen och inför ett beslut av myndigheten om att anläggningarna kan tas i drift (prov- och rutinmässig drift) samt får förslutas.

Under processens gång, och i de kommande stegen med uppförande och inför idrifttagning av slutförvaret, fokuserar konstruktions- och utformningskraven liksom kraven på optimering och bästa möjliga teknik mer på detaljlösningar och detaljutveckling inom ramen för den metod som fastställs vid tillståndsprövningen genom den föreslagna referensutformningen på vilken säkerhetsanalysen för långsiktig strålsäkerhet baseras.

SSM:s föreskriftskrav på konstruktion och utformning syftar till att successivt, i och med uppförande och idrifttagning, styra kommande säkerhetsanalyser mot att mer verifiera de egenskaper och funktioner i förvaret som bidrar till dess långsiktiga skyddsförmåga. I det underlag som finns i samband med tillståndsprövningen definieras dessa egenskaper och funktioner utifrån den referensutformning som beskrivs i SR-PSU. Kraven syftar vidare till att successivt redovisa och analysera hur de osäkerheter som associeras med dessa egenskaper och funktioner reduceras och/eller hanteras.

3.2 SSM:s ställningstagande till SKB:s yrkanden

SSM tillstyrker att SKB ges tillstånd enligt kärntekniklagen att:

- vid anläggningen för slutförvaring av låg- och medelaktivt radioaktivt avfall i Forsmark, Östhammars kommun (SFR) uppföra de anläggningar som krävs för att efter utbyggnad slutförvara maximalt 180 000 m³ låg- och medelaktivt avfall, allt avfall härrörande från kärnteknisk verksamhet och annan verksamhet med strålning i Sverige (innefattande en utökning av den tillståndsgivna slutförvarsvolymen med 117 000 m³,
- inneha och driva befintlig och utbyggd del av SFR som en integrerad anläggning för slutförvar av låg-och medelaktivt avfall samt, dessförinnan, inneha och driva befintlig del av SFR som en anläggning för slutförvar av låg och medelaktivt avfall,
- i SFR inneha, hantera, transportera, slutförvara och på annat sätt ta befattning med ovan angivet avfall.

SSM anser att miljökonsekvensbeskrivningen som bifogas SKB:s respektive ansökningar om tillstånd enligt kärntekniklagen kan godkännas utifrån strålsäkerhetssynpunkt.

SSM:s tillstyrkande förutsätter att SKB under uppförande och drift av den utbyggda anläggningen beaktar de frågor som är av betydelse för strålsäkerheten. I det ingår att SKB vid framtagandet av kommande säkerhetredovisningar och i det fortsatta arbetet med den utökade anläggningens detaljkonstruktion beaktar de utvecklingsbehov som SSM har identifierat och påtalat i denna granskningsrapport.

3.3 SSM:s förslag till tillståndsvillkor

SSM föreslår att regeringen, med stöd av kärntekniklagen och strålskyddslagen (2018:396), föreskriver följande villkor för tillståndet:

1. Verksamheten ska bedrivas i huvudsaklig överensstämmelse med vad som anges i ansökningshandlingarna.

Med huvudsaklig överensstämmelse med vad som anges i ansökningshandlingarna avses, när det gäller avfallens aktivitetsinnehåll, att:

- A. maximalt tillåtet aktivitetsinnehåll under drifttiden begränsas till $2 \cdot 10^{16}$ becquerel (Bq) vid varje given tidpunkt för radionuklider med en halveringstid på över ett år, och
- B. vid förslutning får det maximala aktivitetsinnehållet per förvarsdel inte avsevärt överskrida det inventarium som i ansökan utgör utgångspunkten för beräkningarna i analysen av strålsäkerhet efter förslutning med avseende på nedanstående grupper av radionuklider med lång halveringstid:
 1. radioaktiva ämnen som genomgår alfasönderfall eller sönderfaller till alfastrålare,
 2. radioaktiva ämnen som genomgår betasönderfall med högre mobilitet i förvarsmiljön, och

3. radioaktiva ämnen som genomgår betasönderfall med lägre mobilitet i förvarsmiljön.

Det ankommer på SSM att meddela närmare villkor för att reglera maximalt nuklidspecifikt innehåll per förvarsdela med hänsyn till strålsäkerhet under drift och efter förslutning.

2. SSM får godkänna förändringar i aktivitetsinnehållet avseende radioaktivt avfall från annan verksamhet med strålning. Detta avfall undantas från villkor 1.
3. SSM får godkänna förändringar av den i ansökan redovisade utformningen av anläggningen, till exempel utformningen av bergsalar och barriärer.
4. SKB får påbörja uppförandet av anläggningen först efter att SSM har prövat och godkänt en preliminär säkerhetsredovisning (PSAR).
5. SKB ska efter uppförandet av anläggningarna ta fram en förnyad säkerhetsredovisning (FSAR) som ska prövas och godkännas av SSM innan anläggningen får tas i provdrift.
6. SKB ska innan anläggningen får tas i rutinmässig drift ta fram en kompletterad säkerhetsredovisning (SAR), med beaktande av erfarenheter från provdriften, som ska prövas och godkännas av SSM.
7. SKB ska innan slutförvaret försluts förnya och säkerhetsgranska den slutliga säkerhetsredovisningen, som ska prövas och godkännas av SSM.

3.3.1 Kommentarer till villkorsförslagen

Villkor 1

Som framgår av villkor 1 bedömer SSM att det är rimligt att en viss omfördelning av radionuklider kan få ske inom varje förvarsdela, jämfört med det referensinventarium som tillståndsansökan baseras på. Detta är också förenligt med villkoren 2-3 samt i enlighet med tillämpning av optimeringsprincipen vid omhändertagande av uppkommet avfall. En eventuell framtida omfördelning behöver dock godkännas av SSM, vilket också framgår av villkorsförslaget. En ansökan till myndigheten om en sådan omfördelning bör baseras på en gruppering av de ingående radionukliderna med hänsyn tagen till deras halveringstid, radiotoxicitet och mobilitet i förvarsmiljön. I ansökan bör dessutom en bedömning ingå om hur denna omfördelning har anpassats till barriärernas skyddsförmåga samt påverkar de långsiktiga omgivningskonsekvenserna. Ansökan bör även redogöra för hur omfördelningen beaktar kraven på optimering och tillämpning av bästa möjliga teknik.

Villkor 2

Tillstånd för anläggningar för icke-kärntekniskt radioaktivt avfall enligt strålskyddslagen beslutas av SSM. Avseende radioaktivt avfall som har icke-kärntekniskt ursprung anser myndigheten således det vara ändamålsenligt att det ankommer på SSM att godkänna ändringar av inventariet. Genom att undanta radioaktivt avfall som inte har kärntekniskt ursprung från regleringen i villkor 1 ges utrymme till förändringar i det radionuklidspecifika inventarium som ansökan utgår från för att möjliggöra omhändertagande av avfall från icke-kärntekniska anläggningar. Villkor 2 bedöms vara i enlighet med SKB:s yrkande.

Villkor 3

Villkoret motsvarar villkor 2 i SKB:s ansökan. Som underlag för en sådan förändring av utformningen som villkoret avser behöver SKB redovisa hur den långsiktiga skyddsförmågan påverkas samt motivera föreslagna ändringar.

Villkor 4–7

Uppförande av en sådan kärnteknisk anläggning som ansökan gäller förutsätter att den närmare detaljutformningen utvecklas efter hand som anläggningen uppförs. Efter att ett initialt tillstånd har lämnats av regeringen enligt kärntekniklagen behöver ytterligare successiva och alltmer preciserade säkerhetsredovisningar tas fram.

Grundläggande bestämmelser om säkerhetsanalys och säkerhetsredovisning finns i 4 kap. SSM:s föreskrifter (SSMFS 2008:1) om säkerhet i kärntekniska anläggningar. Dessa bestämmelser bygger på IAEA:s Safety Guide No. GS-G-4.1.

Innan en anläggning får uppföras ska en *preliminär säkerhetsredovisning* sammanställas. Därefter ska, innan provdrift av anläggningen får påbörjas, en *förnyad säkerhetsredovisning* lämnas in som ska avspegla anläggningen som den är byggd. Innan anläggningen sedan får tas i rutinmässig drift ska en *kompletterad säkerhetsredovisning* lämnas in som ska beakta erfarenheter från provdriften.

I likhet med hittills gällande villkor enligt kärntekniklagen och strålskyddslagen avser SSM att även fortsättningsvis, under rutinmässig drift av anläggningen, ställa krav som innebär att SKB regelbundet, åtminstone vart tionde år, behöver lämna in en uppdaterad säkerhetsredovisning. Redovisningen ska innehålla en analys av förvarets långsiktiga skyddsförmåga och omgivningskonsekvenser. I anslutning till varje redovisningstillfälle ska SKB redovisa viktiga kunskapsluckor och osäkerheter av betydelse för den långsiktiga strålsäkerheten samt ett program för hur dessa ska omhändertas.

Enligt SSM:s föreskrifter (SSMFS 2008:21) om säkerhet vid slutförvaring av kärnämne och kärnavfall ska den slutliga säkerhetsredovisningen förnyas och godkännas innan slutförvaret försluts.

3.3.2 Avseende reglering av avfallets aktivitetsinnehåll

SKB:s villkorsförslag

Avseende reglering av avfallets aktivitetsinnehåll yrkar SKB (SKB, 2015) om att regeringen föreskriver följande villkor för verksamheten i SFR:

1. Verksamheten ska bedrivas i huvudsaklig överensstämmelse med vad som anges i ansökanshandlingarna.

Maximalt tillåtet aktivitetsinnehåll i SFR för avfall som ska slutförvaras begränsas till 2×10^{16} Bq.

Det ankommer på Strålsäkerhetsmyndigheten att meddela närmare villkor för att reglera maximalt nuklidspecifikt innehåll per förvarsdel med hänsyn till säkerheten under drift samt avseende säkerheten efter förslutning.

2. Strålsäkerhetsmyndigheten får godkänna förändringar i den i ansökan redovisade utformningen av anläggningen, till exempel utformning av bergsalar och barriärer.

Bakgrund och nuvarande reglering

Givet avfallets innehåll av långlivade radioaktiva ämnen är det uppenbart att det inte är tillräckligt att reglera aktivitetsinnehållet endast utifrån avfallets totala aktivitetsinnehåll. För det befintliga slutförvaret SFR betraktade dåvarande myndigheterna (Statens Kärnkraftinspektion och Statens Strålskyddsinstitut) det nuklidspecifika aktivitetsinnehåll som låg som underlag för myndigheternas driftmedgivande 1988 som en övre gräns för tillåtet inventarium. Även SKB har tidigare sett det som gränssättande (se exempelvis SKB R-98-44). Sedan 2003 är regleringen av detta formaliserad genom de strålskyddsvillkor som utfärdats (SSI beslut 2003-12-08 (SSI dnr 6222/3744/03)), vilka ska ses som ett förtydligande av de villkor som följer av regeringens tillstånd i enlighet med dåvarande atomenergilagen (1983-06-22, dnr 1034/83).

Även om ramarna för tillståndet sattes i samband med regeringsbeslutet bedömde de dåvarande myndigheterna att en viss möjlighet till omfördelning av radionuklider inom varje förvarsdel är rimlig och att det är i enlighet med de av regeringen meddelade villkoren. En sådan omfördelning av inventariet av olika radionuklider inom de olika förvarsdelarna i förhållande till det tillståndsprövade inventariet ska prövas av tillsynsmyndigheten. I de utfärdade strålskyddsvillkoren anges att en ansökan om en sådan omfördelning bör baseras på en gruppering av de ingående radionukliderna med hänsyn tagen till deras halveringstid, radiotoxicitet och mobilitet i förvarsmiljön. I ansökan bör dessutom en bedömning ingå om hur denna omfördelning påverkar de långsiktiga omgivningskonsekvenserna.

SSM har bedömt att nuvarande reglering i stort sett är ändamålsenlig och har i olika sammanhang framfört att myndigheten ser framför sig att även de delar av verksamheten som nu tillståndsprövas bör regleras på liknande sätt.

Beskrivning av SKB:s underlag

I ansökan enligt kärntekniklagen om utbyggnad av befintliga SFR yrkar SKB att regeringen föreskriver ett ramvillkor som innebär att maximalt tillåtet aktivitetsinnehåll i avfall för slutförvaring i SFR begränsas till $2 \cdot 10^{16}$ Bq (Becquerel). SKB föreslår vidare att SSM ska meddela närmare villkor för att reglera maximalt nuklidspecifikt innehåll per förvarsdel med hänsyn till strålskyddet och säkerheten under drift och efter förslutning. Detta inventarium skiljer sig från det inventarium som analysen av strålskydd och säkerhet efter förslutning baseras på, vilket uppgår till ett aktivitetsinnehåll på $1 \cdot 10^{15}$ Bq år 2075 (SKB, 2015, tabell 4-6). Det maximala beaktade inventariet i säkerhetsanalysen för långsiktig strålsäkerhet uppgår till $3 \cdot 10^{15}$ Bq år 2075 (SKB, 2015, tabell 4-7) för det beräkningsfall som avser att innefatta den osäkerhet som finns kopplad till nuklidinventariet i SFR vid förslutning. I ett förtydligande (SKB dokID 1537143) anger SKB att av de $3 \cdot 10^{15}$ Bq, utgör cirka $3,3 \cdot 10^{14}$ Bq långlivad aktivitet med en halveringstid större än 31 år³. I samma förtydligande förklarar SKB att det inventarium som ansökans yrkande omfattar avser det högsta som förväntas under driften, inklusive marginal för eventuellt tillkommande avfall och justeringar av radioaktivitet som ligger utanför den ansatta osäkerheten.

³ Av tabell 4-7 i SKB:s rapport *Redovisning av säkerhet efter förslutning för SFR* (SKB, 2015) framgår det att aktivitetsinnehållet av den långlivade radionukliden Ni-63 utgör ca 80 % av det totala aktivitetsinnehållet år 2075.

Remissinstansers synpunkter

Kungliga vetenskapsakademien

Kungliga vetenskapsakademien (SSM2015-1640-29) framför att det i ansökan anges att accepterade mängder av långlivade radionuklider i det låg- och medelaktiva avfallet bör bestämmas av SSM. Remissinstansen anför att det därmed blir av fundamental vikt vilka mängder som myndigheten tillstyrker, och att den förväntade genereringen av avfall under driftsperioden inte överskrider tillåten mängd. Här, betonar remissinstansen, ligger en osäkerhet i ansökan – en dialog anses behöva ske mellan SKB och myndigheten i frågan.

SSM:s beaktande av remissynpunkt

Frågan om regleringen av aktivitetsinnehållet har varit under diskussion. Hittillsvarande reglering av befintligt SFR tar fasta på att regeringen genom sitt tillstånd meddelat ramarna för omfattningen av verksamheten, i vilket ingår tillåtlig mängd radionuklid-specifik långlivad aktivitet. SSM har genom strålskyddsvillkor detaljreglerat förvarets aktivitetsinnehåll, under beaktande av de ramar som följer av regeringstillståndet. Enligt SSM har denna ordning varit ändamålsenlig. SSM delar därför inte utgångspunkterna för SKB:s förslag, att regleringen av vilket långlivat inventarium av kärnavfall enbart faller på SSM att reglera. Se vidare SSM:s bedömning nedan samt myndighetens villkorsförslag avseende inventariebegränsningar.

SSM:s bedömning

Maximalt tillåtet totalt aktivitetsinnehåll definieras utan angivelse om denna begränsning avser en godtycklig tidpunkt eller vid förslutningen av SFR. Inte heller anges i förslaget till villkor vilka radioaktiva ämnen med olika halveringstid och radiotoxicitet som den totala aktiviteten får utgöras av eller hur mycket aktivitet som ska få deponeras i olika förvarsdelar. SSM noterar att SKB anser att SSM ska bemyndigas i regeringsbeslutet att närmare kunna meddela villkor för dessa mer specifika frågor. Yrkandena i ansökan enligt kärntekniklagen utgör endast en begränsning av verksamhetens omfattning avseende totalvolym för deponerat avfall samt att villkor föreslås för att begränsa den totala aktiviteten.

SKB:s avsikt med villkorsformuleringen är enligt ansökans toppdokument att det uppnås en flexibilitet inom den angivna ramen som utgörs av det totala aktivitetsinnehållet. Denna flexibilitet behövs enligt SKB för att kunna hantera ny kunskap samt eventuella förändringar i nuvarande deponeringsstrategi utan att det krävs en ny tillståndsprövning hos regeringen. SKB:s formulering ger uttryck för att bolaget anser att ändringar inte är osannolika och att det inte anses nödvändigt att tillståndet bör prövas på nytt pga. dessa ändringar. Ett exempel på ändringar skulle kunna vara hanteringen av ESS-avfallet som skulle kunna innebära att det nuklidspecifika innehållet behöver ändras i förhållande till ansökan.

SSM instämmer med att en viss flexibilitet är önskvärd men anser att en svaghet med SKB:s villkorsförslag är att det inte gör någon uttrycklig åtskillnad mellan aktivitetsinnehållet vid godtycklig tidpunkt under drift och vid förslutning av anläggningen. Därmed kan $2 \cdot 10^{16}$ Bq komma att betraktas som det tillåtna aktivitetsinnehållet vid förslutning. Analysen av strålsäkerheten efter förslutning utgår dock från ett inventarium på totalt ca $1 \cdot 10^{15}$ Bq år 2075, dvs. en faktor 20 lägre än den föreslagna aktivitetsbegränsningen i villkoret (SKB, 2015, tabell 4-6). Detta lägre inventarium ger i ansökansunderlaget en risk som ligger nära SSM:s kriterium.

SKB räknar även på ett högre inventarium på $3 \cdot 10^{15}$ Bq (SKB, 2015, tabell 4-7) som beaktar större osäkerhetsmarginaler. Dessa beräkningars resultat (SKB, 2015, avsnitt 9.3.1) innebär att riskkriteriet inte skulle uppfyllas.

Sett i ett långsiktigt strålsäkerhetsperspektiv är en reglering av slutförvarets totalaktivitet dock inte särskilt betydelsefullt. Av intresse är i stället mängden olika långlivade radioaktiva ämnen, deras radiotoxicitet och mobilitet i slutförvarsmiljön. SSM anser därmed att det är en nackdel att SKB:s villkorsförslag inte tar fasta på inventariets radionuklid-sammansättning eftersom verksamhetens karaktär och omfattning på så sätt blir otydligt definierad.

Mot bakgrund av ovan förda resonemang gör SSM följande bedömningar avseende SKB:s villkorsskrivningar:

- SSM bedömer att en begränsning av maximalt tillåtet aktivitetsinnehåll i SFR till $2 \cdot 10^{16}$ Bq är otillräckligt för att definiera tillståndets omfattning. Dels är tidpunkten för när värdet ska gälla inte närmare bestämt, dels är frågan om inventariet av olika långlivade radionuklider alltför ospecificerat. SSM noterar därutöver att SKB i ansökan har räknat med ett totalinventarium *vid förslutning* på $1 \cdot 10^{15}$ Bq vilket är en faktor 20 lägre än det föreslagna maximala inventariet som SKB:s villkorsförslag omfattar.
- SSM bedömer att skrivningen ”verksamheten ska bedrivas i huvudsaklig överensstämmelse med vad som anges i ansökanshandlingarna” har en oklar innebörd och betydelse när det gäller tillåtet maximalt aktivitetsinnehåll vid förslutning eftersom ansökningshandlingarna även omfattar analysen av den långsiktiga strålsäkerheten som utgår från ett annat aktivitetsinnehåll. Villkoret att det tillåtna maximala aktivitetsinnehållet är $2 \cdot 10^{16}$ Bq blir därmed begränsande endast för tiden innan förslutning.
- SSM bedömer därför att innebörden av att verksamheten ska bedrivas i huvudsaklig överensstämmelse med ansökanshandlingarna är att de maximala aktivitetsinnehållen per förvarsdel vid förslutning för grupper av radionuklider med hög radiotoxicitet och/eller grupper av radionuklider med långa halveringstider inte avsevärt får överskrida det inventarium som utgör utgångspunkten för beräkningarna i analysen av den långsiktiga strålsäkerheten efter förslutning.
- SSM anser att det är lämpligt att det ankommer på Strålsäkerhetsmyndigheten att meddela närmare villkor för att reglera maximalt radionuklidspecifikt innehåll per förvarsdel med hänsyn till strålsäkerheten under drift samt avseende strålskydd och säkerhet efter förslutning. SSM konstaterar att en sådan reglering även har koppling till medgivande av acceptanskriterier för avfall som deponeras i SFR. Dessa villkor behöver beakta de avgränsningar vad gäller tillståndets omfattning som följer av regeringens beslut.
- Avseende inventarium som har icke-kärntekniskt ursprung anser SSM att det är ändamålsenligt att det ankommer på myndigheten att godkänna ändringar av inventariet. SSM noterar i detta hänseende att tillstånd för anläggningar för icke-kärntekniskt radioaktivt avfall enligt strålskyddslagen beslutas av SSM.

Avslutningsvis anser SSM att SKB regelbundet kommer att behöva uppdatera prognosen för det radionuklidspecifika aktivitetsinventariet per förvarsdel vid förslutning för att säkerställa att prognoserat radionuklidinventarium vid förslutning inte medför över-skridande av gällande riskkriterium.

I avsnitt 3.2, villkor 1-3 redovisas SSM:s förslag till tillståndsvillkor avseende begränsning av inventarium av radioaktiva ämnen.

3.4 Sammanfattning av SSM:s granskningsresultat

3.4.1 Anläggningsutformning, drift m.m.

Detta avsnitt omfattar SSM:s sammanfattande bedömning av om kraven på säkerhet och strålskydd enligt kärntekniklagen (1984:3) och strålskyddslagen (1988:220) kan förväntas bli uppfyllda under uppförande och drift av den utbyggda slutförvarsanläggningen för låg- och medelaktivt avfall (SFR). Utförligare redogörelser för myndighetens bedömningar av respektive område, liksom beskrivningar av SKB:s underlag avseende uppförande och drift återfinns i Del II av denna granskningsrapport.

Om barriärer och djupförsvär

SKB har infört begreppet *funktioner med betydelser för anläggningens djupförsvär och strålskydd* i syfte att tydliggöra vilka tekniska system och funktioner som kan förebygga att händelser identifierade i säkerhetsanalysen ska inträffa och/eller konsekvenser ifall de skulle inträffa.

SSM kan av denna granskning konstatera att SKB har utvecklat ett säkerhetsklassnings-system i syfte att vara anpassat för SFR och den verksamhet som bedrivs vid anläggningen:

- Säkerhetsklass A1 relaterar till barriärfunktionen för anläggningens långsiktiga säkerhet (enligt SSMFS 2008:21).
- Säkerhetsklass A2 tilldelas strukturer, system och komponenter som har barriärfunktion under anläggningens driftskede.
- Säkerhetsklass B2 tilldelas de strukturer, system och komponenter som har funktioner som är av väsentlig betydelse för anläggningens djupförsvär och andra funktioner för att skydda personer i anläggningen mot radioaktiva ämnen och stråldoser. Dessa funktioner omfattar brandskydd, säker hantering och lagring av avfall, utrymning, fysiskt skydd och strålskärning.

Systemet för säkerhetsklassning av den utbyggda anläggningen tar således hänsyn till att vissa system, strukturer och komponenter har en större betydelse för anläggningens djupförsvär och tydliggör detta genom införandet av en särskild säkerhetsklass. SSM bedömer att SKB på en övergripande nivå har redovisat principerna för ett system för säkerhetsklassning som tar hänsyn till de krav som ställs på såväl driftsäkerhet och säkerhet efter förslutning. I den preliminära säkerhetsredovisning (PSAR) som SKB behöver få godkänd av SSM för att kunna påbörja uppförandet av anläggningen behöver SKB:

- Redogöra för hur bolaget för mekaniska anordningar avser samordna klassnings-system och krav på konstruktion, tillverkning, installation och kvalitetssäkrings-åtgärder mellan befintligt SFR och den utbyggda anläggningen.
- För berg- och byggnadskonstruktionerna ha kopplat samman säkerhetsklasserna med relevanta konstruktionskrav, krav på tillverkning, byggnation och kontroll.
- Redogöra för klassningen hos alla relevanta lyftdon samt hur de underliggande lyftdonsklasserna styrs utifrån säkerhetsklassningen.

Med anledning av att SKB valt att frångå det klassningssystem och de klassningsprinciper som har tillämpats vid befintlig anläggning så behöver SKB, inför PSAR, utreda kravbilderna för befintliga konstruktioner för att uppfylla de nya krav som ställs på

konstruktion, tillverkning, installation och kvalitetssäkringsåtgärder och hur eventuella gap hanteras.

Sammantaget bedömer SSM att den uppsättning konstruktionsregler som SKB har redovisat är funktionell för att, med en anpassad grundkonstruktion med flera barriärer och ett för anläggningen anpassat djupförsvar, förhindra radiologiska olyckor i enlighet med kraven i 2 kap. 1 § SSMFS 2008:1.

Kapaciteten hos anläggningens barriärer och djupförsvar att förebygga radiologiska olyckor och lindra konsekvenserna om olyckor ändå sker ska, enligt kraven i 4 kap. 1 § i SSMFS 2008:1, analyseras så att det i säkerhetsanalyser kan visas att de radiologiska omgivningskonsekvenserna är acceptabla i förhållande till värden som anges med stöd av strålskyddslagen. SKB har för ett urval av händelser (paraplyfall) redovisat dos till mest belastad individ i kritisk grupp och visat att doser i dessa fall ligger väl under acceptanskriterierna. SSM har dock i sin granskning av den metodik som används i säkerhetsanalyserna bedömt att SKB inför PSAR behöver utveckla och tydligare redogöra för principerna och tillvägagångssätt för att uppfylla krav på systematisk inventering och urval av de händelser, händelseförlopp och förhållanden som kan leda till en radiologisk olycka; indelning i händelseklasser samt identifiering av de paraplyfall som utvärderas mot acceptanskriterier.

SKB har tagit fram en plan för hur bolaget inför kommande steg i prövningen ska ta fram och arbeta efter en ny metodik för genomförande av säkerhetsanalyser. Under 2019 implementerar SKB också en organisationsförändring där en av enheterna kommer att ha ett utpekat ansvar för att ta fram och tillhandahålla metodik för säkerhetsredovisningar. Analyserna i F-PSAR för den framtida, integrerade anläggningen kommer att förnyas och kompletteras inför utbyggnadsarbetena samt inför provdrift och rutinmässig drift i enlighet med bestämmelserna i 4 kap. 2 § SSMFS 2008:1. Detta sammantaget torde ge förutsättningar för SKB att i ett kommande steg i prövningen uppfylla kraven på en säkerhetsanalys som på ett allsidigt och systematiskt sätt visar att anläggningens konstruktion, med dess barriärer och djupförsvar, har en förmåga att förebygga radiologiska olyckor i enlighet med de grundläggande bestämmelserna i 2 kap. 1 § SSMFS 2008:1.

I samband med införandet av utökade krav avseende beredskap vid kärntekniska anläggningar (SSMFS 2014:2) har SSM bedömt att den befintliga anläggningen inte är en sådan kärnteknisk anläggning där det kan inträffa en händelse inne på anläggningen som motiverar att brådskande åtgärder vidtas för skydda allmänheten utanför anläggningsområdet. Den sökta verksamheten för utbyggt SFR är av liknande karaktär som den befintliga anläggningen varför inga nya typer av händelser och förhållanden förväntas kunna inträffa som kan ge konsekvenser för omgivningen som överskrider acceptanskriterierna. De osäkerheter kring resultaten i säkerhetsanalyserna som har observerats bör sättas i perspektiv till att även om det skulle finnas andra händelser och förhållanden (som inte har identifierats och analyserats) så bör inte dessa skilja sig väsentligt i storlek på utsläpp varför det är sannolikt att även dessa händelser ligger inom angivna gränser.

Organisation, ledning och styrning

SSM har granskat SKB:s organisation, ledning och styrning samt kompetens och personella resurser (Del II, kapitel 10) dels med avseende på uppförandeskedet dels med avseende den framtida driften av den uppförda anläggningen.

SSM kan av denna granskning konstatera att SKB visar på en grundläggande förståelse för de krav som gäller ledning och styrning av verksamheten. SKB har ett ledningssystem

som styr verksamheten vid den redan tillståndsgivna kärntekniska verksamheten som är uppbyggt enligt principerna för kvalitets- och miljöledning och projektet är föremål för interna revisioner. Det finns arbetssätt för kvalitetssäkring i samband med upphandling av produkter och tjänster och projektet etablerar ett arbetssätt för systematisk kravhantering för den planerade anläggningen. SKB arbetar med att utvärdera och utveckla organisationen så att det ska finnas förutsättningar för att organisationen kommer att vara utformad och bemannad så att den stödjer strålsäkerheten såväl under projekteringen av den utbyggda anläggningen som vid driften av en framtida utbyggd anläggning. Inför en PSAR behöver dock vissa aspekter förtydligas avseende roller och ansvarsförhållanden mellan projekt och linje under projekteringskedet, strategi för att säkerställa kompetens för att beställa, leda och värdera resultatet av arbete som utförs av inhyrd personal, avvägning mellan egen och inhyrd personal, resurssäkring av funktioner av SKB:s organisation som ligger utanför projektet och arbetssätt för erfarenhetsåterföring under kommande projekteringskedet.

SSM bedömer sammantaget att SKB har förutsättningar att uppfylla grundläggande säkerhetsbestämmelser enligt 2 kap.7, 8, 8a och 9 §§ SSMFS 2008:1 om organisation, styrning, ledning och kompetenssäkring. I den fortsatta prövningen för utbyggnaden av SFR ser SSM att det är av särskild vikt att SKB kan visa att erfarenheter från driften av befintlig anläggning tillvaratas så att bolaget kan fungera som en lärande organisation.

Fysisk skydd

SSM har granskat SKB:s ansökan om uppförande och drift av utbyggt SFR utifrån aspekter kopplade till fysiskt skydd (Del II, kapitel 8) och bedömt att det finns förutsättningar för SKB att uppfylla kraven i 2 kap. 11 § SSMFS 2008:1 för det färdigutbyggda SFR. SSM:s bedömning baseras på att SKB redovisat en preliminär plan för fysiskt skydd för utbyggt SFR (SKB dokID 1398066) och att denna på övergripande nivå beskriver organisation, ledning, bemanning och utformningen av områdesskyddet och skalskyddet. Inför PSAR behöver SKB redovisa en plan för det fysiska skyddet för byggskedet. SSM bedömer även att SKB inför nästa steg i processen att bygga ut anläggningen behöver ta fram en mer utvecklad redovisning avseende informations-säkerhet.

Beredskap

SSM har tidigare beslutat att inte klassificera den befintliga anläggningen SFR i någon beredskapskategori (tidigare benämnt hotkategori) enligt SSMFS 2014:2 (SSM2014-643-8) och SSM har inom ramen för granskningen (Del II, kapitel 9) av F-PSAR bedömt att utbyggnaden är av sådan karaktär att det i detta skede av tillståndsprövningen inte föreligger något behov av att ändra ställningstagandet avseende beredskapskategori. I kommande steg av den stegvisa prövningen kommer SSM förnya ställningstagandet om den utbyggda anläggningen ska klassificeras enligt de beredskapskategorier som anges i SSMFS 2014:2.

Helhetsbedömning

SSM konstaterar att SKB:s redovisning speglar den utbyggda anläggningen så som bolaget planerar att denna ska vara utformad då verksamheten tas i drift.

Analyserna i F-PSAR för den framtida, integrerade anläggningen kommer att förnyas och kompletteras inför utbyggnadsarbetena samt inför provdrift och rutinmässig drift i enlighet med bestämmelserna i 4 kap. 2 § SSMFS 2008:1. Med beaktande av detta, och utifrån en sammanvägd bedömning av ansökan som helhet, bedömer SSM att SKB har förutsättningar att uppfylla kraven enligt 4 kap 2 § SSMFS 2008:1 på säkerhetsredovisning och att konstaterade brister kan åtgärdas av SKB i kommande skede av prövningsprocessen.

Inför en kommande ansökan om godkännande av PSAR i den stegvisa prövningen bedömer SSM att underlaget behöver kompletteras med säkerhetsgranskning enligt 4 kap. 3 § SSMFS 2008:1 för att uppfylla kraven om värdering och redovisning av anläggningens säkerhet.

3.4.2 Långsiktig strålsäkerhet

Detta avsnitt omfattar SSM:s sammanfattande bedömning av om kraven på säkerhet och strålskydd enligt kärntekniklagen (1984:3) och strålskyddslagen (1988:220) kan förväntas bli uppfyllda efter förslutning av den utbyggda slutförvarsanläggningen för låg- och medelaktivt avfall (SFR). SSM:s bedömningar i detta avseende är gjorda mot kraven i myndighetens föreskrifter SSMFS 2008:21 om säkerhet vid slutförvaring av kärnämne och kärnavfall samt SSMFS 2008:37 om skydd av människors hälsa och miljön vid slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle och kärnavfall. SSM:s detaljerade granskning av SKB:s redovisning av slutförvarets strålsäkerhet efter förslutning redogörs för i Del III av granskningsrapporten. Utförligare redogörelser för SSM:s bedömningar av ansökansunderlag mot myndighetens samtliga föreskriftskrav avseende långsiktig strålsäkerhet återfinns i Del III, kapitel 11.

Referensutformningens funktion som grund för bedömning av kravuppfyllelse

Förvarsdelarna i den planerade utbyggnaden av SFR beskrivs i termer av en referensutformning i SKB:s ansökan.

Baserat på de granskningsresultat som presenteras i del III av denna granskningsrapport drar SSM slutsatsen att den referensutformning som föreslås för den utbyggda delen, med ett system av barriärer med olika egenskaper och funktioner som anpassats till det avfall som avses per förvarsdel, ger förutsättningar för att upprätthålla slutförvarets skyddsförmåga och strålsäkerheten efter förslutning. Förvarets referensutformning blir således i strålsäkerhetskänslighet analogt med den skyddsförmåga som tillskrivs den föreslagna utbyggnaden av SFR inom ramen för säkerhetsanalysen SR-PSU och sedermera med hur förvaret representeras i säkerhetsanalysens initialtillstånd. De säkerhetsfunktioner och säkerhetsprinciper som tillskrivs de olika barriärerna som tillsammans definierar förvarets skyddsförmåga beskrivs utförligt i SR-PSU, se exempelvis (SKB, 2015, avsnitt 11.3).

Utvärdering av skyddsförmågan måste för ett förvar vars huvudsakliga funktion är fördröjning av uttransport utgå från det inventarium av radioaktiva ämnen som förvaret är avsett för. En förutsättning för att utbyggnadens avsedda syfte och skyddsförmåga ska kunna uppnås enligt SKB:s säkerhetsprinciper är således att endast en begränsad mängd radioaktiva ämnen, i synnerhet sådana som innehåller långlivade radionuklider, placeras i förvaret.

Skyddsförmågan upprätthålls av ett barriärsystem där antalet barriärer samt deras funktion har anpassats till avfallets innehåll av radioaktiva ämnen och övriga egenskaper. SR-PSU innefattar både en befintlig anläggning som är i drift och en planerad utbyggnad där både naturliga och tekniska barriärer av analog kvalifikation tillskrivs likvärdiga funktioner. Vidare beskrivs hur förvaret representeras i initialtillståndet däri, oavsett om konstruktionen redan finns, vilket är fallet för förvarsdelarna i befintliga SFR (Silo, 1BMA, 1-2BTF och 1BLA), eller om konstruktionen representeras av en referensutformning, vilket är fallet för förvarsdelarna som ingår i den planerade utbyggnaden (2BMA, 1BRT och 2-5BLA). Barriärsystemet kan sägas utgöras av ett säkerhetskoncept som är gemensamt för samtliga förvarsdelar, både befintliga och tillkommande.

Referensutformningen av den tilltänkta utbyggnaden av slutförvaret, liksom dess lokalisering, ligger till grund för bedömningen av SKB:s ansökan gentemot kraven på optimering och bästa möjliga teknik, se föregående avsnitt. Således betonas inte de tekniska barriärfunktioner som SKB tillskriver de befintliga förvarsdelarna eftersom de inte bedöms ingå i den planerade utbyggnadens referensutformning. Den naturliga barriären berörs nedan eftersom den i huvudsak är gemensam för både den befintliga anläggningen och den planerade utbyggnaden, även om den skiljer sig i vissa hänseenden då lokaliseringen av den planerade utbyggnaden avses att uppföras på ett större förvarsdjup.

För samtliga förvarsdelar, både de befintliga och de tillkommande, bidrar den kristallina berggrunden, vilken utgör den naturliga barriären, till att isolera det deponerade avfallet och fördröja utsläpp av radioaktiva ämnen. Detta sker främst genom bergets förhållandevis låga grundvattenflöde liksom de kemiskt reducerande förhållanden som förväntas efter förslutning.

Lokaliseringen under havsbotten bidrar för en tidsperiod på cirka 1000 år till förvarets skyddsförmåga genom att begränsa risken för intrång genom brunnsborrning samt genom att upprätthålla lågt grundvattenflöde i anslutning till förvaret och därmed låg uttransport av radioaktiva ämnen. Den tidsperiod som förvaret ligger under havet är beroende av den relativa årliga landhöjningen i Forsmarksområdet. Den naturliga barriären samt den inledande underhavslokaliseringen är gemensamma för samtliga förvarsdelar, både befintliga och tillkommande.

För de tillkommande förvarsdelar som avses omhänderta det minst radiologiskt farliga avfallet (2-5BLA) utgör berggrunden (enligt principerna som anges ovan) tillsammans med pluggarnas funktion de enda barriärerna som tillgodoses för att upprätthålla förvarets långsiktiga strålsäkerhet.

För den planerade förvarsdelen 1BRT bidrar även kringgjutningen av de segmenterade reaktortankarna till gynnsamma barriäregenskaper, i första hand till en kemisk barriärfunktion, som bidrar till långsiktig strålsäkerhet.

Betongbarriären i 2BMA, som är den mest kvalificerade tillkommande förvarsdelen, innehar både hydrauliska (flöde) och kemiska barriärfunktioner. Den förstnämnda funktionen är relevant för samtliga nuklider i inventariet medan den kemiska barriärfunktionens effektivitet beror på specifika nuklidens sorptionsförmåga givet den kemiska miljö som barriären upprätthåller främst genom buffring av pH och redoxförhållanden. Flödesbarriärens effektivitet beror till stor del på de hydrauliska egenskaper som tillskrivs betongen i olika faser av förvarets utveckling och den tillhörande genomsläpplighetskontrasten mot omgivande berg och återfyllnad. Sprickförekomst och fördelning av sprickvidder utgör dominerande faktorer.

Utöver betongkonstruktionens barriärfunktioner som beskrivs ovan innehar den uppdaterade referensutformningen av 2BMA innerväggar som bidrar till att upprätthålla förvarsdelens skyddsförmåga genom att bland annat utgöra en kemisk barriär, en funktion som tillskrevs kringgjutningen av avfallskollin i den ursprungliga referensutformningen av förvarsdelen.

Sammanfattningsvis kan sägas att utbyggnadens tekniska barriärer, kringgjutningen och i viss mån även avfallet och dess behållare bidrar dels till att skapa en kemisk miljö som bidrar till fördröjning av utsläpp av flertalet radioaktiva ämnen genom att minska dess rörlighet, dels till att upprätthålla ett lågt vattenflöde genom förvaret. Tillsammans med

begränsning av mängden långlivade radionuklider i förvarets inventarium fungerar dessa barriärer och den omgivande berggrunden till att upprätthålla strålsäkerheten under den tidsperiod då deras funktioner behövs efter slutförvarets förslutning.

I anslutning till SSM:s bedömning av ansökansunderlaget gentemot respektive författningskrav avseende långsiktig strålsäkerhet nedan återfinns utförligare beskrivning och bedömning av förvarets skyddsförmåga och barriärsystemets funktioner.

Nedan följer sammanfattande bedömningar avseende områden som definieras av SSMFS 2008:21 och SSMFS 2008:37 och som ger ett heltäckande underlag för utvärdering av slutförvarets långsiktiga strålsäkerhet.

Helhetssyn på strålsäkerhet

SSM bedömer att SKB:s valda metod för att slutförvara kortlivat låg- och medelaktivt avfall, vilket innefattar både befintlig del samt planerad utbyggnad av SFR, har lokaliserats och utformats för att ge kommande generationer och miljön skydd från skadlig verkan av joniserande strålning. Avseende lokaliseringen bedömer SSM att fördelarna med en förläggning i anslutning till befintlig anläggning överväger eventuella strålsäkerhetsmässiga fördelar en alternativ förläggningsplats skulle kunna medföra. Den sökta platsens förvarsdjup bedöms vara lämpligt valt med hänsyn till avfallets farlighet, hydrologiska förhållanden, uppskattningen av framtida permafrostdjup och framtida mänskliga aktiviteter. Strålsäkerheten uppnås genom en anpassad utformning av tekniska barriärer i berörda förvarsdelar tillverkade av betong, och för en av förvarsdelarna bentonit samt betong, som begränsar grundvattenflöden och åtföljande spridning av radioaktiva ämnen samt medför en gynnsam miljö för retardation av flertalet radioaktiva ämnen. Utformningen av tekniska barriärer har för de olika förvarsdelarna beaktat avfallets aktivitet och egenskaper för att i erforderlig utsträckning minska utsläppet samt bidra till fördröjning av uttransport av radioaktiva ämnen, i synnerhet under den tid då den största potentiella risken för omgivningskonsekvenser föreligger.

Det kommer dock att ske en viss spridning av främst långlivade radioaktiva ämnen under den tidsrymd under vilken förvarets utveckling beaktas. Spridningens storlek beror på avfallets övriga egenskaper, de tekniska barriärernas egenskaper och deras långsiktiga utveckling. De, för strålsäkerheten, viktigaste osäkerheterna som finns associerade med framför allt de tekniska barriärernas utveckling med tiden bedöms inrymmas i SKB:s analyser genom redovisning av pessimistiska beräkningsfall. Dessa analyser möjliggör en värdering av effekter för förvarets långsiktiga utveckling som involverar spridning av radioaktiva ämnen även under pessimistiska förutsättningar. I SKB:s redovisning analyseras effekter av utsläpp till geografiskt små utströmningsområden i slutförvarets närområde. SKB:s biosfärsmodellering bedöms i allmänhet ge en bra beskrivning av biosfären, samt ge ett rimligt underlag för uppskattningen av omgivningskonsekvenser kopplade till ett visst utsläpp av radioaktiva ämnen. Detta beror på att de beaktar spridningsvägar, markanvändning och kostvanor som medför en förhållandevis stor exponering för de hypotetiska framtida närboende i området. SKB har även genom motsvarande beräkningar på ett rimligt sätt beaktat skydd av biologisk mångfald och hållbart nyttjande av biologiska resurser mot skadlig verkan av joniserande strålning.

Barriärsystemet och dess funktioner

Baserat på de granskningsresultat som presenteras i del III av denna granskningsrapport drar SSM slutsatsen att den förvarsutformning som tillämpas för befintligt SFR och som föreslås för den utbyggda delen, med ett system av barriärer med olika egenskaper och funktioner som anpassats till det avfall som avses per förvarsdel, ger förutsättningar för att upprätthålla slutförvarets skyddsförmåga och strålsäkerheten efter förslutning.

SKB har utgått från två huvudsakliga säkerhetsprinciper i) begränsning av mängden långlivade radionuklider, och ii) fördröjning av uttransport av radionuklider. En långsam uttransport möjliggör att en betydande del av aktiviteten hinner klinga av innan spridning i biosfären börjar ske i någon betydande omfattning.

SSM bedömer att säkerhetsprincipen fördröjning av uttransport av radionuklider upprätthålls genom hydrauliska, kemiska och mekaniska barriärsfunktioner som den naturliga bergbarriären och de tillverkade tekniska barriärerna bidrar med. Fram till cirka 1000 år efter förslutning bidrar dessutom slutförvarets placering under havet initialt till ytterligare skydd genom att förhindra oavsiktligt intrång samt genom dess inverkan på grundvattenflödet. SSM konstaterar att fördröjningsfunktionen kontrolleras av de radioaktiva ämnas kemiska egenskaper i slutförvarsmiljön och berget samt transport i tekniska barriärer och berg med det omgivande grundvattnet. De tekniska barriärerna, kringgjutningen och i viss mån även avfallet och dess behållare bidrar dels till att skapa en kemisk miljö som bidrar till retardation av utsläpp av flertalet radioaktiva ämnen genom att minska dess rörlighet, dels till att upprätthålla ett lågt vattenflöde genom förvaret.

SSM bedömer att berget vid SFR har fördelaktiga egenskaper för att begränsa uttransport av radioaktiva ämnen. Detta avser främst bergets förhållandevis låga vattenflöde liksom de kemiskt reducerande förhållanden som förväntas dominera förvarsmiljön efter förslutning. Det låga flödet bidrar till att upprätthålla de tekniska barriärernas funktioner genom att begränsa degraderingshastigheten av framför allt betong. Kemiskt reducerande betingelser i grundvattnet i kombination med höga pH-värden begränsar korrosionshastigheten för järn och stål samt bidrar till begränsad rörlighet för ett stort antal betydelsefulla radionuklider.

SSM konstaterar dock att en inventariebegränsning för långlivade och relativt rörliga radionuklider är en förutsättning för att förvaret, givet den utformning som föreslås, ska kunna uppvisa erforderlig skyddsförmåga på sikt. Detta visas exempelvis av stora dosbidrag från radionuklider såsom molybden-93 och organiskt kol-14 som tillskrivs begränsad respektive ingen sorptionsförmåga i de tekniska barriärerna. För dessa nuklider utgörs begränsningen av uttransport av de tekniska barriärernas flödesmotstånd. Flödesmotståndet har visats vara robust. Denna bedömning underbyggs av SKB:s scenario med accelererad betongdegradering där ett snabbare degraderingsförlopp för betongens hydrauliska egenskaper ansätts utan att omgivningskonsekvenserna ökar i betydande omfattning.

För de förvarsdelar där den flödesbegränsande funktionen gradvis förloras konstaterar SSM att systemets kemiska barriärfunktion fortfarande kommer att bidra med en fördröjande funktion genom sorption. SSM konstaterar att betongbarriärens flödesbegränsande funktion sannolikt reduceras snabbare än dess kemiska barriärsfunktion. Även den kemiska barriärfunktionen reduceras i viss omfattning på grund av en förväntad kemisk degradering av reaktiva cementmineraler i betongen. Trots ett omfattande degraderingsförlopp bedömer SSM att endast begränsade förändringar av pH och andra förhållanden, som påverkar sorptionens omfattning, äger rum. SSM anser dock att SKB i kommande säkerhetsredovisningar bör tydligare belysa kopplingen mellan en tänkbar snabbare mekanisk degradering av betongen, utveckling och variationsbredd för kemiska förhållanden samt systemets kemiska barriärfunktion.

Optimering och bästa möjliga teknik

SSM:s bestämmelser syftar bland annat till att lokalisera och utforma ett så strålsäkert slutförvar som rimligen möjligt. Denna rimlighetsavvägning beaktar såväl ekonomiska och samhällseliga faktorer som avfallets radiologiska farlighet. Detta innebär att lägre krav

således kan ställas på förvarssdelar i vilka lågaktivt avfall ska slutförvaras, jämfört med förvarssdelar för medelaktivt avfall. Detta synsätt har också varit utgångspunkt för bedömningen av alternativa utformningar för tillkommande förvarssdelar. I en sådan bedömning innefattas en värdering av erforderlig tålighet och robusthet gentemot interna och externa förhållanden, händelser och processer som kan påverka ett givet barriärssystem efter slutlig förslutning. Utöver denna aspekt har myndigheten även beaktat parametrar såsom relativ kostnad för olika alternativ och huruvida både aktuella och alternativa utformningar utgör beprövade tekniker i termer av uppförande och drift. Myndighetens samlade bedömning av vilken utformning som kan betraktas som lämpligast utifrån ett optimerings- och BMT-perspektiv har sedan baserats på en helhetsavvägning där samtliga dessa aspekter vägs in.

Avseende 2-5BLA gör SSM den sammantagna bedömningen att förvarssdelarna har en förbättrad skyddsförmåga jämfört med förvarssdelen 1BLA, dels genom ett utökat förvarssdjup, vilket ger ett utökat skydd mot oavsiktligt intrång, dels genom det lägre grundvattenflödet på valt förvarssdjup. Även om skyddsförmågan för dessa förvarssdelar i princip skulle kunna förbättras genom att installera ytterligare barriärer, anser SSM att de kostnader som detta för med sig inte kan förväntas stå i proportion till avfallets relativt sett ringa aktivitetsinnehåll. SSM bedömer därför att den förordade utformningen av förvarssdelarna 2-5BLA kan anses vara optimerad från strålskyddssynpunkt och även lämplig ur ett BMT-perspektiv.

Avseende den planerade förvarssdelen BRT är de redovisade planerna inte fullt ut fastlagda av SKB vilket exempelvis innebär att planer för segmentering av reaktortankar behöver utvecklas inför SKB:s kommande redovisningar. SSM bedömer att SKB har förutsättningar att i samråd med reaktorägarna då mer noggrant ha beräknat dosprognoser för segmenteringsalternativet fullt ut, vilka inkluderar stråldoser till personal under genomförandet till dess att segmenteringsavfallet är förpackat, transporterat och inplacerat i förvaret. SSM bedömer att SKB:s nu planerade hanteringsväg för reaktortankarna är lämplig och till stor del har baserats på beprövad teknik. De redovisade planerna är dock ännu tämligen vaga, och planeringen inför segmentering av reaktortankarna kommer att behöva utvecklas.

SSM konstaterar att det fortfarande finns vissa kvarstående frågeställningar kopplade till genomförbarheten i uppförandet av 2BMA givet den uppdaterade referensutformning som föreslås av SKB. Dessa avser i första hand osäkerheter kopplade till ett uppförande av en sprickfri betong med de hydrauliska egenskaper som SKB ansätter för initialtillståndet i SR-PSU. Myndigheten bedömer dock att SKB genom det påbörjade utvecklingsarbetet och med relevanta kontrollprogram och ett successivt uppförande av kassunerna med tillhörande verifierande analyser, har förutsättningar att uppföra ett 2BMA i enlighet med SKB:s ställda långsiktiga funktionskrav.

Utformningen av 2BMA ska också värderas mot olika alternativ. I en sådan jämförelse behöver eventuella förbättringar av strålsäkerheten värderas mot andra faktorer såsom kostnader, huruvida de olika alternativa utformningarna utgör beprövade tekniker i termer av uppförande och drift, samt vilken flexibilitet som finns avseende anpassning till föränderliga avfallsvolymer och metoder för avfallskonditionering. En samlad bedömning av vilken utformning som kan betraktas som lämpligast utifrån ett optimerings- och BMT-perspektiv baseras därefter på en helhetsavvägning där samtliga dessa aspekter vägs in.

I granskningen når SSM bedömningen att SKB:s förordade utformning av 2BMA bör godkännas, men att utnyttjandet av förvarets skyddsförmåga som helhet kan och ytterligare behöver optimeras genom att så långt som rimligen är möjligt begränsa

inventariet av långlivade radioaktiva ämnen i 2BMA. Se Del III, avsnitt 11.6 för mer detaljerade resonemang i detta hänseende.

Angående platsvalet bedömer SSM att den förordade platsen i sig är lämplig för ett slutförvar för kortlivat låg- och medelaktivt avfall. Utformningen, som baseras på säkerhetsprinciperna begränsning av långlivade radioaktiva ämnen samt fördröjning av utsläpp av radioaktiva ämnen, bedöms vara lämplig med beaktande av avfallets radiologiska farlighet, tidigare erfarenheter från den befintliga anläggningen, konstaterade och förväntade betingelser vid förläggningsplatsen, samt utifrån perspektivet optimering och bästa möjliga teknik. Mer utförliga förvarsdellsspecifika bedömningar utifrån ett lokaliseringsspektiv återfinns i Del III, avsnitt 11.6.

Slutförvarets konstruktion

SSM grundar sin bedömning om slutförvarets tålighet på hela barriärsystemet. Bedömningen av de enskilda barriärernas tålighet har dock en betydelse för bedömning inom andra områden såsom bästa möjliga teknik samt skydd av människors hälsa och miljön. SSM anser att tålighet behöver utvärderas utifrån följande perspektiv:

- inventariets betydelse för förvarets skyddsförmåga
- barriärernas samlade betydelse
- förvarsplatsens betydelse
- inverkan av en eller flera fallerade barriärer
- de viktigaste frågorna för de enskilda tekniska barriärernas tålighet

Utvärdering av barriärsystemets tålighet måste för ett förvar vars huvudsakliga funktion är fördröjning av uttransport utgå från det inventarium av radioaktiva ämnen som förvaret är avsett för. Således, en förutsättning för att uppnå SFR-förvarets avsedda skyddsförmåga är att endast en begränsad mängd radioaktiva ämnen placeras i förvaret.

För en bedömning av barriärsystemets tålighet krävs kunskaper om varje enskild barriärs tålighet samt hur barriärerna samverkar för att upprätthålla slutförvarets skyddsförmåga. Det finns dock osäkerheter med avseende på enskilda barriärers utveckling som är svåra att helt eliminera särskilt för extremt långa tider. För SFR-förvaret, som utformats för slutförvaring av kortlivat lågt- och medelaktivt avfall utgör säkerhetsprincipen ”begränsning av mängden långlivade radionuklider” en nödvändig utgångspunkt för att kunna uppnå erforderlig strålsäkerhet i det mycket långa tidsperspektivet. Osäkerheter kring de enskilda barriärernas långsiktiga utveckling får en begränsad betydelse eftersom den potentiella maximala risken för människors hälsa förväntas att uppstå inom de första 10 000 åren efter förslutning. Utvärdering av systemets tålighet genom analys av degradering av tekniska barriärer och förändrat flöde i berget i samband med scenario- och konsekvensanalys visar att systemets tålighet i sin helhet är godtagbar, även om de enskilda barriärernas skyddsförmåga i viss utsträckning skulle visa sig vara sämre än vad som förutsätts i SKB:s analys. Sammantaget bedömer SSM att barriärsystemet bestående av tekniska barriärer och den naturliga bergbarriären är tillräckligt robust.

Betongbarriären, som används i förvarsdelarna Silo, 1-2BMA, 1-2BTF samt 1BRT utgör både en flödesbarriär och en kemisk barriär. Den förstnämnda funktionen är relevant för samtliga nuklider i inventariet medan den kemiska barriärfunktionens effektivitet beror på specifika nuklidens sorptionsförmåga givet den kemiska miljön som barriären upprätthåller främst genom buffring av pH och redoxförhållanden. Flödesbarriärens effektivitet beror till stor del på de hydrauliska egenskaper som tillskrivs betongen i olika faser av förvarets

utveckling. Sprickförekomst och fördelning av sprickvidder utgör dominerande faktorer. SKB:s scenario med accelererad betongdegradering illustrerar säkerhetsbetydelsen för betongbarriärens långsiktiga degradering. I detta fall ansätts ett snabbare degraderingsförlopp av betongens hydrauliska egenskaper utan att de maximala omgivningskonsekvenserna ökar i betydande omfattning. Enligt SSM:s bedömning är de flödesbegränsande egenskaperna hos betongbarriären robust och de kvarstående osäkerheterna har begränsad betydelse för riskanalysen. Tidsskalan för beräknad maximal dos/risk på några 1000 år efter förslutning av förvaret ger ett sammanhang för bedömningen av kvarstående osäkerheter.

SSM bedömer dock att betongbarriärens flödesbegränsande funktion sannolikt reduceras snabbare än dess kemiska barriärsfunktion. Enligt SSM innebär detta att den kemiska barriärfunktionen får en relativt sett större betydelse efter att flödesbarriärfunktionen har reducerats avsevärt genom mekanisk degradering. Även den kemiska barriärfunktionen reduceras till viss del på grund av en förväntad degradering av cementmineraler i betongen. Trots ett omfattande degraderingsförlopp sker endast små förändringar av pH och andra förhållanden som påverkar radionuklidernas sorption. SSM anser dock att SKB i kommande säkerhetsredovisningar tydligare bör redovisa kopplingen mellan en tänkbar snabbare mekanisk degradering av betongen, utveckling och variationsbredd för kemiska förhållanden samt systemets kemiska barriärfunktion. Se Del III, avsnitt 11.7.1 för mer detaljerade bedömningar avseende förvarets tålighet efter förslutning.

Principen om flerfaldiga barriärer och multipla säkerhetsfunktioner är utgångspunkten i internationella riktlinjer för geologisk slutförvaring av radioaktivt avfall (t.ex. IAEA, 2011). Denna princip är användbar för att så långt som möjligt säkerställa skyddsförmågan för ett slutförvar även om viss information, vissa kunskaper eller visst utförande med avseende på en barriär eller barriärfunktion är ofullständig eller visar sig ha brister. Principen är inte nödvändigtvis kopplad till en sannolikhet eller motivering av en viss brist (som utgör grunden för riskanalysen), utan den är tillämpbar även på konsekvenser av postulerade brister som inte behöver vara baserade på berättigade misstankar om att bristerna skulle kunna förekomma.

SSM anser sammanfattningsvis att bedömning av flerbarriärprincipens tillämpning behöver grundas på det avsedda avfallets radiologiska farlighet, vilken definierar erforderlig kvalifikation på respektive förvarsdelens barriärfunktioner. SSM drar slutsatsen från sin granskning av SKB:s underlag att den förvarsutformning som föreslås för den utbyggda delen, med ett system av barriärer med olika egenskaper och funktioner som anpassats till det avfall som avses per förvarsdel, analogt med befintlig anläggning, ger förutsättningar för att upprätthålla slutförvarets skyddsförmåga och strålsäkerheten efter förslutning. SSM anser att SKB har redovisat betydelsen av brister hos barriärer/barriärfunktioner genom uppsättningen av scenarier och beräkningsfall i SR-PSU. SSM bedömer att denna redovisning visar att långsiktiga strålsäkerhetskonsekvenser inte i otillbörlig utsträckning är avhängig en enstaka barriär eller barriärfunktion. Se Del III, avsnitt 11.7.2 för mer detaljerade bedömningar kopplat till flerbarriärprincipen.

Intrång efter förslutning

SSM bedömer att SKB har valt lämpliga fall för att redovisa konsekvenser av framtida mänskliga handlingar inklusive intrång i SFR med planerad utbyggnad. SSM bedömer vidare att valda fall med direkt respektive indirekt påverkan på slutförvaret utgår från rimliga antaganden och förutsättningar, samt att SKB:s dosuppskattningar för de olika fallen är trovärdiga.

Av SKB:s redovisade beräkningsfall i konsekvensanalysen i SR-PSU är det i synnerhet scenarierna med intrångsbrunnar och ej förslutet förvar som bedöms ge betydande konsekvenser. SSM anser att förvarslokaliseringen med initial placering under hav avsevärt reducerar risker för intrång under havsperioden samt reducerar utsläpp under samma period tack vare låga grundvattenflöden i berggrunden under perioden med havsövertäckning. SSM anser det vara av stor betydelse att SKB tar fram strategier för bevarande av information för att minska risken för oavsiktliga intrång efter förslutning. Om sådan typ av information skulle gå förlorad bedömer SSM ändå att tillämpningen av SKB:s säkerhetsprincip ”begränsad mängd långlivade radionuklider” har en stor betydelse för att begränsa konsekvenserna av intrång i mycket långa tidsperspektiv.

Skydd av människors hälsa och miljöskydd

SKB:s analys för beräkning av årlig effektiv dos utgår från ett antal beräkningsfall som representerar ett huvudscenario, mindre sannolika scenarier och restsценarier. För att utvärdera radiologisk risk för respektive scenario beräknas först en högsta årlig effektiv indos. Den högsta årliga risken för varje fall erhålles genom multiplikation med sannolikhetskoefficienter i enlighet med Internationella strålskyddskommissionens (ICRP) rekommendationer för omvandling av effektiv stråldos till risk för skadeverkningar.

SSM konstaterar att den maximala risken för skadeverkningar från utsläpp av radioaktiva ämnen från befintligt SFR och den planerade utbyggnaden enligt huvudscenariot i SR-PSU underskrider SSM:s föreskriftskrav på en maximal årlig risk på 10^{-6} . Detta riskbidrag representeras av den maximala risken vid varje tidpunkt för variantfallet med global uppvärmning och varianten med tidigt periglacialt klimat. Tidpunkten för maximal radiologisk risk inträffar enligt SKB:s analys med några få undantag i tidshorisonten 3000–6000 e.Kr. Huvudscenariot representerar förvarets förväntade mest sannolika utveckling, medan mindre sannolika scenarier representerar situationer under vilka någon av förvarets säkerhetsfunktioner inte uppfylls i enlighet med förväntan. Enligt SKB:s beräkningar erhålls störst omgivningskonsekvenser för scenarierna som beaktar framtida mänskliga aktiviteter, i synnerhet intrångsbrunnar.

SSM konstaterar vidare att analysen av slutförvarets långsiktiga konsekvenser har baserats på en sammanvägning av bidrag till slutförvarets skyddsförmåga från samtliga beaktade säkerhetsfunktioner. Skyddsförmågan härrör i fallet SFR från SKB:s definierade säkerhetsprinciper *begränsad mängd långlivade radionuklider* och *fördröjning av uttransport av radionuklider*. De utgör grunden för SSM:s bedömning av SKB:s riskanalys. SSM bedömer att SKB:s analys av slutförvarets risk vid en viss tidpunkt i dess utveckling kan anses vara tillförlitlig för bedömning av den sökta verksamhetens tillåtlighet. Detta gäller i synnerhet beräkningen av maximal dos/risk för tidpunkten ungefär 3 000 år efter förslutning.

SSM bedömer sammanfattningsvis att SKB:s riskanalys är ändamålsenlig och beaktar de viktigaste faktorerna för vilka osäkerheter kvarstår. SSM bedömer att analysen visar på att förvaret besitter en rimlig tålighet mot de förhållanden, händelser och processer som förväntas kunna inträffa efter förslutning. En utförlig bedömning avseende SKB:s riskanalys återfinns i bilaga 2, del III, kapitel 10 och 11.

SKB:s biosfärmodellering bedöms i allmänhet ge en bra beskrivning av biosfären och ge ett rimligt underlag för uppskattningen av omgivningskonsekvenser kopplade till ett visst utsläpp av radioaktiva ämnen. Detta beror på att modelleringens synsätt beaktar spridningsvägar, markanvändning och kostvanor som medför en förhållandevis stor exponering

för hypotetiska framtida närboende i området. SKB har även genom motsvarande beräkningar på ett rimligt sätt beaktat skydd av biologisk mångfald och hållbart nyttjande av biologiska resurser mot skadlig verkan av joniserande strålning.

I redovisningen av risker med joniserande strålning för djur och växter förknippade med området som omger det befintliga SFR med planerad utbyggnad redovisar SKB beräknad maximal exponering från vatten, sediment och jord. Beräkningar av exponering (dos) till djur och växter har till stor del baserats på platsspecifik kunskap om de aktuella ekosystemen.

Vidare har SKB beaktat tre kriterier för att välja ut representativa arter; biologisk betydelse för ekosystemen (nyckelarter, ekologiska funktioner), hotade och genetiskt särpräglade populationer, samt ekonomiskt och kulturellt viktiga arter. SKB har tillämpat den internationellt etablerade metodiken ERICA som är konsekvent med ICRP:s generella vägledning för bedömning av miljöskydd. SSM bedömer att SKB:s redovisning i detta avseende är ändamålsenlig. Den beräknade exponeringen är till stora delar konservativ och underskrider ICRP:s intervall av exponeringsnivåer. Se vidare bilaga 2, avsnitt 10.6.2 vad gäller SSM:s bedömning av effekter på djur och växter i miljön.

Säkerhetsanalysmetodik

SKB:s säkerhetsanalys har baserats på en metodik som utgörs av tio steg: 1) hantering av händelser, processer och egenskaper (FEP), 2) beskrivning av det initiala tillståndet, 3) beskrivning av externa förhållanden, 4) beskrivning av interna processer, 5) definition av säkerhetsfunktioner, 6) sammanställning av indata till säkerhetsanalysen, 7) analys av slutförvarets referensutveckling, 8) val av scenarier, 9) analys av valda scenarier, 10) slutsatser. Enligt SSM:s bedömning innefattar denna metodik de nödvändiga momenten för genomförande och utvärdering av säkerhetsanalysen.

SSM anser att en viktig del av säkerhetsanalysmetodiken innefattar beskrivning och hantering av osäkerheter. SKB:s klassificering av osäkerheter innefattar fullständighet i identifiering av förhållanden, händelser och processer (FEP), val av scenarier, samt identifiering och hantering av konceptuella osäkerheter, modellosäkerheter liksom osäkerheter i indata för beräkningar av radionuklidtransport. SSM bedömer att denna klassificering inbegriper systemosäkerhet och scenarioosäkerhet, osäkerhet med avseende på konceptuella modeller liksom parameterosäkerheter och rumslig variabilitet, i enlighet med SSM:s allmänna råd. SKB har på ett övergripande sätt beskrivit hur dessa typer av osäkerheter har hanterats inom säkerhetsanalysen.

SKB har enligt SSM:s bedömning på ett acceptabelt sätt beskrivit metoder för de känslighetsanalyser som har genomförts i samband med konsekvensanalysberäkningarna. SSM konstaterar att hanteringen av osäkerheter till viss del genomsyrar hela säkerhetsanalysen SR-PSU, men att användningen av känslighetsanalyser har i huvudsak fokuserats på radionuklidtransportberäkningar. I dessa beräkningar ingår fall som utvärderar osäkerheter avseende beskrivning av barriärernas långsiktiga utveckling. SSM bedömer, mot bakgrund av denna information, att SKB:s redovisning av osäkerheter inklusive analys av osäkerheter med känslighetsanalyser är ändamålsenlig.

3.4.3 Miljöbalkens krav, optimering och bästa möjliga teknik

De allmänna hänsynsreglerna

SSM bedömer, från strålsäkerhetssynpunkt, att SKB med sin ansökan har iakttagit de allmänna hänsynsreglerna i 2 kap. miljöbalken. Dessa innefattar bl.a. krav på kunskap och

kompetens, användande av bästa möjliga teknik och val av plats. I fråga om produktvalsprincipen och hushållnings- och kretsloppsprincipen bedömer SSM att frågorna väsentligen faller utanför SSM:s sakområde. För en mer ingående bedömning än vad som återges nedan, se del IV samt även del II och III.

Kunskapskravet

SSM bedömer att de förberedande preliminära säkerhetsanalyser som SKB har tillhandahållit i rimlig utsträckning redogör för radiologiska omgivningskonsekvenser såväl under uppförande och drift som efter förslutning av den planerade utbyggnaden. SSM bedömer att SKB, bl.a. genom de förberedande preliminära säkerhetsredovisningarna, har visat att bolaget har den kunskap som krävs för att på ett lämpligt sätt analysera den långsiktiga omgivningspåverkan av den sökta verksamheten samt att SKB på ett godtagbart sätt har hanterat osäkerheter kopplade till slutförvarets skyddsförmåga och de strålsäkerhetsmässiga omgivningskonsekvenserna.

Även om SSM bedömer att vissa aspekter av SKB:s organisation, ledning och styrning behöver utvecklas, tillsammans med tillvaratagande av erfarenheter från driften av befintlig anläggning, så bedömer SSM att bolaget kan fungera som en lärande organisation. SSM konstaterar vidare att SKB har ett ledningssystem som styr verksamheten vid den redan tillståndsgivna kärntekniska verksamheten som är uppbyggt enligt principerna för kvalitets- och miljöledning samt att projektet även är föremål för interna revisioner. Baserat på detta bedömer SSM således sammantaget att SKB har en lämplig organisation för att uppföra och driva den tänkta utbyggnaden av det befintliga SFR.

Försiktighetsprincipen och krav på bästa möjliga teknik – förvarets utformning

Sammantaget bedömer SSM, från strålsäkerhetssynpunkt, att SKB tillräckligt väl har iakttagit kravet i 2 kap. 3 § miljöbalken vid utformningen av den utbyggda SFR-anläggningen.

SSM:s föreskrivna krav på strålskyddsoptimering och bästa möjliga teknik har i delar varit vägledande för myndighetens bedömning av strålsäkerhet efter förslutning. SSM:s bestämmelser syftar bland annat till att lokalisera och utforma ett så strålsäkert slutförvar som det är rimligt och möjligt med avseende på strålsäkerhet efter förslutning. Denna rimlighetsavvägning beaktar inte bara ekonomiska och samhällseliga faktorer utan har avfallets radiologiska farlighet som utgångspunkt. Detta innebär att högre krav bör ställas på en förvarsdel där medelaktivt avfall ska slutförvaras jämfört med en förvarsdel med lågaktivt avfall. Detta synsätt, motsvarande miljöbalkens skälighetsavvägning, har också varit utgångspunkt för bedömningen av alternativa utformningar för de olika förvarsdelar som planeras i utbyggnaden. En sådan bedömning innefattar en värdering av barriärsystemets tålighet gentemot interna och externa förhållanden, händelser och processer som kan påverka de olika barriärfunktionerna efter slutlig förslutning. Utöver denna aspekt har myndigheten även beaktat huruvida de olika alternativa utformningarna utgör beprövade tekniker i termer av uppförande och drift.

I fallet SFR är slutförvarets huvudfunktion att fördröja och begränsa utsläpp av radioaktiva ämnen för att möjliggöra avklingning av förhållandevis kortlivad aktivitet inuti förvaret samt att begränsa utsläpp av kvarvarande långlivade nuklider. För denna typ av förvar är begränsning och kontroll av inventariets storlek och i synnerhet innehållet av långlivade nuklider en förutsättning för upprätthållandet av långsiktig strålsäkerhet.

Befintliga SFR är utformat så att den förvarsdel som omhändertar det mest radiologiskt farliga avfallet (Silo) innehar det mest kvalificerade tekniska barriärsystemet med både en

betongbarriär och en bentonitbarriär utöver berget som utgör den naturliga barriären. Därutöver avtar komplexiteten i barriärssystemet för de förvarsdelar som omhändertar mindre farligt avfall (1BMA, 1-2BTF och 1BLA). Den planerade utbyggnaden har baserats på samma princip.

Gällande förvarsdelen 2BMA innebär SKB:s förordade alternativ att förvaret uppförs som en bergsal med ett antal fristående kassuner av oarmerad betong. SKB redovisar även två alternativa utformningar. Det ena alternativet utgörs av en bergsal med en kombination av betong- och bentonitbarriärer. Det andra alternativet är en konstruktion av silo i betong med omgivande bentonitbarriär, liknande silokonstruktionen i dagens SFR.

Av de två alternativa utformningarna bedömer SSM att siloalternativet är det mest intressanta. Detta bygger på en redan uppförd konstruktion medan det andra alternativet innebär liknande frågeställningar som för SKB:s förordade utformning i kombination med att ytterligare osäkerheter tillkommer.

Även om den av SKB förordade utformningen av 2BMA har utvecklats och bedöms vara robust ur ett långsiktigt strålsäkerhetsperspektiv, står det enligt SSM:s bedömning klart att siloalternativet bör ha vissa strålsäkerhetsmässiga fördelar, inte minst genom den utökade skyddsförmåga som följer av en extra teknisk barriär och i synnerhet i ett mycket långt tidsperspektiv. Siloalternativet bedöms också i högre utsträckning vara baserat på beprövad teknik. Skillnaderna i de olika alternativens skyddsförmåga bedöms dock inte vara så påtagliga att de uppskattade kostnadsökningarna för uppförande av ett siloalternativ skulle vara motiverade för det avfall som kommer att deponeras i den utbyggda delen av förvaret. SSM bedömer därmed att den av SKB förordade utformningen kan godkännas, men att utnyttjandet av förvarets skyddsförmåga som helhet kan och ytterligare behöver optimeras genom att inventariet av långlivade radioaktiva ämnen i 2BMA begränsas så långt som det är rimligt och möjligt. SSM kan även konstatera att det återstår utvecklings- och demonstrationsarbete för att verifiera betongbarriärens funktion i samband med uppförande av förvaret.

För förvarsdelarna 2–5BLA gör SSM sammantaget bedömningen att de har en förbättrad skyddsförmåga jämfört med den befintliga förvarsdelen 1BLA, dels genom ett utökat förvarsdjup, vilket leder till ökat skydd mot oavsiktligt intrång, dels genom det lägre grundvattenflödet på valt förvarsdjup. Även om skyddsförmågan kan förbättras, anser SSM att de kostnader som detta för med sig inte står i proportion till avfallets relativt sett ringa aktivitetsinnehåll. SSM bedömer därför att den förordade utformningen av förvarsdelarna 2–5BLA kan anses optimerade från strålskyddssynpunkt och i enlighet med kraven på användande av bästa möjliga teknik.

För förvarsdelen för reaktortankar (BRT) har omfattande ändringar gjorts till följd av SKB:s (tillsammans med kärnkraftsbolagens) beslut att inte längre deponera dessa hela. SSM bedömer att beslutet i första hand innebär miljömässiga fördelar, men även har fördelar från strålsäkerhetssynpunkt, främst genom att segmenteringen av reaktortankarna och den vidare hanteringen baseras på beprövad teknik.

SSM bedömer sammanfattningsvis att SKB:s system av barriärer i den ansökta referensutformningen ger förutsättningar för att i tillräcklig utsträckning begränsa slutförvarets omgivningspåverkan. De tekniska barriärerna, kringgjutningen och i viss mån även avfallet och dess behållare bidrar dels till att skapa en kemisk miljö som bidrar till retardation av utsläpp av flertalet radioaktiva ämnen genom att minska dess rörlighet, dels till att upprätthålla ett lågt vattenflöde genom förvaret. En långsam uttransport möjliggör att en

betydande del av aktiviteten hinner klinga av innan spridning i biosfären börjar ske i någon betydande omfattning.

Det kommer dock att ske en viss spridning av främst långlivade radioaktiva ämnen under den tidsrymd under vilken förvarets utveckling beaktas. Spridningens storlek beror på avfallets övriga egenskaper, de tekniska barriärernas egenskaper och deras långsiktiga utveckling. De för strålsäkerheten viktigaste osäkerheterna som finns associerade med framför allt de tekniska barriärernas utveckling med tiden bedöms inrymmas i SKB:s analyser genom redovisningen av pessimistiska beräkningsfall.

Enligt SSM:s bedömning innefattar SKB:s säkerhetsanalysmetodik de nödvändiga momenten för genomförande och utvärdering av strålsäkerheten efter förslutning. En viktig del av SKB:s säkerhetsanalysmetodik innefattar beskrivning och hantering av osäkerheter. SSM bedömer att SKB:s redovisning av osäkerheter inklusive analys av osäkerheter med känslighetsanalyser är ändamålsenlig. SKB har beaktat osäkerheter i analysen, dels genom att representera osäkra parametrar med sannolikhetsfördelningar, dels genom att definiera och beakta mindre sannolika scenarier som vart och ett för sig ger upphov till högre omgivningskonsekvenser i jämförelse med huvudscenariot. Osäkerheter hanteras även genom i huvudsak konservativa modellantaganden och parameterval.

Dessa analyser möjliggör en värdering av effekter för förvarets långsiktiga utveckling som involverar spridning av radioaktiva ämnen även under pessimistiska förutsättningar.

Lokalisering

Enligt 2 kap. 6 § miljöbalken ska en plats väljas som är lämplig med hänsyn till att ändamålet ska kunna uppnås med minsta intrång och olägenhet för människors hälsa och miljön. Regeln är tillämplig även vid ändring av befintlig verksamhet så långt som det inte kan bedömas vara orimligt enligt 2 kap. 7 § miljöbalken.

För ett geologiskt slutförvar måste platsen ge förutsättningar för långsiktig strålsäkerhet utifrån den valda tekniska utformningen. Att SKB har visat att den sökta platsen är lämplig för sitt syfte blir på det sättet en del av bedömningen mot kravet på bästa möjliga teknik. I förlängningen handlar det om att minimera påverkan på omgivningen.

SSM:s föreskriftskrav innebär dels att förvaret på den avsedda platsen ska kunna visas uppfylla riskkriteriet, dels att sökanden i lokaliseringsarbetet ska ha tillvaratagit möjligheterna att så långt som det är möjligt och rimligt förbättra slutförvarets skyddsförmåga. Detta har varit vägledande för SSM även i bedömningen mot miljöbalkens bestämmelser.

Vad gäller den ansökta platsen för utbyggnaden så delar SSM SKB:s bedömning att den i sig är lämplig och att det finns uppenbara samordningsvinster med en samförläggning. En förläggning under havet ger också strålsäkerhetsmässiga fördelar, särskilt för den inledande tidsperioden när havet täcker förvaret. Havstäckningen leder dels till en låg hydraulisk gradient, och därmed till lågt grundvattenflöde i förvarets omgivning, dels till att risken för intrång kan bedömas vara mycket låg under denna inledande tusenårsperiod.

SSM bedömer att berget vid SFR har fördelaktiga egenskaper för att begränsa uttransport av radioaktiva ämnen. Detta avser främst bergets förhållandevis låga vattenflöde liksom de kemiskt reducerande förhållanden som förväntas dominera förvarsmiljön efter förslutning. Det låga flödet bidrar till att upprätthålla de tekniska barriärernas funktioner genom att begränsa degraderingshastigheten av framför allt betong. Kemiskt reducerande betingelser i grundvattnet i kombination med höga pH-värden begränsar korrosionshastigheten

för järn och stål samt bidrar till begränsad rörlighet för ett stort antal betydelsefulla radionuklider.

Även den sökta platsens försvarsdjup bedöms vara lämpligt valt med hänsyn till avfallens farlighet, hydrologiska förhållanden, uppskattningen av framtida permafrostdjup och framtida mänskliga aktiviteter.

SKB har analyserat alternativa lokaliseringar till den förordade platsen invid befintliga SFR, bland annat i Forsmarkslinsen i Östhammars kommun. Vid en jämförelse mellan den förordade platsen och en alternativ lokalisering i en berggrund med något lägre grundvattenflöde, representerat i SKB:s redovisning av en förläggning i den tektoniska linsen i Forsmarksområdet där slutförvaret för använt kärnbränsle planeras, bedömer SSM att den förordade lokaliseringen är lämpligare för försvarsdelarna BLA och BRT. För försvarsdelen 2BMA är utfallet inte lika entydigt, särskilt i ett mycket långt tidsperspektiv (i storleksordningen 10 000-tals år).

Frågan om anläggningens lokalisering innebär i stor utsträckning en avvägning av strålsäkerhetsmässiga fördelar under de inledande 1 000 åren i förhållande till strålsäkerhetsmässiga fördelar under den efterföljande tidsperioden. Eftersom stora delar av inventariet av radioaktiva ämnen sönderfaller under den viktiga första tusenårsperioden och att eventuella fördelar med en annan lokalisering är så pass begränsade, bedömer SSM att ytterligare åtgärder för att kunna lokalisera förvaret på en annan plats inte kan motiveras med hänsyn till ökade kostnader och andra olägenheter. SSM:s bedömning tar även hänsyn till möjligheten att begränsa försvarsdelen 2BMA:s innehåll av långlivade radioaktiva ämnen.

Myndigheten bedömer sammantaget att den förordade platsen i sig är lämplig för ett slutförvar för aktuellt avfall och att SKB har beaktat lokaliseringsprincipen på ett rimligt sätt.

Miljökonsekvensbeskrivning

SSM anser att SKB tillräckligt väl har utrett och beskrivit strålsäkerhetsfrågorna för att regeringen ska kunna godkänna miljökonsekvensbeskrivningen i prövningen enligt kärntekniklagen. SSM bedömer att det finns tillräckliga uppgifter i miljökonsekvensbeskrivningen med kompletteringar och andra delar av tillståndsansökan för att utifrån ett strålsäkerhetsperspektiv kunna påvisa och bedöma den huvudsakliga påverkan av verksamheten på människors hälsa och miljön. Se vidare del IV, kapitel 3.

3.4.4 Frågeställningar inför SKB:s kommande arbete

I det följande redovisas de tekniska frågor som SSM anser att SKB särskilt behöver beakta vid framtagandet av kommande säkerhetsredovisningar och i det fortsatta arbetet med den utökade anläggningens detaljkonstruktion.

- SSM konstaterar att det fortfarande finns vissa kvarstående frågeställningar kopplade till genomförbarheten i uppförandet av 2BMA. Dessa avser i första hand uppförandet av en sprickfri betong med de hydrauliska egenskaper som SKB ansätter för initialtillståndet. För att uppföra ett 2BMA i enlighet med SKB:s långsiktiga funktionskrav behövs ett fortsatt utvecklingsarbete med relevanta kontrollprogram och ett successivt uppförande av kassunerna med tillhörande verifierande analyser.
- Osäkerheter kopplade till förutsättningar att uppnå det i säkerhetsanalysen ansatta initialtillståndet för befintliga och tillkommande betongkonstruktioner behöver i



kommande säkerhetsredovisningar beaktas inom ramen för huvudscenariot. Osäkerheter associerat med betongkonstruktionernas initialtillstånd ingår nu implicit i SKB:s riskanalys i ett mindre sannolikt scenario. I detta arbete behöver egenskaper hos betongbarriärer i befintligt skick beaktas. I kommande säkerhetsredovisningar behöver SKB även tydligare belysa kopplingen mellan en tänkbar snabbare mekanisk degradering av betongen och utveckling och variationsbredd för kemiska förhållanden samt systemets kemiska barriärfunktion.

- SSM förväntar sig även att SKB under vidareutveckling och specifikation av produktionskraven för de tillkommande förvarsdelarna beaktar långsiktig strålsäkerhet och ytterligare optimering av skyddsförmågan. SKB behöver även sträva efter att tydligare definiera produktionskrav som dels är verifierbara i samband med uppförande, dels är tydligare förankrade i aktuell säkerhetsanalys.
- SKB behöver fortsatt arbeta med att optimera utnyttjandet av förvarets skyddsförmåga som helhet. Detta genom att så långt som rimligen är möjligt begränsa inventariet av långlivade radioaktiva ämnen i 2BMA genom att exempelvis styra avfall med innehåll av långlivade radionuklider, såsom t.ex. Ni-59, mot den befintliga förvarsdelen Silo.
- SSM förväntar sig att SKB i kommande säkerhetsanalyser utvecklar beskrivningen av utformningen i analysen så att denna, i synnerhet gällande 2BMA, tydligare beaktar fördelningen av avfallens begränsade cementinnehåll på ett mer realistiskt och transparent sätt i radionuklidtransportmodelleringen.
- SSM förväntar sig vidare att SKB framgent bedriver kompletterande experimentell verksamhet för att kvantifiera sorptionsprocesser för främst långlivade radionuklider för vilka frågeställningar kring deras retardationsmekanismer föreligger.
- Metodiken som används i säkerhetsanalyserna för driften av anläggningen behöver utvecklas för att fullt ut uppfylla kraven på systematisk inventering och urval av de händelser och förhållanden som kan leda till en radiologisk olycka och hur dessa utvärderas mot acceptanskriterier för radiologiska omgivningskonsekvenser.
- SKB har på en övergripande nivå redovisat principer för säkerhetsklassning som tar hänsyn till de krav som ställs på såväl driftsäkerhet och strålsäkerhet efter förslutning. Inför PSAR behöver detta förtydligas med avseende på relevanta konstruktionskrav för berg- och byggnadskonstruktioner respektive lyftdon. För mekaniska anordningar behöver SKB visa hur klassningssystem och krav på konstruktion, tillverkning, installation och kvalitetssäkringsåtgärder ska samordnas för befintligt SFR och den utbyggda anläggningen.

Del II Anläggningsutformning, drift mm.

1 Inledning

I denna del av rapporten redovisas granskningen av Bilaga F-PSAR SFR allmän del I, dvs. anläggningsutformning och drift av det utbyggda SFR. Därutöver ingår en granskning av bilagorna AV PSU, VOLS-Ansökan PSU och VOLS-Bygg PSU. Därmed beaktas aspekter av anläggningens uppförande, drift och avveckling. I denna inledning redovisas först den övergripande kravbilden vilket följs av en övergripande beskrivning av granskningens genomförande. I efterföljande kapitel redogörs för den övergripande bedömningen av F-PSAR allmän del I samt de detaljerade granskningarna av de relevanta ämnesområdena.

1.1 Övergripande beskrivning av kravbilden

Det ställs en lång rad författningskrav på ett slutförvar för kärnavfall. I denna del av rapporten behandlas de krav som relaterar till granskningen av ansökan med hänsyn till anläggningens uppförande, drift och avveckling. I del III i denna rapport berörs krav som relaterar till tiden efter förslutning och i del IV berörs krav som ställs i samband med en tillståndsprövning utifrån miljöbalkens tillämpliga krav.

De för anläggningens uppförande, konstruktion, drift och avveckling viktigaste kraven återfinns i de föreskrifter som listas nedan. Notera att listan avser de föreskrifter som var gällande vid tidpunkten för ansökans inlämnande. Det är kraven i dessa föreskrifter som ansökan prövas mot. I de fall förändringar eller uppdateringar av myndighetens föreskrifter har skett under den period som SSM har berett SKB:s ansökan inför myndighetens yttrande till regeringen beskrivs detta i fotnoter till berörda föreskrifter i listan nedan. Bedömningar av kravuppfyllelse eller förutsättningar för kravuppfyllelse avser således de krav som gällde vid tidpunkten för ansökans inlämnande. Hänvisningar till specifika föreskriftskrav i granskningsrapporten görs till då gällande krav.

- SSMFS 2008:1 Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter och allmänna råd om säkerhet i kärntekniska anläggningar
- SSMFS 2008:12 Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter och allmänna råd om fysiskt skydd av kärntekniska anläggningar
- SSMFS 2008:13 Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter om mekaniska anordningar i vissa kärntekniska anläggningar.
- SSMFS 2014:2 Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter om beredskap vid kärntekniska anläggningar⁴
- SSMFS 2008:23 Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter om skydd av människors hälsa och miljön vid utsläpp av radioaktiva ämnen från vissa kärntekniska anläggningar
- SSMFS 2008:24 Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter om strålskyddsföreståndare vid kärntekniska anläggningar

⁴ Föreskrifterna SSMFS 2014:2 trädde i kraft den 1 januari 2015, dvs. efter att SKB lämnat in ansökan, och ersatte föreskrifterna SSMFS 2008:15 om beredskap vid vissa kärntekniska anläggningar upphörde att gälla. Övergripande krav rörande bl.a. beredskapskategori har flyttats till SSMFS 2018:01.

- SSMFS 2008:26 Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter om personstrålskydd i verksamhet med joniserande strålning vid kärntekniska anläggningar
- SSMFS 2008:38 Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter om arkivering vid kärntekniska anläggningar
- SSMFS 2008:51 Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter om grundläggande bestämmelser för skydd av arbetstagare och allmänhet vid verksamhet med joniserande strålning⁵

Därutöver är bestämmelser ur kärntekniklagen och strålskyddslagen att beakta i granskningen. Det kan dock noteras att SSM:s föreskrifter i allmänhet är betydligt mer detaljerade än lagarna som till stora delar är av mer övergripande karaktär.

1.2 Struktur Del II av granskningsrapporten

Med utgångspunkt i de krav som gäller kärntekniska anläggningar ovan ska följande förhållanden och aspekter ingå i tillämplig omfattning (SSM STYR2011-131):

- Redogörelser för den planerade anläggningens lokalisering, konstruktion och utförande med dess barriärer och funktioner av olika slag.
- Analyser av anläggningens barriärer och funktioners förmåga att dels förebygga olyckor som kan leda till skadlig verkan av strålning (radiologisk nödsituation) och lindra konsekvenser om olyckor ändå sker, dels förhindra obehörigt intrång och sabotage.
- Den planerade verksamhetens utsläpp och strålningspåverkan från utsläpp i omgivningen under normala och störda driftförhållanden samt vid antagna olycksförlopp.
- Utformningen av den planerade verksamhetens personalstrålskydd.
- Planerat omhändertagande av kärnavfall och annat radioaktivt avfall som uppkommer i verksamheten samt planer för framtida avveckling av anläggningen.
- Den sökandes tillämpning av allmänna hänsynsregler.
- Utformningen av den planerade verksamhetens fysiska skydd mot obehörigt intrång och sabotage samt mot obehörig befattning med kärnämne och kärnavfall.
- Utformningen av den planerade verksamhetens beredskap att vidta skyddsåtgärder inom anläggningen i händelse av störningar och haverier, eller hot om sådana samt åtgärder för att återföra anläggningen till säkert och stabilt läge.
- Den sökandes organisation, ekonomiska och personella resurser samt kompetens för att upprätthålla säkerheten, strålskyddet och det fysiska skyddet så länge skyldigheterna enligt kärntekniklagen kommer att kvarstå.
- Den sökandes planerade ledning och styrning av uppförande, drift och fysiskt skydd av anläggningen samt av kärnämneskontrollen.
- Den sökandes ansvarsförsäkring eller annan ekonomisk säkerhet för ersättning vid radiologiska olyckor.

⁵ SSMFS 2008:51 upphörde att gälla 1 juni 2018 och ersattes av föreskrifter som ingår i SSMFS 2018:1 om grundläggande bestämmelser för tillståndspliktig verksamhet med joniserande strålning.

SSM:s utredare har granskat dessa områden utifrån tillämpliga författningskrav. En utgångspunkt har därvid varit kraven på innehållet i en säkerhetsredovisning som återges i bilaga 2 i SSMFS 2008:1.

Dispositionen i denna del av rapporten följer i stort sett de punkter som är listade ovan som granskningen behöver omfatta.

2 Sammanvägd bedömning för Del II

Syftet med SSM:s granskning och beredning av ansökan om tillstånd är att bedöma om verksamheten kan förväntas bli lokaliserad, utformad och bedriven på ett sådant sätt att kraven på säkerhet, strålskydd, fysiskt skydd och nukleär icke spridning uppfylls. Del II av rapporten omfattar bedömning av om kraven på säkerhet och strålskydd enligt kärntekniklagen (1984:3) och strålskyddslagen (1988:220) kan förväntas bli uppfyllda under uppförande och drift av den utbyggda slutförvarsanläggningen för låg- och medelaktivt avfall (SFR). Denna del av SSM:s granskningsrapport som avser uppförande och drift av SFR ger även underlag om de allmänna hänsynsreglerna enligt miljöbalken följs, vilket SSM redovisar i del IV.

I Del II, kapitel 3-12 med underliggande avsnitt dokumenterar SSM:s granskning av sakområden. I detta avsnitt redogör SSM för sammanvägda bedömningar där viktiga aspekter och slutsatser från olika sakområden vägs samman. SSM uttalar sig i de sammanvägda bedömningarna kring anläggningens och verksamhetens förutsättningar att uppfylla de grundläggande säkerhetsbestämmelserna i SSM:s föreskrifter. SSM väger i detta, förutom viktiga aspekter och slutsatser från granskningen av sakfrågor, även in faktorer som hur ansökansunderlaget i dess helhet svarar mot kraven i föreliggande skede av den stegvisa tillståndsprövningen.

2.1 Krav

I andra kapitlet SSMFS 2008:1 specificeras de grundläggande säkerhetsbestämmelser som en kärnteknisk anläggning ska uppfylla. De mer detaljerade kraven i efterföljande kapitel av föreskriften, samt underliggande föreskrifter, kan i tillämplig omfattning användas för att påvisa att de grundläggande bestämmelserna är uppfyllda. De i sammanhanget mest centrala föreskrifterna redovisas nedan.

2 kap. 1 § SSMFS 2008:1 om barriärer och djupförsvär

Radiologiska olyckor ska förebyggas genom en för varje anläggning anpassad grundkonstruktion i vilken ska ingå flera barriärer, och ett för varje anläggning anpassat djupförsvär. Djupförsväret ska uppnås genom att

- konstruktionen, uppförandet, driften, övervakningen och underhållet av anläggningen är sådana att driftstörningar och haverier förebyggs,
- det finns flerfaldiga anordningar och förberedda åtgärder som ska skydda barriärerna mot genombrott, och om ett sådant genombrott skulle ske, begränsa konsekvenserna därav,
- utsläpp till omgivningen av radioaktiva ämnen, som ändå kan ske till följd av driftstörningar och haverier, förhindras eller, om detta inte är möjligt, kontrolleras och begränsas genom anordningar och förberedda åtgärder.

Djupförsväret ska också omfatta åtgärder för att förhindra oavsiktlig kriticitet vid hantering, bearbetning och lagring av kärnämne vid anläggningen.

4 kap. 2 § SSMFS 2008:1 om säkerhetsredovisning

Av bestämmelserna framgår bl.a. att en säkerhetsredovisning sammantaget ska visa hur anläggningens säkerhet är anordnad för att skydda människors hälsa och miljön mot radiologiska olyckor. Vidare framgår att redovisningen ska spegla anläggningen som den är byggd, analyserad och verifierad samt visa hur gällande krav på dess konstruktion, funktion, organisation och verksamhet är uppfyllda. Innan en anläggning får uppföras och innan större ändringar av en befintlig anläggning genomförs ska en preliminär säkerhetsredovisning sammanställas. Innan provdrift av anläggningen får påbörjas ska säkerhetsredovisningen förnyas så att den avspeglar anläggningen som den är byggd. Innan anläggningen därefter får tas i rutinemässig drift ska säkerhetsredovisningen kompletteras med beaktande av erfarenheter från provdriften.

2 kap. 7-9 §§ SSMFS 2008:1 om organisation, ledning och styrning

Av 2 kap. 8-9 §§ SSMFS 2008:1 om organisation, ledning och styrning framgår bl.a. krav hur den kärntekniska verksamheten ska ledas, styras, utvärderas och utvecklas med stöd av ett enhetligt ledningssystem. Dessutom framgår krav på upphandling av produkter och tjänster, samt krav på ansvar och befogenheter.

2 kap. 8 och 11 §§ SSMFS 2008:1 om fysiskt skydd

Av 2 kap. 8 § SSMFS 2008:1 framgår bl.a. att den kärntekniska verksamheten ska ledas, styras, utvärderas och utvecklas med stöd av ett enhetligt ledningssystem som är så utformat att kraven på säkerhet, strålskydd och fysiskt skydd tillgodoses. Av 2 kap. 11 § SSMFS 2008:1 framgår att en anläggning ska ha ett fysiskt skydd. Utformningen av skyddet ska vara grundat på analyser som utgår från nationell dimensionerande hotbeskrivning och vara dokumenterat i en plan av vilken ska framgå skyddets utformning, organisation, ledning och bemanning.

SSM:s föreskrifter om beredskap vid kärntekniska anläggningar (SSMFS 2014:2)

Föreskrifterna ställer krav på bland annat planering av beredskapen, beredskapsorganisation, kriterier för larm, kompetens, utbildning och övning. Kraven är anpassade till anläggningens beredskapskategori vilken bestäms av SSM.

2.2 SSM:s bedömningar av SKB:s förutsättningar att uppfylla grundläggande säkerhetsbestämmelser

Om barriärer och djupförsvär

SSM redovisar i kapitel tre granskningen av den utbyggda anläggningens förläggningsplats, konstruktion, utformning, uppförande, drift, planer för underhåll mm. I kapitel fyra redovisas granskningen mot kraven på säkerhetsanalys av anläggningens barriärer och funktioners förmåga att förebygga olyckor.

SFR är en anläggning som tar emot låg- och medelaktivt avfall för deponering i förvarsdelar som efter förslutning ska utgöra ett passivt slutförvar som kan lämnas utan att ytterligare åtgärder behöver vidtas för att upprätthålla förvarets funktion. Anläggningen är uppdelad i ett antal förvarsdelar som är utformade med hänsyn till de krav som föreligger för olika typer av avfall beroende på dess aktivitetsinnehåll och förpackningstyper. SKB redovisar för varje förvarsdel de barriärer som är av betydelse för förvarets långsiktiga strålsäkerhet, vilket granskas i Del III i denna rapport. För strålsäkerhet fram till förslutning, i det följande benämnt som driftsäkerhet, så finns det för varje förvarsdel definierat en eller flera barriärer under driftskedet. För anläggningsdelarna 1-5BLA samt 1BRT har SKB framfört argument om att det är låga aktivitetskoncentrationer (källtermer)

och mindre drivande krafter för spridning av aktivitet jämfört med kärnkraftreaktorer, varför det är tillräckligt med en barriär under driftskedet.

SKB har beskrivit hur principerna om djupförsvar tillämpas på anläggningen SFR. I djupförsvarsnivå 1 ska driftstörningar och fel förebyggas genom att endast typgodkänt avfall får föras ner i förvaret och att den hanteringsutrustning som används vid deponering uppfyller höga kvalitetskrav. I djupförsvarsnivå 2 ska driftstörningar och fel detekteras för att vid missöden motverka spridning av radioaktiva ämnen till omgivningen och inom förvaret. I detta ingår drift- och störningsinstruktioner för kontroll av berggrum, byggnader i berggrum, stora lyftanordningar och andra system med väsentlig betydelse för djupförsvaret. I djupförsvarsnivå 3 förhållande som kan uppkomma vid konstruktionsstyrande haverier kontrolleras med drift- och störningsinstruktioner som bland annat reglerar brandskyddssystem, utrymningslarm och möjligheter att isolera förvarsdelar. Vad gäller djupförsvarsnivå 4 om att ta kontroll över och begränsa förhållanden som kan uppstå vid svåra haverier så redovisar SKB att detta inte anses vara tillämpligt för SFR.

SKB har infört begreppet *funktioner med betydelser för anläggningens djupförsvar och strålskydd* i syfte att tydliggöra vilka tekniska system och funktioner som kan förebygga att händelser identifierade i säkerhetsanalysen ska inträffa och/eller konsekvenser ifall de skulle inträffa.

SSM kan av denna granskning konstatera att SKB har utvecklat ett säkerhetsklassnings-system i syfte att vara anpassat för SFR och den verksamhet som bedrivs vid anläggningen:

- Säkerhetsklass A1 relaterar till barriärfunktionen för anläggningens långsiktiga säkerhet (enligt SSMFS 2008:21).
- Säkerhetsklass A2 tilldelas strukturer, system och komponenter som har barriärfunktion under anläggningens driftskede.
- Säkerhetsklass B2 tilldelas de strukturer, system och komponenter som har funktioner som är av väsentlig betydelse för anläggningens djupförsvar och andra funktioner för att skydda personer i anläggningen mot radioaktiva ämnen och stråldoser. Dessa funktioner omfattar brandskydd, säker hantering och lagring av avfall, utrymning, fysiskt skydd och strålskärning.

Systemet för säkerhetsklassning av den utbyggda anläggningen tar således hänsyn till att vissa system, strukturer och komponenter har en större betydelse för anläggningens djupförsvar och tydliggör detta genom införandet av en särskild säkerhetsklass. SSM bedömer att SKB på en övergripande nivå har redovisat principerna för ett system för säkerhetsklassning som tar hänsyn till de krav som ställs på såväl driftsäkerhet och säkerhet efter förslutning. Inför ansökan om uppförande av anläggningen behöver dock SKB:

- Redogöra för hur bolaget för mekaniska anordningar avser samordna klassnings-system och krav på konstruktion, tillverkning, installation och kvalitetssäkrings-åtgärder mellan befintligt SFR och den utbyggda anläggningen.
- För berg- och byggnadskonstruktionerna ha kopplat samman säkerhetsklasserna med relevanta konstruktionskrav, krav på tillverkning, byggnation och kontroll.
- Redogöra för klassningen hos alla relevanta lyftdon samt hur de underliggande lyftdonklasserna styrs utifrån säkerhetsklassningen.

Med anledning av att SKB valt att frångå det klassningssystem och de klassningsprinciper som har tillämpats vid befintlig anläggning så behöver SKB, inför en ansökan om uppförande av nya anläggningsdelar, utreda kravbilden för befintliga konstruktioner för att uppfylla de nya krav som ställs på konstruktion, tillverkning, installation och kvalitets-säkringsåtgärder och hur eventuella gap hanteras.

Sammantaget bedömer SSM att den uppsättning konstruktionsregler som SKB har redovisat är funktionell för att, med en anpassad grundkonstruktion med flera barriärer och ett för anläggningen anpassat djupförsvar, förhindra radiologiska olyckor i enlighet med kraven i 2 kap. 1 § SSMFS 2008:1.

Kapaciteten hos anläggningens barriärer och djupförsvar att förebygga radiologiska olyckor och lindra konsekvenserna om olyckor ändå sker ska, enligt kraven i 4 kap. 1 § i SSMFS 2008:1, analyseras så att det i säkerhetsanalyser kan visas att de radiologiska omgivningskonsekvenserna är acceptabla i förhållande till värden som anges med stöd av strålskyddslagen. SKB har för ett urval av händelser (paraplyfall) redovisat dos till mest belastad individ i kritisk grupp och visat att doser i dessa fall ligger väl under acceptanskriterierna. SSM har dock i granskning av den metodik som används i säkerhetsanalyserna bedömt att SKB inför en ansökan om att få uppföra den utbyggda anläggningen behöver utveckla och tydligare redogöra för principerna och tillvägagångssätt för att uppfylla krav på systematisk inventering och urval av de händelser, händelseförlopp och förhållanden som kan leda till en radiologisk olycka; indelning i händelseklasser samt identifiering av de paraplyfall som utvärderas mot acceptanskriterier.

SKB har tagit fram en plan för hur bolaget inför kommande steg i prövningen ska ta fram och arbeta efter en ny metodik för genomförande av säkerhetsanalyser. Under 2019 implementerar SKB också en organisationsförändring där en av enheterna kommer att ha ett utpekat ansvar för att ta fram och tillhandahålla metodik för säkerhetsredovisningar. Analyserna i F-PSAR för den framtida, integrerade anläggningen kommer att förnyas och kompletteras inför utbyggnadsarbetena samt inför provdrift och rutinmässig drift i enlighet med bestämmelserna i 4 kap. 2 § SSMFS 2008:1. Detta sammantaget torde ge förutsättningar för SKB att i ett kommande steg i prövningen uppfylla kraven på en säkerhetsanalys som på ett allsidigt och systematiskt sätt visar att anläggningens konstruktion, med dess barriärer och djupförsvar, har en förmåga att förebygga radiologiska olyckor i enlighet med de grundläggande bestämmelserna i 2 kap. 1 § SSMFS 2008:1.

Mot bakgrund av att SSM i samband med den förnyade värderingen av behovet av beredskapsåtgärder i samband med införandet av utökade krav avseende beredskap vid kärntekniska anläggningar (SSMFS 2014:2) har SSM bedömt att den befintliga anläggningen inte är en sådan kärnteknisk anläggning där det kan inträffa en händelse inne på anläggningen som motiverar att brådsakande åtgärder vidtas för skydda allmänheten utanför anläggningsområdet. Den sökta verksamheten för utbyggt SFR är av liknande karaktär som den befintliga anläggningen varför inga nya typer av händelser och förhållanden förväntas kunna inträffa som kan ge doser till omgivningen som överskrider acceptanskriterierna. De osäkerheter kring resultaten i säkerhetsanalyserna som har observerats bör sättas i perspektiv till att även om det skulle finnas andra händelser och förhållanden (som inte har identifierats och analyserats) så bör inte konsekvenserna av dessa skilja sig väsentligt i storlek jämfört med för befintlig anläggning.

Organisation, ledning och styrning

SSM har granskat SKB:s organisation, ledning och styrning samt kompetens och personella resurser (kapitel 10 i denna del av rapporten) dels med avseende på uppförandeskedet dels med avseende den framtida driften av den uppförda anläggningen.

SSM kan av denna granskning konstatera att SKB visar på en grundläggande förståelse för de krav som gäller ledning och styrning av verksamheten. SKB har ett ledningssystem som styr verksamheten vid den redan tillståndsgivna kärntekniska verksamheten som är uppbyggt enligt principerna för kvalitets- och miljöledning och projektet är föremål för interna revisioner. Det finns arbetssätt för kvalitetssäkring i samband med upphandling av produkter och tjänster och projektet etablerar ett arbetssätt för systematiskt kravhantering för den planerade anläggningen. SKB arbetar med att utvärdera och utveckla organisationen så att det ska finnas förutsättningar för att organisationen kommer att vara utformad och bemannad så att den stödjer strålsäkerheten såväl under projekteringen av den utbyggda anläggningen som vid driften av en framtida utbyggd anläggning. Inför en ansökan om uppförande av anläggningen behöver dock vissa aspekter förtydligas avseende roller och ansvarsförhållanden mellan projekt och linje under projekteringskedet, strategi för att säkerställa kompetens för att beställa, leda och värdera resultatet av arbete som utförs av inhyrd personal, avvägning mellan egen och inhyrd personal, resurs-säkring av funktioner av SKB:s organisation som ligger utanför projektet och arbetssätt för erfarenhetsåterföring under kommande projekteringskedet.

SSM bedömer sammantaget att SKB har förutsättningar att uppfylla grundläggande säkerhetsbestämmelser enligt 2 kap. 7, 8, 8a och 9 §§ SSMFS 2008:1 om organisation, styrning, ledning och kompetenssäkring. I den fortsatta prövningen för utbyggnaden av SFR ser SSM att det är av särskild vikt att SKB kan visa att erfarenheter från driften av befintlig anläggning tillvaratas så att bolaget kan fungera som en lärande organisation.

Fysisk skydd

SSM har (i kapitel 8 i denna del av rapporten) granskat SKB:s ansökan om uppförande och drift av utbyggt SFR utifrån aspekter kopplade till fysiskt skydd och bedömt att det i framtiden finns förutsättningar för SKB att uppfylla kraven i 2 kap. 11 § SSMFS 2008:1 för det färdigutbyggda SFR. SSM:s bedömning baseras på att SKB redovisat en preliminär plan för fysiskt skydd för utbyggt SFR (SKB dokID 1398066) och att denna på övergripande nivå beskriver organisation, ledning, bemanning och utformningen av områdes-skyddet och skalskyddet. Inför ansökan om uppförande av anläggningen behöver dock SKB redovisa en plan för det fysiska skyddet för byggskedet. SSM bedömer även att SKB inför nästa steg i processen att bygga ut anläggningen behöver ta fram en mer utvecklad redovisning avseende informations-säkerhet.

Beredskap

SSM har tidigare beslutat att inte klassificera den befintliga anläggningen i någon beredskapskategori (tidigare benämnt hotkategori) enligt SSMFS 2014:2 (SSM2014-643-8). SSM har inom ramen för granskningen (Del II, kapitel 9) av F-PSAR bedömt att utbyggnaden är av sådan karaktär att det i detta skede av tillståndsprövningen inte föreligger något behov av att ändra tidigare ställningstagande. SSM kommer att göra en förnyad prövning av klassificeringen av SFR i beredskapskategori vid lämplig tidpunkt.

Bedömning av ansökansunderlaget i dess helhet inklusive SKB:s egenkontroll
SSM konstaterar att SKB:s redovisning speglar den utbyggda anläggningen så som bolaget planerar att denna ska vara utformad då verksamheten tas i drift.

Analyserna i F-PSAR för den framtida, integrerade anläggningen kommer att förnyas och kompletteras inför utbyggnadsarbetena samt inför provdrift och rutinmässig drift i enlighet med bestämmelserna i 4 kap. 2 § SSMFS 2008:1. Med beaktande av detta, och utifrån en sammanvägd bedömning av ansökan som helhet, bedömer SSM att SKB har förutsättningar att uppfylla kraven enligt 4 kap 2 § SSMFS 2008:1 på säkerhetsredovisning.



SKB behöver dock inför ansökan om uppförande av tillkommande anläggningsdelar utveckla underlaget i linje med av SSM framförda synpunkter.

Inför en kommande ansökan om godkännande av PSAR i den stegvisa prövningen bedömer SSM att underlaget behöver kompletteras med säkerhetsgranskning enligt 4 kap. 3 § SSMFS 2008:1 för att uppfylla kraven om värdering och redovisning av anläggningens säkerhet.

3 Lokalisering, konstruktion och utförande samt drift

3.1 Förläggningsplats

Krav

Av Bilaga 2 SSMFS 2008:1 framgår att säkerhetsredovisningen enligt 4 kap. 2 § ska innehålla information om förläggningsplatsen. De uppgifter som förväntas är en redovisning av hur förläggningsplatsen och dess omgivning från säkerhetssynpunkt kan påverka anläggningen, exempelvis med avseende på hydrologiska förhållanden, geologi och seismik samt i omgivningen pågående verksamheter. Tillhörande allmänna råd anger att redovisningen av de yttre faktorer och förhållanden som kan påverka en kärnteknisk anläggning bör omfatta både platsen där anläggningen uppförts och omgivande områden där aktiviteter förekommer som i något avseende kan påverka säkerheten. En systematisk inventering av alla de yttre faktorer och förhållanden som kan påverka säkerheten vid den kärntekniska anläggningen bör ingå i redovisningen tillsammans med sammanfattningar av och referenser till bakomliggande utredningar och analyser som visar hur säkerheten kan påverkas och hur detta har beaktas i konstruktionen, utförandet eller på annat sätt.

Det finns ytterligare krav på redovisningen av förläggningsplatsen utifrån långsiktig strålsäkerhet (SSMFS 2008:21 och 2008:37) och miljöbalken. Dessa krav behandlas i del III och del IV av denna rapport.

Beskrivning av SKB:s redovisning

Redovisningen av förläggningsplatsen finns i F-PSAR Allmän del 1, kap 2 (SKB dokID 1221857). Redovisningen är underlag till analysen och utvärderingen av anläggningens säkerhet vid yttre påverkan och för dimensionering av beredskapsåtgärder vid potentiella icke-nukleära händelser (FPSAR allmän del 1, avsnitt 2.1). SKB redogör för anläggningar på platsen, befolkningsfördelning, näringsliv, kommunikationer, meteorologi, hydrologi, geologi och seismologi. Förhållanden som är av betydelse för den långsiktiga strålsäkerheten ingår i andra delar av redovisningen (SKB, 2015, kapitel 6).

I samband med hydrologin redovisas variabiliteten i vattenståndsnivåer i Östersjön med fokus på högvattenstånd fram till år 2100. SKB redovisar även inläckaget av grundvatten till tunnelsystemet och dess kemiska sammansättning.

I avsnitt 2.5 redovisar SKB för geologin vid den valda platsen. Området där utbyggnaden av SFR är planerad att etableras ligger i en berggrund av pegmatitisk granit och metagranodiorit. Lodräta och flacka sprickor förekommer på plats där de förstnämnda har större vattengenomsläpplighet. Två större deformationszoner (Singözonen, ZFMWNW0001) och (Zon 8, ZFMNW0805) avgränsar bergvolymen till sydväst och nordost. Andra mindre deformationszoner i parallella med Singözonen samt nordostliga zoner förekommer i bergvolymen för där utbyggnaden av SFR kommer att ligga.

Baserat på rapporten SKB R-06-67, om seismicitet i Forsmark och Oskarshamn, och Slunga (1976) om jordskalvorsakade markskakningar i Forsmark konkluderar SKB att minst ett jordskalv med magnitud 5 kan förväntas förekomma inom de kommande 100 åren och ett med magnitud 6 inom de kommande 1000 åren inom en radie på 650 km från Forsmark. Markaccelerationer på 0,13 g förväntas ha en sannolikhet på 10^{-5} vid Forsmark, vilka huvudsakligen orsakas av skalv som har magnitud större än 6 (SKB dokID 1370971).

Remissinstansers synpunkter

Kungliga vetenskapsakademien

Remissinstansen anför (SSM2015-1640-29) att placeringsdjupet för SFR och den föreslagna utbyggnaden klart bör anges. I dess yttrande skrivs att ”I 3.1 anges ”60 m under havets botten”, i 4.3 anges ”120 m under havsytan”. Havsyntans höjd över botten kommer inte vara den samma i framtiden. Djupet under havsbotten bör klart anges, ej djupet under havsytan.”

SSM:s beaktande av remissynpunkten

SSM noterar att SKB har använt olika referensnivåer för att beskriva anläggningens lokalisering i berget, men givet att SKB har angett referensnivåerna anser SSM att detta inte bör leda till några missförstånd.

SSM:s bedömning

SSM bedömer att SKB:s redogörelse för anläggningar på platsen, befolkningsfördelning, näringsliv, kommunikationer, meteorologi och grundvattenkemi är godtagbar. De av SKB redovisade siffrorna för högvattenstånd och inflöden till det utbyggda förvaret bedömer SSM vara rimliga bästa uppskattningar.

SSM bedömer att SKB:s redovisning av geologin för bergvolymen för den utbyggda SFR är ändamålsenlig för detta steg i programmet för etableringen av SFR3. Bergarterna samt sprickligheten tillåter genomförande av stora stabila bergrum i likhet med den befintliga anläggningen SFR1. Viss osäkerhet rör placeringen av eventuella horisontella deformationszoner som den under förvardsdelen SFR1 som kan innebära ytterligare platsanpassning av den utbyggda delen SFR3. Erfarenheter av tunneldrivning genom Singözonen finns från utförandet av kylvattentunneln för block 1 och 2, för block 3 samt från drift- och byggtunneln för SFR1 (t.ex. SKB R-07-06).

SSM konstaterar att SKB:s redovisning av seismologin är den samma som inlämnades i ansökan för att uppföra ett kärnbränsleförvar i Forsmark. SSM bedömer som för kärnbränsleförvaret att informationen om seismologin vid förläggningsplatsen är tydlig. Emellertid konstaterar SSM att SKB inte har kommenterat att förvaringsområdet för den utbyggda delen av SFR kommer att ligga endast ca 230 m från den regionala förkastningen Singölinjen (ZFMWNW0001). Dessutom korsar Singölinjen tillfartstunneln till förvardsdelarna för SFR 1 och 3. SSM anser att SKB i framtida redovisningar i den stegvisa prövningsprocessen uttryckligen bör beakta Singölinjen vid värdering av seismisk påverkan på säkerheten innan förslutningen av SFR.

3.2 Konstruktionsregler

System, strukturer och komponenter ska vara konstruerade, tillverkade, monterade, kontrollerade och provade enligt krav som är anpassade till deras funktion och betydelse för anläggningens säkerhet. För att möjliggöra detta ska ett system för kvalitetsklassning

tillämpas för styrning av konstruktionskrav och kvalitetsåtgärder. Inom områdena lyftanordningar och hanteringssystem samt byggnadskonstruktioner saknas detaljerade föreskrifter för kärntekniska anläggningar⁶. Däremot är vissa delar av gällande föreskrifter tillämpliga för dessa områden, dessa delar listas nedan.

Krav

4 kap. 2 § SSMFS 2008:1

Av Bilaga 2 till 4 kap. 2 § SSMFS 2008:1 framgår att säkerhetsredovisningen enligt 4 kap. 2 § ska innehålla en redovisning av de krav med konstruktionsprinciper samt konstruktionsförutsättningar och konstruktionsregler som har styrt anläggningens konstruktion och utförande. Det ska redovisas hur anläggningen uppfyller de nämnda reglerna och förutsättningarna samt av hur byggnadsdelar, system, komponenter och anordningar i anläggningen har indelats i klasser, vilka anger deras säkerhetsbetydelse.

2 kap. 1 § SSMFS 2008:1

Av 2 kap. 1 § SSMFS 2008:1 framgår att radiologiska olyckor ska förebyggas och utsläpp förhindras genom en för varje anläggning anpassad grundkonstruktion med flera barriärer och för anläggningen anpassat djupförsvar.

2 kap. 10 § SSMFS 2008:1

Av 2 kap. 10 § SSMFS 2008:1 framgår att en anläggning efter att den tagits i drift fortlöpande ska analyseras och säkerheten bedömas på ett systematiskt sätt. Denna analys och bedömning ska också omfatta tillämpliga regler för konstruktion, utförande och drift samt konstruktionsförutsättningar vilket har tillkommit efter drifttagningen av anläggningen.

3 kap. 1 § SSMFS 2008:1

Av 3 kap. 1 § SSMFS 2008:1 framgår att en kärnteknisk anläggning ska vara konstruerad så att den har tålighet mot sådana händelser eller förhållande som kan påverka anläggningens barriärer eller säkerhetsfunktioner. Vidare framgår att anläggningen ska vara konstruerad på ett sådant sätt att de system, strukturer och komponenter som behövs med hänsyn till säkerheten är möjliga att underhålla, kontrollera och prova.

3 kap. 2 § SSMFS 2008:1

Konstruktionsprinciper och konstruktionslösningar ska vara beprövade under förhållanden som motsvarar dem som kan förekomma i anläggningen. Om detta inte är möjligt eller rimligt ska konstruktionsprinciperna och konstruktionslösningarna vara utprovade eller utvärderade på ett sätt som visar att de har den tålighet, tillförlitlighet och driftstabilitet som behövs med hänsyn till deras funktion och betydelse för anläggningens säkerhet.

3 kap. 4 § SSMFS 2008:1

Av 3 kap. 4 § SSMFS 2008:1 framgår att system, strukturer och komponenter ska vara konstruerade enligt krav som är anpassade till deras funktion och betydelse för anläggningens säkerhet. Ett klassningssystem ska tillämpas för styrning av kraven på konstruktion, tillverkning, installation och kvalitetssäkringsåtgärder.

⁶ Sådana detaljerade föreskrifter är under framtagande, men hade inte trätt i kraft vid tidpunkten för granskningens genomförande.

Beskrivning av SKB:s redovisning

Av F-PSAR Allmän del 1 avsnitt 3.4 beskrivs de säkerhetsprinciper, barriärer och tekniska system, säkerhetsfunktioner och funktioner med betydelse för anläggningens djupförsvär och strålskydd som har varit styrande för den planerade anläggningens konstruktion med beaktande av kraven i SSMFS 2008:1 och i SSM:s föreskrifter och allmänna råd om säkerhet vid förslutning av kärnämne och kärnavfall (SSMFS 2008:21). Anläggningens konstruktion och utformning beskrivs i F-PSAR Allmän del 1 kapitel 5 (SKB dokID 1245480).

I F-PSAR Allmän del 1 avsnitt 3.4 redovisar SKB tillämpningen av kravet på djupförsvär för anläggningen SFR. I djupförsvärnivå 1 ska driftstörningar och fel förebyggas genom att endast tygodkänt avfall får föras ner i förvaret och att detta sker med hanteringsutrustning som är robusta vilket ställer höga krav på kvalitet. I djupförsvärnivå 2 ska driftstörningar och fel detekteras för att vid missöden motverka spridning av radioaktiva ämnen till omgivningen och inom förvaret. I detta ingår drift- och störningsinstruktioner för kontroll av bergrum, byggnader i bergrum, stora lyftanordningar och andra system med väsentlig betydelse för djupförsväret. I djupförsvärnivå 3 ska förhållanden som kan uppkomma vid konstruktionsstyrande haverier kontrolleras med drift- och störningsinstruktioner som bland annat reglerar brandskyddssystem, utrymningslarm och möjligheter att isolera förvarsdelar. Vad gäller djupförsvärnivå 4 om att ta kontroll över och begränsa förhållanden som kan uppstå vid svåra haverier så redovisar SKB att detta inte anses vara tillämpligt för SFR. Successiva driftsförslutningsåtgärder gör att endast ett begränsat antal avfallskollin innefattas av en eventuell inre händelse. Därmed bedömer SKB att svåra haverier ej kan uppkomma varför djupförsvärnivå 4 om att ta kontroll över och begränsa förhållanden som kan uppstå inte är tillämpligt för SFR.

I F-PSAR allmän del 1 avsnitt 3.4.1 redovisar SKB barriärer för driftskedet av SFR för respektive förvarsdel. För Silo, 1-2 BMA, 1-2BTF och 1BRT tillämpas tre barriärer; avfallsmatrix, avfallsbehållare och avfallstransportbehållare (under transport), medan förvarsdelarna 1-5 BLA konstrueras med en barriär för driftskedet; avfallsbehållare. SKB motiverar detta med att SFR har en enkel konstruktion, få system innehåller låga aktivitetskoncentrationer (källtermer) och mindre drivande krafter för spridning av aktivitet jämfört med kärnkraftreaktorer. Vidare redogörs även för tillämpliga barriärer för förvarets långsiktiga säkerhet för respektive förvarsdel, vilket ingår i granskningen av säkerhet efter förslutning i del III i denna granskningsrapport.

I F-PSAR allmän del 1 avsnitt 3.4.2 och 3.4.3 redovisas att SKB gör en distinktion mellan begreppen *säkerhetsfunktion* och *funktioner med betydelse för anläggningens djupförsvär och strålskydd* för att tydliggöra att upprätthållandet av barriärernas integritet samt innehållandet av acceptanskriterier vid missöde inte direkt är beroende av någon säkerhetsfunktion i anläggningen. Begreppet säkerhetsfunktion tillämpas inte för någon del av anläggningen under driftskedet. Däremot används begreppet *funktioner med betydelse för anläggningens djupförsvär och strålskydd* i syfte att minimera frekvenser för händelser identifierade i säkerhetsanalysen och/eller konsekvenser ifall de skulle inträffa. Dessa funktioner omfattar brandskydd, säker hantering och lagring av avfall, utrymning, fysisk skydd och strålskärning.

I F-PSAR Allmän del 1 avsnitt 3.5.1 beskrivs SKB:s valda system för indelning av byggnader, system och komponenter i säkerhetsklassning inom SFR. Ett slutförsvärsfunktion är att förhindra eller fördröja utsläpp av radioaktivitet till omgivningen efter det att anläggningen förslutits och att under anläggningens driftskede minimera de radiologiska konsekvenserna vid normaldrift, driftstörningar och missöden. Med beaktande av detta har SKB valt att ta fram ett klassningssystem som är anpassat till att

SFR är en slutförvarsanläggning för låg- och medelaktivt avfall (SKB dokID 1405182 v. 2.0). Det innebär att SKB i F-PSAR för utbyggt SFR har valt att införa nya principer för säkerhetsklassning jämfört med det system för säkerhetsklassning som redovisas i säkerhetsredovisningen för befintlig anläggning (SKB dokID 1071943, version 5.0). SKB tillämpar i det valda klassningssystemet fem säkerhetsklasser, A1, A2, B1, B2 och C:

- *Säkerhetsklass A1* tilldelas system, strukturer och komponenter som har barriärfunktion för anläggningens långsiktiga säkerhet (enligt SSMFS 2008:21).⁷
- *Säkerhetsklass A2* tilldelas system, strukturer och komponenter som har barriärfunktion under anläggningens driftskede (enligt SSMFS 2008:1)⁸.
- *Säkerhetsklass B1* tilldelas system, strukturer och komponenter som har säkerhetsfunktion (enligt SSMFS 2008:1) och därmed behöver krediteras i säkerhetsanalysen för anläggningens driftskede för att acceptanskriterierna ej ska överstigas vid händelse som ger radiologisk konsekvens.⁹
- *Säkerhetsklass B2* tilldelas system, strukturer och komponenter som har funktion av väsentlig betydelse för anläggningens djupförsvär, samt andra funktioner avsedda att skydda personer i anläggningen mot radioaktiva ämnen och stråldoser, vilka inte är säkerhetsfunktioner (B1).
- *Säkerhetsklass C* tilldelas övriga system, strukturer och komponenter.

SKB anger i avsnitt 3.5.3 att konstruktionen av anläggningen grundas på allmänna säkerhetsprinciper som tillämpas vid konstruktionen av de svenska kärnkraftverken samt nu gällande normer för byggnadskonstruktion. I F-PSAR Allmän del 1 avsnitt 3.7 redovisar SKB de krav och konstruktionsprinciper som tillämpas för byggnader, system och komponenter med säkerhetsklass A1-B2 med avseende på konstruktion, tillverkning, installation och kvalitetssäkringsåtgärder:

Säkerhetsklass A1: Krav på barriärer efter förslutning relateras till bergrumsutformning och till statiska byggnadskonstruktioner. Kvaliteten hos utförandet av anläggningen kan ha direkt påverkan på förvarets långsiktiga funktion. Speciella kvalitetskrav med tillhörande kontroll tillämpas på bergarbeten och på betongkonstruktioner avsedda att ingå som en funktionsdel i förvarets barriärsystem med krav på goda långtidsegenskaper.

Säkerhetsklass A2: Krav på barriärer under drifttiden relateras till att konstruktionen av barriärerna, samt tillverkning, installation och kvalitetssäkringsåtgärder ska säkerställa att barriärfunktionen kan upprätthållas under hela driftskedet. Med anledning av att

⁷ Enligt F-PSAR Allmän del 1 kapitel 3 (Säkerhetsklassning för Projekt SFR-Utbyggnad, SKB dokID 1411639 kapitel 6) finns följande barriärfunktioner för anläggningens långsiktiga säkerhet: avfallsmatrisen, betongtankar och betongkokiller, betongkonstruktioner, bentonit, återfyllning, drift- och slutförslutningar beroende på slutförvardsdelen, samt pluggar och geosfären för alla slutförvarsdelar.

⁸ Enligt F-PSAR Allmän del 1 kapitel 3 tilldelas avfallsmatris, avfallsbehållare och avfallstransportbehållaren säkerhetsklass A2. Enligt säkerhetsredovisningen för befintlig anläggning (*SFR 1 SAR – kapitel 3 – Krav och konstruktionsföreskrifter, SKB dokID 1071943, v 5.0, 2016-11-25*) så definieras barriärerna för Silo och 1BMA under driftskedet, utöver avfallsmatris och avfallsbehållare, även betongkonstruktionen och förvarsutrymmet.

⁹ Enligt F-PSAR Allmän del 1 kapitel 3 (SKB dokID 1411639 kapitel 6) tilldelas inga system, strukturer och komponenter säkerhetsklass B1.



barriärerna under driftskedet utgörs av avfallsbehållare, avfallsmatris och avfalls-transportbehållare så hänvisar SKB vidare till kravdokumenten (SKB dokID 1368638) och (IAEA, 2009).

Säkerhetsklass B1: SFR har inga system vars funktion specifikt syftar till att skydda barriärerna. Det finns därför inga säkerhetsfunktioner för driftskedet eller krav på dessa för SFR.

Säkerhetsklass B2: För de byggnader, system och komponenter som är av betydelse för anläggningens djupförsvär eller strålskydd (säkerhetsklass B2) ställs teknikområdes-specifika krav med koppling till aktuella branschstandarder (se avsnitt nedan).

Säkerhetsklass C: I referensrapporten (SKB dokID 1405182) förtydligar SKB att SFR är både en kärnteknisk anläggning och en konventionell industrianläggning. Detta innebär att de krav som ställs på konstruktioner i den oklassade kategorin C inte nödvändigtvis kommer att vara lägre än för klass A1-B2, framförallt inte ifall det rör allmän personsäkerhet.

De krav som ställs på anläggningens barriärer, till följd av säkerhetsklassningen, ska fokusera på barriärernas åldrande under driftskedet, initialtillståndet, samt beständighet efter förslutningen.

I referensrapporten (SKB dokID 1405182 v. 2.0) beskriver SKB metodik för säkerhetsklassning och tillämpningen av underliggande klassning för olika teknikområdena för anläggningen SFR. Rapporten omfattar dock inte kravbilderna för säkerhetsklassning av byggnader, system och komponenter i befintligt SFR. I rapporten finns även en klassningslista. Av avsnitt 4.2 framgår att SKB avser använda följande teknikområdesvisa krav:

Mekanisk kvalitetsklass

SKB har inte för avsikt att tillämpa mekanisk kvalitetsklassning för utrustning i anläggningen. SKB:s motiv till detta är att inga trycksatta anordningar finns vid SFR och att den mekaniska kvalitetsklassningen är starkt kopplad till den säkerhetsklassning som används på kärnkraftverken (ANSI/ANS 51.1/52.1) där en angiven säkerhetsklass direkt tilldelas motsvarande mekanisk kvalitetsklass.

Byggnadsklassning

SKB anger att de ej avser använda "Handbok för Nukleära Byggnadskonstruktioner (HNB)" utan vid dimensionering av byggnader istället direkt tillämpa Eurokoder. Som skäl till detta anger de att HNB är avsedd för betongkonstruktioner vid svenska kärnkraftverk.

Seismisk klass

SKB har inte identifierat ett behov av en seismisk klass då anläggningen saknar utrustning vars aktiva eller passiva funktion är absolut nödvändig under eller efter en jordbävning. En jordbävning skulle visserligen kunna innebära att utrustning eller bergutfall leder till att avfallskollin skadas så att kollinas integritet bryts, men eftersom aktiviteten är bunden till avfallsmaterialet så finns det ingen drivmekanism för att detta ska nå omgivningen. SKB har bedömt att det inte varit relevant att definiera och applicera en specifik seismisk klassning på utrustningen i anläggningen.

Lyftdonsklassning

SKB avser att tillämpa en lyftdonsklassning enligt den tekniska specifikationen för *Krananvändare i kärnteknisk anläggning* (KIKA TS). KIKA TS omfattar tekniska krav på bärande konstruktion, maskiner och elektrisk utrustning för nya lyftanordningar för kärnteknisk verksamhet. KIKA TS tillämpar för kärnteknisk verksamhet tre klassade och en oklassad nivå.

Täthetsklass

För mekanisk utrustning anges för kärnkraftsreaktorer täthetsklass P, S eller K, vilket relateras till utrustningens innehåll av radioaktiva ämnen. SKB anger att det vid SFR inte finns några system som hanterar fri aktivitet varför täthetsklassning inte tillämpas vid konstruktion av anläggningen.

I referensrapporten (SKB dokID 1405182 v. 2.0) redogör SKB för de teknikområdes-specifika krav som ställs på konstruktion, tillverkning, installation och kvalitetssäkrings-åtgärder och som följer av säkerhetsklassningen. Vidare beskriver SKB att system, strukturer och komponenter som tilldelas säkerhetsklass B2 ska ingå i säkerhetstekniska driftförutsättningar (STF) med krav på driftklarhet, provning och inspektion samt i anläggningens program för underhåll och åldershantering. System, strukturer och komponenter som tilldelas säkerhetsklass C ska konstrueras så att de inte kan förhindra eller vedervåga någon funktion för system, strukturer och komponenter i de övriga säkerhetsklasserna.

SKB anger i F-PSAR Allmän del 1 avsnitt 3.5.2 (SKB dokID 1405182) att konstruktionsstyrande händelser består av de inre händelserna brand, komponentfel, operatörfel och bortfall av kraftmatning. De yttre händelser som ska beaktas för SFR är vind- och snölast, temperaturer (gäller enbart markanläggningar, dvs. inte bergum), havsvattennivå och nederbörd. Det framgår även att SFR inte är dimensionerad för jordbävning då jordbävning enligt F-PSAR Allmän del 1 kapitel 8 (SKB dokID 1261979) är att betrakta som restrisk.

Av F-PSAR Allmän del 1 avsnitt 3.5.2 framgår att för indelning av händelser i händelseklasser så tillämpar SKB samma principer som används vid kärnkraftverken och som anges i SSMFS 2008:17, SSM:s föreskrifter om konstruktion och utförande av kärnkraftsreaktorer. SFR ska för de olika händelserna uppfylla acceptanskriterier i form av tillåten effektiv dos i mSv. Acceptanskriterierna är grundade på SSM:s inriktningsdokument för nya kärntekniska anläggningar (Referens: SSM2013-5169-4, Inriktning avseende referensvärden för nya kärntekniska anläggningar och ESS).

Avseende miljötålighetskrav för komponenter framgår i F-PSAR Allmän del 1 kapitel 3 (SKB dokID 1220377, kapitel 3.5.7) att komponenter generellt ska uppfylla de krav på temperatur, fukt, tryck, strålning med mera som deras omgivande miljö kan ge upphov till. För tillämpning av krav avseende miljötålighet hänvisar SKB till systembeskrivningar som kommer att tas fram och redovisas i PSAR.

I de följande avsnitten framgår en beskrivning av de krav på konstruktionen som SKB avser att använda inom respektive teknikområde:

Berg- och byggnadskonstruktioner

Av referensrapporten (SKB dokID 1405182 v. 2.0, avsnitt 4.2) framgår geologiska barriärer ingående i säkerhetsklass A1 ska konstrueras enligt följande krav:



- Layout av bergutrymmen ska anpassas till förvarsberget så att gynnsamma hydrogeologiska- och transportförhållanden uppnås och att inneslutning, förhindrande och fördröjande av spridning av radioaktiva ämnen upprätthålls i långtidsförloppet.
- Layouten av bergutrymmen ska anpassas till förvarsberget så att mekaniskt stabila förhållanden uppnås och inneslutningen av radioaktiva ämnen kan upprätthållas i långtidsförloppet.
- Underjordsanläggningen ska konstrueras så att den inte påtagligt försämrar slutförvarets barriärfunktioner.
- Bergets bärande huvudsystem ska utföras med Säkerhetsklass 3 enligt *Eurokod 7* (2005). Valet av geoteknisk kategori ska följa IEG 5:2010.

Utförandet av bergkonstruktionerna i den utbyggda anläggningen kommer att ske med mestadels konventionella metoder för bergbrytning, bergförstärkningar, berginjekteringar samt dräner.

Vad gäller händelsen jordbävning, som definierats som restrisk, så anger SKB att markaccelerationer på upp till 0,13 g kan förekomma under anläggningens driftskede (SKB dokID 1370971).

Vidare ställs krav på att tekniska barriärer ingående i säkerhetsklass A1 ska konstrueras enligt följande krav (SKB dokID 1411639, avsnitt 6.1):

- Konstruktionen av tekniska barriärer ska upprätthålla barriärfunktionen i enlighet med säkerhetsanalysen i allmän del 2.
- Betongbarriären i 2BMA ska utföras i säkerhetsklass 3 enligt EKS 9 (2013). Partialkoefficient $\gamma_d=1,0$.
- Betongbarriären i 2BMA ska utföras i exponeringsklass XS enligt SS-EN 206:2013 (2013), då miljön i förvaret anses motsvara marin miljö.

Av SKB (SKB dokID 1411639) ställs även krav på att samtliga förvarssalar ska konstrueras med fullgod strålskärning. Betongkassunerna i 2BMA ska ha tillräcklig tjocklek för att kunna utgöra fullgod strålskärning under hela slutförvarsanläggningens driftskede.

Enligt (SKB dokID 1411639, avsnitt 6.4.3) ska förvarssalarna konstrueras för att minimera mängden inläckande vatten som kan komma i kontakt med avfallet och därmed försämrade barriärernas prestanda. Följande betongkonstruktioner ska konstrueras i exponeringsklass XS enligt SS-EN 206:2013 med vattentäta gjutfogar och rörelsefogar, då miljön i förvaret anses motsvara marin miljö:

- Bottenplattan i 2-5BLA
- Bottenplattan i 1BRT
- Bottenplattan i inlastningszonen i 2BMA
- Betongkonstruktioner i 2BMA för förvaring av avfall

Av F-PSAR Allmän del 1 kapitel 5 Anläggnings- och funktionsbeskrivning framgår att SKB planera att konstruera förvarsdelarna 2-5BMA, 2-5 BLA så att takdropp på avfallet kan minimeras. Av ett kompletterande dokument (SKB dokID 1580501) avseende utformningen av förvar för BWR reaktortankar, 1BRT, framgår att taket i förvarsdelen ska förses med tunnelduk för att skydda betongkonstruktion, avfallsbehållare och tekniska installationer från takdropp och även bidra till bättre inomhusmiljö under drifttiden. SKB



har även i (MKB, Utbyggnad och fortsatt drift av SFR, avsnitt 7.5 Modernisering och teknikutveckling) adresserat behovet av åtgärder för att förbättra klimatet i anläggningen, inte bara omhändertagande av inläckande grundvatten utan även vad gäller tekniska åtgärder för att upprätthålla rätt luftfuktighet.

Lyftdon

SKB redogör i (SKB dokID 1411639, bilaga 1) för klassning av lyftanordningar.

Lyftanordningen och dess system delas in i två funktionsgrupper och samtliga tilldelas säkerhetsklass B2.

Funktionsgrupp - Säker lagring och hantering av avfall

211 – Karusellkran i silo

214 – Lyftdon i silo

221 – Traverskran i BMA

224 – Lyftdon i BMA

Funktionsgrupp - Fjärrstyrd hantering av avfall med travers

211 – Karusellkran i silo

212 – Traverskran för ATB-lock i inlastningsbyggnaden

221 – Traverskran i BMA

222 – Traverskran i BMA för ATB-lock

SKB anger i (SKB dokID 1411639, avsnitt 6.4.1) att travers i 2BMA med tillhörande lyftdon ska konstrueras och genomgå tillverkningskontroll enligt KIKA TS lyftdonsklass 3 (2012). Konstruktionskrav för övriga lyftdon i anläggningen specificeras inte i SKB:s redovisning.

Elektrisk utrustning

I (SKB dokID 1405182 v 2.0) motiverar SKB att elektrisk funktionsklassning inte behöver tillämpas på SFR med att det vid den planerade anläggningen inte finns någon elektrisk utrustning som bidrar till den kärntekniska säkerheten. För en anläggning som SFR den kravnivå som ställs på motsvarande undermarksanläggningar och svensk industristandard tillräcklig.

Av (SKB dokID 1405182 v. 2.0, avsnitt 4.2) framgår att ingen utrustning tillhör säkerhetsklass B1 och det finns heller inga krav kopplade till säkerhetsklass B1. Dock tillhör viss elektrisk utrustning säkerhetsklass B2 och i avsnitt 6.3–6.4 framgår att de funktioner som klassas B2 samt kräver elkraftmatning för att uppfylla sin funktion ska ha tillgång till avbrottfri kraft.

Säkerhetsprogram

Av F-PSAR Allmän del 1 kapitel 4 avsnitt 4.6.1 framgår att för att fortlöpande upprätthålla eller höja säkerheten vid anläggningen finns ett säkerhetsprogram upprättat som ska utvärderas och uppdateras årligen.

Underhållsmässighet

SKB:s redovisning i F-PSAR innehåller ingen information om hur SKB i konstruktionen av anläggningen har kommit att säkerställa att de system, komponenter och anordningar som behövs med hänsyn till säkerheten är möjliga att underhålla, kontrollera och prova. Av avsnitt 3.5.3 *Konstruktionsprinciper* framgår det inte explicit att SKB kommer att beakta underhållsmässighet vid konstruktionen av den nya anläggningen.

Till följd av att SKB väljer att redovisa ett nytt klassningssystem för den utbyggda och integrerade anläggningen, som skiljer sig från det klassningssystem som tidigare tillämpats vid befintlig anläggning (SFR1) så resonerar SKB i (SKB dokID 1411639) kring behovet att utreda kravbilderna för befintliga konstruktioner för att uppfylla de nya krav som ställs på konstruktion, tillverkning, installation och kvalitetssäkringsåtgärder. En del av utrustningen i befintlig anläggning kommer byggas ut innan förvarets byggs ut, och i dessa fall kan nya krav appliceras. I de fall befintlig utrustning får vara kvar behöver det klargöras ifall det är möjligt och rimligt att ställa nya krav enligt nya normer och standarder.

SSM:s bedömning

SSM anser att SKB har en beaktansvärd ansats i utformningen av ett system för säkerhetsklassning där indelningen i de överliggande klasserna möjliggör en åtskillnad mellan de strukturer, system eller komponenter som har barriärfunktion för slutförvarets långsiktiga strålsäkerhet respektive de som har barriärsfunktion under driftskedet. Dessutom adresseras de funktioner som har väsentlig betydelse för anläggningens djupförvar med en egen klass.

Berg- och byggnadskonstruktioner

SSM bedömer att det finns förutsättningar att konstruktionsprinciper avseende berg kommer att vara beprövade under förhållanden som motsvarar dem som kan förekomma i anläggningen genom att SKB avser att använda sig av beprövade konstruktionslösningar för brytningsmetod, bergförstärkningar, berginjektering samt dräner.

I det klassningssystem som SKB har tagit fram för SFR så har bergkonstruktioner tilldelats säkerhetsklass A1. SSM bedömer att redovisningen i referensrapporter till F-PSAR allmän del 1 kapitel 3 som beskriver grundläggande principer för genomförandet av bergkonstruktioner är rimlig i detta skede. SKB:s redovisning av utbyggnaden av SFR i nästa steg behöver dock tydliggöra kopplingen mellan säkerhetsklasserna och krav på konstruktion, tillverkning, byggnation och kontroll.

SKB har i anläggnings- och funktionsbeskrivningen i F-PSAR Allmän del kapitel 5 visat att SKB har dragit erfarenheter från driften av befintliga anläggningen avseende problematik med inläckande vatten som degraderar avfallskollin och beslutat att i konstruktionen av de nya anläggningsdelarna 2 BMA, 2-5 BLA och 1BRT vidta droppförhindrande åtgärder för att minimera takdropp. SSM bedömer att SKB har beaktat detta i de redovisade konstruktionsförutsättningarna för nya förvarsdelar och nya betongkonstruktioner i och med att det i säkerhetsklass B2, har specificerats konstruktionsförutsättningar för att minimera inläckande vatten samt krav på betongkonstruktionernas tålighet i en miljö som motsvarar marin miljö.

SSM bedömer att Eurokoderna och Boverkets föreskrifter (BFS/EKS) är välbeprövade och vedertagna dimensioneringsmetoder men att det inte enbart räcker att dimensionera kärntekniska anläggningar med de regelverken. Inför kommande steg i ansökan bör SKB för byggnadskonstruktionerna ha kopplat samman säkerhetsklasserna med relevanta

konstruktionskrav, krav på tillverkning, byggnation och kontroll för byggnads-konstruktionerna. SSM noterar att SKB hänvisar till DNB¹⁰ och att den endast är avsedd för betongkonstruktioner vid svenska kärnkraftverk. Den är avsedd att tillämpas vid såväl dimensionering av nya byggnadskonstruktioner som vid verifiering av befintliga byggnadskonstruktioner vid kärntekniska anläggningar. SSM noterar vidare att det ej framgår mot vilka regelverk SKB dimensionerar betongkonstruktioner avseende strålskärning.

SSM bedömer att SKB, inför kommande PSAR, bör:

- Koppla samman händelseklasserna med de aktuella belastningarna för byggnadsdelarna.
- Motivera sitt ställningstagande att jordbävning är att betrakta som en restrisk.
- Motivera sin bedömning gällande konsekvenser av en jordbävning.
- Ta fram konstruktionsförutsättningar för byggnader där det bland annat framgår hur de olika byggnadsdelarnas laster ska kombineras samt byggnadsdelarnas acceptanskriterium.
- Redogöra för hur byggnadskonstruktioner som behövs med hänsyn till säkerheten ska underhållas, kontrolleras och provas.
- Redogöra för miljökvalificering av byggnadskonstruktioner i övriga delar av anläggningen motsvarande vad som redovisats för 2BMA, alternativt motivera varför miljökvalificering inte bedöms behövas för dessa byggnadskonstruktioner.

Mekaniska anordningar

SSM bedömer att SKB har förutsättningar att uppfylla miljökvalificering av komponenter då de ska uppfylla de krav på temperatur, fukt, tryck, strålning med mera som deras omgivande miljö kan ge upphov till.

SSM noterar att SKB inte har för avsikt att tillämpa en kvalitetsklassning för mekaniska anordningar. SSM bedömer att detta är acceptabelt förutsatt att det saknas mekaniska anordningar i anläggningen vilka är i behov av en kvalitetsklassning för styrning av krav på konstruktion, tillverkning, installation och kvalitetssäkringsåtgärder.

SSM bedömer att SKB, inför kommande PSAR, bör redogöra för hur bolaget för mekaniska anordningar avser samordna klassningssystem och krav på konstruktion, tillverkning, installation och kvalitetssäkringsåtgärder mellan befintligt SFR (som har ett system för kvalitetsklassning av mekaniska anordningar) och SFR-utbyggnad.

SSM noterar att SKB inte har för avsikt att tillämpa en klassning avseende seismik. SSM bedömer att detta är acceptabelt förutsatt att det saknas utrustning vars aktiva eller passiva funktion är nödvändig för att innehålla acceptanskriterierna under och efter en jordbävning.

Lyftdon

SSM bedömer att KIKA TS är en bra utgångspunkt för att uppfylla kraven i såväl nuvarande föreskrifter som i SSM:s kommande föreskrifter om lyftdon och lyftverksamhet i kärntekniska anläggningar. SSM noterar dock att KIKA TS inte innehåller krav på återkommande kontroll. SSM förutsätter att SKB kommer att följa kraven på återkommande

¹⁰ Dimensionering av nukleära byggnadskonstruktioner (DNB) (gavs tidigare ut under namnet HNB) och det är en rapport utgiven av SSM i samarbete med de svenska tillståndshavarna för kärntekniska anläggningar.

kontroll i nuvarande föreskrifter och senare i SSM:s kommande föreskrifter om lyftdon och lyftverksamhet i kärntekniska anläggningar. Det gäller även kraven på tillståndshavaren att anlita ackrediterade laboratorier och ackrediterade kontrollorgan i samband med kontrollerna.

SSM noterar att SKB endast har redogjort för lyftdonsklassning av travers i 2BMA. SSM bedömer att SKB, till kommande steg i ansökan, behöver redogöra för samtliga lyftdons säkerhetsklassning och hur de underliggande lyftdonsklasserna styrs utifrån denna.

SSM noterar att det finns senare utgåvor av KIKA TS än den SKB hänvisar till i redovisningen.

Elektrisk utrustning

SSM bedömer att redovisade klassningssystem som tillämpad för styrning av kraven på konstruktion, tillverkning, installation samt kvalitetsäkringsåtgärder tyder på att SKB har förutsättningar att uppfylla krav enligt 3 kap. 4 § SSMFS 2008:1 avseende elektrisk utrustning eftersom SSM bedömer att tillämpning av nukleär standard inte är nödvändigt ur kvalitetssynpunkt för elektrisk utrustning ingående i funktioner i säkerhetsklass B2 samt att kravet på avbrottsfri kraftmatning för funktioner i säkerhetsklass B2 är ändamålsenligt.

I föreliggande granskning gör SSM bedömningen att det är tillräcklig för SKB att ange att industristandard kommer att tillämpas eftersom SKB, i kommande steg av tillståndsprovningen, förväntas komplettera redovisningen med de specifika standarder som SKB avser att tillämpa.

Säkerhetsklass B1 avser funktioner som tillgodoräknas i säkerhetsanalysen i kapitel 8. SKB anger i F-PSAR kapitel 3, avsnitt 3.4.2 att inga sådana funktioner tillgodoräknas i säkerhetsanalysen och SFR saknar därmed funktioner i säkerhetsklass B1, vilket också framgår i tabell 6-1 i avsnitt 6 i (SKB dokID 1411639). SKB har heller inte definierat någon kravbild kopplad till säkerhetsklass B1 i avsnitt 6 – Steg 4 – Applicering av krav. Mot bakgrund av att SFR saknar funktioner i säkerhetsklass B1 och att säkerhetsklass B1 saknar en kravbild har SSM inte gjort några bedömningar avseende kravbilderna för elektrisk utrustning avseende säkerhetsklass B1.

Djupförsvaret

SKB har beskrivit hur djupförsvarsprinciperna tillämpas på anläggningen SFR och hur ett antal tekniska system, operationella åtgärder och administrativa rutiner tillämpas för att skydda barriärerna. Systemet för säkerhetsklassning av den utbyggda anläggningen kopplar till principerna för djupförsvaret genom att säkerhetsklass B2 tilldelas de system, strukturer och komponenter som har funktioner som är av väsentlig betydelse för anläggningens djupförsvaret och andra funktioner för att skydda personer i anläggningen mot radioaktiva ämnen och stråldoser. Dessa funktioner omfattar brandskydd, säker hantering och lagring av avfall, utrymning, fysiskt skydd och strålskärning.

Konstruktionen av anläggningen är grundad på att det för varje förvarsdel definieras en uppsättning barriärer för förvarets långsiktiga strålsäkerhet samt barriärer under driftskedet. För de enklare konstruktionslösningarna i anläggningsdelarna 1-5BLA samt 1BRT har SKB framfört argument för att det är tillräckligt med en barriär under driftskedet. SSM konstaterar att SKB år 2016 i säkerhetsredovisningen för befintlig anläggning (SKB dokID 1071943, v 5.0, kap. 3) har infört ytterligare barriärer under driftskedet. För Silo och 1BMA utgörs barriärerna under driftskedet, utöver avfallsmatris och avfallsbehållare, även av betongkonstruktionen och förvarsutrymmet. I F-PSAR för utbyggt SFR är det inte

tydligt hur berget och förvarsutrymmet relaterar till barriärsbegreppet. SKB har dock i avsnittet om seismisk klassning framfört ett resonemang om att bergutfall visserligen kan leda till att avfallskollin skadas så att kollinas integritet bryts, men eftersom aktiviteten är bunden till avfallsmaterialet så finns det ingen drivmekanism för att detta ska nå omgivningen. SSM bedömer att det i nuvarande steg i prövningen är tillräckligt att i F-PSAR om konstruktionsregler på en övergripande nivå beskriva hur acceptanskriterier för avfall i SFR tas fram, med en vidare hänvisning till det kravställande dokument som SKB tagit fram för den utbyggda anläggningen (SKB dokID 1368638). Med anledning av att avfallsmatrisen och avfallsbehållare utgör barriärer bör SKB i utvecklingen av säkerhetsredovisningen inför en ansökan om uppförande av anläggningen överväga att i redovisningen av konstruktionsregler för anläggningens drift tydliggöra vilka krav och acceptanskriterier som ställs på dessa barriärer ur ett driftssäkerhetsperspektiv.

Mot bakgrund av ovanstående så bedömer SSM att den uppsättning konstruktionsregler som SKB har redovisat är funktionell för att, med en anpassad grundkonstruktion med flera barriärer och ett för anläggningen anpassat djupförsvar, förhindra radiologiska olyckor i enlighet med kraven i 2 kap. 1 § SSMFS 2008:1. SKB behöver dock inför en ansökan om uppförande av anläggningen förtydliga tillämpningen av begreppet barriär då det skiljer sig åt i F-PSAR för utbyggt SFR och den säkerhetsredovisning som gällde för befintlig anläggning under hösten 2016.

I del III i denna granskningsrapport gör SSM bedömningar av konstruktionens barriärer med avseende på strålsäkerhet efter förslutning i enlighet med kraven i SSMFS 2008:21.

Sammanfattande bedömning konstruktionsprinciper

SSM bedömer att SKB har förutsättningar att uppfylla kraven enligt 3 kap. 1 § i detta skede av den stegvisa tillståndsprövningen genom att de för bergkonstruktioner och byggnader identifierat de övergripande inre och yttre händelser som anläggningen kan utsättas för och acceptanskriterier i form av effektiv dos. SSM bedömer samtidigt att SKB inför ansökan om uppförande av anläggningen behöver:

- Förtydliga hur anläggningen ska konstrueras så att de system, komponenter och anordningar som behövs med hänsyn till anläggningens säkerhet ska vara möjliga att underhålla, kontrollera och prova.
- Motivera och underbygga sitt ställningstagande att jordbävning är att betrakta som en restrisk.
- Tydliggöra sin bedömning gällande konsekvenser av en jordbävning.
- Ta fram konstruktionsförutsättningar för byggnadskonstruktioner (KFB).

SSM bedömer att SKB har förutsättningar att uppfylla kraven enligt 3 kap. 2 § i detta skede av den stegvisa tillståndsprövningen genom att de anger att komponenter och lyftdon ska uppfylla de krav på temperatur, fukt, tryck, strålning med mera som deras omgivande miljö kan ge upphov till. Inför uppförande av anläggningen bör SKB även redogöra för hur byggnadsstrukturer kommer att miljöqualificeras för den tänkta miljön. För det som gäller bergkonstruktioner anser SKB använda sig av beprövade konstruktionslösningar för brytningsmetod, bergförstärkningar, berginjektering samt dräner, vilket innebär att det finns förutsättningar för kravuppfyllelse enligt 3 kap. 2 §.

SSM bedömer att SKB har förutsättningar att uppfylla kraven enligt 3 kap. 4 § i detta skede av den stegvisa tillståndsprövningen genom att de har redovisat principerna för ett klassningssystem som tar hänsyn till de krav som ställs på såväl driftsäkerhet och säkerhet efter förslutning. Inför ansökan om uppförande av anläggningen bör SKB:

- Redogöra för hur bolaget för mekaniska anordningar avser samordna klassningssystem och krav på konstruktion, tillverkning, installation och kvalitetssäkringsåtgärder mellan befintligt SFR och den utbyggnad anläggningen.
- För berg- och byggnadskonstruktionerna ha kopplat samman säkerhetsklasserna med relevanta konstruktionskrav, krav på tillverkning, byggnation och kontroll.
- Redogöra för klassningen hos alla relevanta lyftdon samt hur de underliggande lyftdonsklasserna styrs utifrån säkerhetsklassningen.

SSM bedömer att SKB har förutsättningar att uppfylla kraven på säkerhetsprogram enligt 2 kap. 10 § i detta skede av den succesiva tillståndsprovningen genom att ett säkerhetsprogram ska finnas för SFR och uppdateras varje år. SSM bedömer därmed att förutsättningar finns för att anläggningen fortlöpande kommer att analyseras. Analysen bör innefatta även tillämpliga regler för konstruktion, utförande och drift samt konstruktionsförutsättningar som kan ha tillkommit efter idrifttagningen av anläggningen. Inför kommande PSAR bör SKB verifiera befintlig SFR gentemot nu gällande föreskrifter och normer.

Med anledning av att SKB valt att frångå det klassningssystem och de klassningsprinciper som har tillämpats vid befintlig anläggning anser SSM, i linje med det SKB har framfört, att bolaget inför en ansökan om uppförande av nya anläggningsdelar behöver utreda kravbilderna för befintliga konstruktioner för att uppfylla de nya krav som ställs på konstruktion, tillverkning, installation och kvalitetssäkringsåtgärder. I de fall utrustning i befintlig anläggning kommer att bytas ut inför eller under utbyggnaden av de nya anläggningsdelarna så kan nya krav appliceras, i de fall befintlig utrustning kommer att vara kvar behöver SKB redovisa hur nya krav enligt nya normer och standarder kommer att tillämpas och eventuella gap hanteras.

3.3 Anläggnings- och funktionsbeskrivning samt uppförande av den utbyggda anläggningen

Krav

4 kap. 2 § SSMFS 2008:1

Av Bilaga 2 till 4 kap. 2 § SSMFS 2008:1 framgår att säkerhetsredovisningen ska innehålla beskrivningar av anläggningens uppbyggnad och dess system, funktion och prestanda vid normaldrift, inklusive lagring och annan hantering av kärnämne och kärnavfall. Säkerhetsredovisningen ska också innehålla detaljerade beskrivningar av anläggningens barriärer och säkerhetsfunktioner med ingående säkerhetssystem samt beskrivningar av de system och den utrustning som utöver säkerhetssystemen har visat sig vara av väsentlig betydelse för djupförsvaret.

Av 4 kap. 2 § SSMFS 2008:1 framgår att innan en anläggning får uppföras och innan en större ombyggnad, eller vid större ändringar, av en befintlig anläggning genomförs, ska en preliminär säkerhetsredovisning sammanställas. En säkerhetsredovisning ska sammantaget visa hur anläggningens säkerhet är anordnad för att skydda människors hälsa och miljö mot radiologiska olyckor. Såväl den preliminära säkerhetsredovisningen som den förnyade och den kompletterade säkerhetsredovisningen ska i varje skede vara säkerhetsgranskad samt prövad och godkänd av SSM. Säkerhetsredovisningen ska därefter hållas aktuell. I detta skede av provningen (F-PSAR) bör SKB ha gjort det troligt att de allmänna råden till 4 kap. 2 § andra stycket kan komma att uppfyllas i kommande steg i provningen. Enligt de allmänna råden bör en preliminär säkerhetsredovisning för en större ombyggnad anläggning bygga på anläggningens befintliga säkerhetsredovisning och förses med:



- uppgifter om hur anläggningen kommer att var utformad efter ombyggnaden,
- uppgifter om planerad drift,
- beskrivning av de säkerhetsanalyser eller andra verifierande analyser som gjorts av nya, planerade eller förändrade delar eller funktioner av anläggningen samt av sådana delar av anläggningen som inte har ändrats men som påverkas av förändringarna,
- referenser till säkerhetsanalyser och andra verifierande analyser.

4 kap. 5 § SSMFS 2008:1

Av 4 kap. 5 § SSMFS 2008:1 framgår att tekniska och organisatoriska ändringar i en anläggning påverkar de förhållanden som har angivits i säkerhetsredovisningen för den tillståndsgivna verksamheten ska, innan de får tillämpas, vara säkerhetsgranskade enligt 3 § samt anmälda till SSM. Av allmänna råd framgår att alla konsekvenser av en ändring bör analyseras, så att förbättrad säkerhet i ett avseende inte leder till försämrad säkerhet i ett annat avseende på ett sådant sätt att säkerheten som helhet försämras. Detta innebär att anläggningsändringar som berör befintlig anläggning till följd av utbyggt SFR behöver beredas, säkerhetsvärderas och säkerhetsgranskas utifrån ett helhetsperspektiv.

5 kap. 3 § SSMFS 2008:1

Av 5 kap. 3 § SSMFS 2008:1 framgår att byggnadsdelar, system, komponenter och anordningar av betydelse för säkerheten vid en anläggning fortlöpande ska kontrolleras och underhållas på ett sådant sätt att de uppfyller de säkerhetskrav som ställs. För detta ska det finnas program för underhåll, fortlöpande tillsyn och kontroll samt hantering av åldersrelaterade försämringar och skador. Vidare framgår att programmen ska genomföras med metoder som är validerade för sina ändamål.

5 kap. 3b § SSMFS 2008:1

Av 5 kap. 3b § SSMFS 2008:1 framgår att innan anläggningsdelar eller anordningar tas i drift ska en funktionskontroll göras för att verifiera anläggningens driftklarhet.

Beskrivning av SKB:s redovisning

Anläggnings- och funktionsbeskrivning

F-PSAR kapitel 5 (SKB dokID 1245480) är indelad i flera avsnitt där avsnitten 5.3 och 5.4 som avser en beskrivning av anläggningen respektive en beskrivning av anläggningens funktioner för hantering av avfallskollin. I avsnitt 5.3 beskrivs anläggningen systemvis dels ovan jord, dels under jord i kort, koncis och övergripande text. Det framgår att konstruktionen av 2-5BMA kommer att skilja sig från 1BMA genom att 2BMA kommer att bestå av 14 fristående kassuner istället för fack (som i 1BMA) vilka är fristående betongkonstruktioner som är uppförda i oarmerad betong. SKB har i ett senare skede inkommit med kompletteringshandlingar (SKB dokID 1580501) med anledning av beslut om att deponera segmenterade reaktortankar istället för hela. Även om anläggningsbeskrivningen i F-PSAR därmed inte utgör en aktuell beskrivning av den tänkta anläggningen så har SKB i kompletteringen K:14 på en översiktlig nivå beskrivit de ändringar i anläggningens utformning som detta kommer att medföra för utformningen av förvar för BWR reaktortankar (1BRT) och reaktortransporttunneln (1RTT).

I avsnitt 5.5 ges en kort beskrivning av kriterier och principer för driftklarhetsverifiering. I F-PSAR kapitel 3 redovisar övergripande krav och konstruktionsförutsättningar för utformning och dimensionering som fastställdes i samband med ursprunglig konstruktion samt de som gäller för utbyggnad av SFR. I Kapitel 3 redovisas även säkerhetsprinciperna för anläggningen under driftskedet och i F-PSAR kapitel 8 återfinns säkerhetsanalysen för driftskedet.

Uppförande av den utbyggda anläggningen

Utöver de ovan nämnda redovisningarna av den planerade anläggningen har SKB i Bilaga VOLS-Bygg PSU (SKB dokID 1280983) på en översiktlig nivå beskrivit verksamheten under tillståndsprövnings- och detaljprojekteringskedet samt byggskedet. SKB beskriver att inför att byggskedet påbörjas så kommer driftområdet för befintlig anläggning att avskiljas från byggområdet med väggar. Strategin är att hålla systemen i befintlig och utbyggd del åtskilda avseende radiologiskt och fysiskt skydd så länge som det är möjligt från praktisk synpunkt. Därefter kommer upprättade mellanväggar att rivas och befintlig och utbyggd del kopplas ihop inför slutlig systemfunktionsprovning. Av redovisningen framgår det inte om SKB har tagit ställning i frågan hur befintlig anläggning kommer att drivas under uppförande av de nya anläggningsdelarna. I en referensrapport (SKB dokID 1409290) som beskriver risker för befintlig anläggning under utbyggnaden av SFR framgår dock att en rekommenderad riskreducerande åtgärd är att det inte får ske någon deponering under pågående bergarbeten och att traverser besiktas innan deponering av avfall får återupptas efter genomförda sprängarbeten. SKB har också informerat om att man planerar för deponeringsstopp i anläggningen under hela byggperioden (SKB dokID 1705019).

SKB beskriver att byggskedet kommer att avslutas med en verifierings- och valideringsfas där provningen börjar med objekt och byggs vidare med delsystem och slutar med samfunktionsprovning för hela system och funktioner. Projektorganisationen kommer att vara ansvarig för verifiering och validering av den integrerade anläggningen i samarbete med driftorganisationen vid SFR. Mottagande driftorganisation kommer att säkerställa att nödvändig driftklarhetsverifiering har genomförts inför provdrift.

I (SKB dokID 1280983, avsnitt 2.7.2) beskrivs att arbete med bergdriften görs helt skilt från befintlig anläggning genom avgränsade väggar som ska utgöra fysiskt skydd, brandskydd och skydd mot tryckvågor. Begränsningar avseende vibrationsnivåer i befintliga anläggningen vid sprängning kommer att tas fram och följas upp. De utsprängda bergrummen kommer löpande att karteras för att utgöra underlag för verifiering av kravbilderna från säkerhetsanalysen och de fortsatta installationerna.

I Bilaga VOLS-Ansökan PSU beskriver avsnitt 4.6 *Riskhantering* hur anläggningsändringar i den befintliga anläggningen kommer att hanteras. Åtgärderna delas in i fyra kategorier:

1. Modernisering och underhåll av den befintliga anläggningen innan byggstart
2. Platsförberedande åtgärder inför utbyggnaden
3. Anläggningsändringar för att uppnå en integrerad anläggning
4. Ändringar utan direkt koppling till utbyggnaden efter byggstart

Det är inte tydligt hur beredningen av ändringsärenden beaktar samtliga säkerhets- och strålskyddsmässiga konsekvenser av ändringar i anläggningen. Redovisningen innehåller ingen information om säkerhetsgranskning av ändringar i säkerhetsredovisning eller ändringar i anläggningen och hur säkerhetsgranskningen i två steg kommer att organiseras i linje- respektive projektorganisation.

I Bilaga VOLS-Bygg PSU avsnitt 4.2 *Anläggningsändringar* beskrivs att vid beslut om införande av anläggningsändringar i befintlig anläggning ska anläggningschefen¹¹ ge sitt godkännande. Införande av anläggningsändringar sker i två steg: *Beslut om införande (BIF)* och *Beslut om överlämning (BÖL)*. Inför ett *beslut om införande* ska anläggningschefen ta ställning till om tillräckligt underlag finns framtaget för att få påbörja införandet i anläggningen. Projektorganisationen planerar att redovisa beslutsunderlag i form av kontrollprogram, riskanalyser med tillhörande åtgärder som krävs för att säkerställa strålsäkerheten. *Beslut om överlämning* kan ske först efter att avslutad provning och driftsättning och när berörd personal har erhållit relevant utbildning för att kunna driva och underhålla systemet samt att erforderliga drift-, underhålls- och störningsinstruktioner finns framtagna.

I Bilaga VOLS-Bygg PSU avsnittet 4.5 *Riskhantering* beskriver SKB att ett systematiskt och heltäckande riskarbete avseende strålsäkerhet m.m. kommer att genomföras för de olika uppförandeskedena. Successivt kommer mer detaljerade analyser att göras inför byggstart. SKB kommer att säkerställa att entreprenörerna i sitt utförandeansvar arbetar systematiskt med att hantera risker. I Bilaga VOLS-Ansökan PSU beskriver avsnitt 4.6 *Riskhantering* hur projektets arbetssätt för projektriskhantering kommer att kompletteras med andra riskanalyser exempelvis för bedömning av teknisk utformning och val av arbetsmetoder, samt kärntekniska risker under byggskedet, driftsäkerhet och för säkerhet efter förslutning. I en referens (SKB dokID 1409290) finns en inledande riskanalys av hur utbyggnaden och risker kopplade till denna påverkar den radiologiska säkerheten för den befintlig anläggning. Risker som uppstår under utbyggnaden relaterar främst till vibrationer från sprängarbeten, ökade trafikvolym, brand i arbetsutrustning, höga vatteninflöden samt avbrott i elförsörjningen. SKB presenterar en rad riskreducerande åtgärder.

Av Bilaga VOLS-Bygg PSU avsnittet 5.3 framgår att särskilda kontrollprogram kommer att tas fram under byggskedet. Kontrollprogrammet utgör ett komplement till mer nerbrutna verifierings- och valideringsplaner. Kontrollprogrammen kommer även utgöra en viktig komponent i gränsytan mellan projektorganisationen och säkerhetsledningen för den befintliga anläggningen. SKB redovisar att exempel på områden där kontrollprogram kan förväntas tas fram:

- Kontrollprogram för kärnteknisk säkerhet för befintliga anläggningsdelar under utbyggnaden av nya bergutrymmen,
- Kontrollprogram under uppförandet av barriärer,
- Undersökningsprogram för utbyggnaden,
- Kontrollprogram för arbetsmiljö mm.

SSM:s bedömning

Anläggnings- och funktionsbeskrivning

SSM bedömer utifrån säkerhetsanalyserna i kapitel 8 att de system och den utrustning som har störst betydelse för strålsäkerheten och tredje man i SFR är avfallskollin och tillhörande utrymmen för förvaring, transportfordon, lyftdon, system för brandskyddssystem och ventilationssystem. Dessa typer av utrustning och system är på en övergripande nivå väl beskrivna i SFR F-PSAR kapitel 5. SKB har kompletterat ansökan med information (SKB dokID 1580501) om de ändringar som påverkar anläggnings- och

¹¹ I den organisationsförändring som SKB har genomfört den 1 januari 2019 kommer dock rollen som anläggningschef att utgå (SSM2018-4843, SKB – Anmälan av slutlig organisationsförändring i enlighet med SSMFS 2008:1 4 kap 5§).

funktionsbeskrivningen till följd att SKB beslutat att deponera segmenterade BWR-reaktortankar i stället för hela reaktortankar vilket påverkar förvarets utformning av tillfartstunnlar och förvar för BWR reaktortankar (1BRT) och reaktortransporttunneln (1RTT). SKB har inte tagit fram detaljerade beskrivningar av anläggningens barriärer och utrustning av betydelse för djupförsvaret. I detta steg av tillståndsprövningen förväntar sig inte heller SSM att detaljerade beskrivningar av utformning och krav på enskild utrustning ska vara framtaget.

Mot bakgrund av ovanstående bedömer SSM med stöd av 4 kap. 2 § och bilaga 2 i SSMFS 2008:1 att SKB:s beskrivning av anläggningens funktion och djupförvar i F-PSAR kapitel 5 är tillräcklig i detta skede. SSM bedömer dock att SKB i en ansökan om uppförande av anläggningen kommer att behöva utveckla redovisningen av anläggnings- och funktionsbeskrivningen i enlighet med den ambitionsnivå som framgår av 4 kap. 2 § SSMFS 2008:1.

Uppförande av den utbyggda anläggningen

SKB har i beskrivningen av arbete med bergdrivning och uppförande av nya anläggningsdelar beaktat relevanta aspekter av ansvarsfördelning, beslutspunkter, kontrollprogram, riskanalyser, ändringshantering och dokumentation. SSM bedömer att det finns förutsättningar för att SKB i ett kommande skede på ett systematiskt sätt kommer kunna hantera händelser specifika för uppförandeskedet samt eventuell annan påverkan på befintliga anläggningen SFR till följd av uppförandet av de nya anläggningsdelarna.

De tekniska och organisatoriska ändringarna i befintlig verksamhet är tillräckligt beskrivet i F-PSAR och bilaga VOLS-Bygg för att SSM ska kunna göra bedömningen att SKB har förutsättning att kunna uppfylla kraven enligt 4 kap. 2 § SSMFS 2008:1 med tillhörande allmänna råd avseende säkerhetsanalyser för nya, planerade eller förändrade delar eller funktioner av anläggningen. Till en ansökan om uppförande behöver dock redovisningen innehålla en beskrivning av de säkerhetsanalyser eller andra verifierande analyser som visar hur befintliga delar av anläggningen kommer att påverkas av uppförandet av de nya anläggningsdelarna samt införande av nya funktioner och system. I ett nästa steg behöver SKB även förtydliga ställningstaganden om deponering av avfall kommer att fortgå i befintliga förvarsdelar under tiden bergarbeten pågår under uppförande av den utbyggda anläggningen.

SSM bedömer att SKB har förutsättning att kunna uppfylla kraven enligt 5 kap. 3 § SSMFS 2008:1 om kontrollprogram under uppförande. SSM grundar denna bedömning på att SKB redovisar exempel på särskilda kontrollprogram som är planerat att tas fram för byggskedet. I en genomförd riskanalys (SKB dokID 1409290) har SKB föreslagit en rad åtgärder för att begränsa påverkan på befintliga konstruktioner till följd av bergarbeten. SKB redovisar även att riskanalyser kommer att genomföras för de olika skedena av uppförande och successivt bli mer detaljerade. SKB kommer att ställa krav på entreprenörernas systematiska arbete med riskhantering. Inför en ansökan om uppförande av anläggningen behöver dock SKB mer utförligt beskriva hur aspekter av betydelse för säkerheten som uppkommer på grund av uppförandet och hur det påverkar verksamheten vid befintlig SFR. Det behöver även beskrivas hur detta beaktas i anläggningens planer och kontrollprogram och om det finns behov av att ta fram kompletterande kontrollprogram för uppförandeskedet. Arbetet med att utvärdera och utveckla kontrollprogram under uppförandeskedet behöver beakta interna och externa erfarenheter från liknande projekt samt utveckling inom vetenskap och teknik.

Ändringar i anläggningen

SKB har redovisat att projektet kommer att arbeta systematiskt med att analysera och hantera risker under projektets gång. Det finns således förutsättningar för att projektet kommer att arbeta systematiskt med att analysera anläggningsändringar med beaktande av strålsäkerheten så att säkerheten i ett avseende inte leder till försämrade säkerhet i ett annat avseende på ett sådant sätt att säkerheten som helhet försämras.

F-PSAR har inte genomgått fristående säkerhetsgranskning och redovisningen saknar information om hur rollfördelningen mellan projekt och linje i kommande skeden i projektet kommer att beakta kravet på att alla ändringar i befintlig anläggning och dess säkerhetsredovisning kommer att behöva säkerhetsgranskas innan de tillämpas. SSM ser dock att det är möjligt för SKB att förtydliga detta i en ansökan om uppförande av anläggningen.

Mot bakgrund av ovanstående så bedömer SSM att SKB har förutsättningar att uppfylla kravet i 4 kap. 5 § SSMFS 2008:1 Inför ansökan om uppförande av tillkommande anläggningsdelar behöver dock SKB:

- Förtydliga hur projekt ska samverka med linjeorganisationen i beredningen av anläggningsändringsärenden och hur ansvarsfördelningen ser ut.
- Förtydliga hur beredningen av ändringsärenden kommer få en allsidig belysning som beaktar samtliga säkerhets- och strålskyddsmässiga konsekvenser av ändringar i anläggningen.
- Beskriva hur ändringar i anläggning och säkerhetsredovisningen för den befintliga anläggningen till följd av uppförande av utbyggt SFR kommer att säkerhetsgranskas innan de tillämpas.

3.4 Anläggningens drift med tillhörande program och instruktioner

Krav

5 kap. 1 § SSMFS 2008:1

Till ledning för driften av en anläggning ska tillståndshavaren upprätta säkerhetstekniska driftförutsättningar.

5 kap. 2 § SSMFS 2008:1

Tillståndshavaren ska fastställa instruktioner för de åtgärder som ska vidtas vid en anläggning under normaldrift, vid driftstörningar och sådana haverier som är beaktade i anläggningens konstruktion. Av bestämmelserna framgår även att det ska finnas dokumenterade riktlinjer för åtgärder som kan behöva vidtas för att kontrollera och begränsa konsekvenserna av haverier som inte är beaktade i anläggningens konstruktion.

5 kap. 3 § SSMFS 2008:1

Byggnadsdelar, system, komponenter och anordningar av betydelse för säkerheten vid en anläggning ska fortlöpande kontrolleras och underhållas på ett sådant sätt att de uppfyller de säkerhetskrav som ställs. För detta ska det finnas program för underhåll, fortlöpande tillsyn och kontroll samt hantering av åldersrelaterade försämringar och skador. Programmen ska genomföras med metoder som är validerade för sina ändamål. Mät- och provningsutrustning ska hållas kalibrerad i enlighet med fastställda instruktioner. Programmen ska vara dokumenterade samt ses över och uppdateras mot bakgrund av vunna erfarenheter och utvecklingen inom vetenskap och teknik.

3 kap. 1 § SSMFS 2008:1

Av bestämmelserna i 3 kap. 1 § SSMFS 2008:1 framgår att anläggningen ska vara konstruerad på ett sådant sätt att de system, komponenter och anordningar som behövs med hänsyn till säkerheten är möjliga att underhålla, kontrollera och prova.

6 kap. 12 § SSMFS 2008:1

För mottagning av material för lagring, slutförvaring eller annan hantering ska det finnas dokumenterade rutiner för kontroll av hur det mottagna materialet har hanterats tidigare i hanteringskedjan och att det uppfyller acceptanskriterierna. Rutiner ska även finnas för hantering av material som inte uppfyller acceptanskriterierna, genom att det returneras till avsändaren eller genom att konstaterade avvikelser åtgärdas.

Beskrivning av SKB:s redovisning

I F-PSAR allmän del 1 kapitel 4 redovisas SKB:s organisation och principer för ledning och styrning av anläggningens drift, underhåll, anläggningens förvaltning och utveckling, hanteringen av kärnavfall, säkerhetsarbetet och beredskapen för driftstörningar och haverier.

Säkerhetstekniska driftförutsättningar, instruktioner och riktlinjer

I F-PSAR avsnitt 5.5 beskrivs kriterier och principer för driftklarhetsverifiering, säkerhetstekniska driftförutsättningar (STF) för SFR samt principerna för driftklarhetsverifiering av denna utrustning. Kriterier för att inkludera funktioner (utrustning) i STF:

- STF ska utgöra den ram inom vilken driften av SFR är tillåten med hänsyn till säkerheten.
- Funktioner (utrustning) som i detta avseende tillgodoräknas i säkerhetsanalysen för driftskedet ska omfattas av krav i STF.

I F-PSAR avsnitt 4.3 om anläggningens drift beskriver SKB vidare hur drift- och underhållsverksamheten kommer att regleras av STF.

I F-PSAR avsnitt 5.5.2 redovisar SKB att en verifierad driftklar utrustning ska omfatta följande principer (rutiner):

- Rutiner för funktionell provning inklusive rutiner för återställning och basläggning/driftläggning av berörd utrustning.
- Funktionell provning ska genomföras dels som periodiska prov enligt STF dels i erforderlig omfattning efter avhjälpande eller förebyggande underhåll.

I F-PSAR beskriver SKB kortfattat att driftinstruktioner ska finnas för styrning av driftorganisationens rutinmässiga arbete i anläggningen. Det ska även finnas störningsinstruktioner för åtgärder vid förutsedda fel och störningar i anläggningen. SKB har inte redovisat ställningstaganden om behovet av rutiner och riktlinjer för åtgärder som kan behöva vidtas för att kontrollera och begränsa konsekvenserna av haverier som inte är beaktade i anläggningens konstruktion.

I F-PSAR allmän del 1 avsnitt 7.5.4 beskriver SKB vilka rutiner som ska följas i händelse av ett missöde där aktivitet frigörs.

Underhåll, kontroll och provning

I F-PSAR Allmän del 1 avsnitt 4.4.1 *Underhåll* redovisar SKB att inom underhållsverksamheten finns program och rutiner för:

- Kontroll, avsyning och besiktning av rör, mekaniska säkerhetsventiler, hanteringsutrustning, komponenter, rörelsedämpare, etc.
- Avvikelsehantering.
- Förebyggande av åldersrelaterad degradering och skador.
- Radiologisk kontroll av bergdränage.

Avsnitten rörande anläggningens drift i F-PSAR allmän del 1 saknar information om kontrollprogram för berg och byggnadskonstruktioner. I F-PSAR allmän del 1 avsnitt 3.4 beskrivs dock att rutiner för kontroll av berggrum, byggnader i berggrum, stora lyftanordningar har väsentlig betydelse för djupförsvarsnivå 2.

SKB:s redovisning i F-PSAR innehåller ingen information om hur SKB i konstruktionen av anläggningen har kommer att säkerställa att de system, komponenter och anordningar som behövs med hänsyn till säkerheten är möjliga att underhålla, kontrollera och prova. Av avsnitt 3.5.3 *Konstruktionsprinciper* framgår det inte explicit att SKB kommer att beakta underhållsmässighet vid konstruktionen av den nya anläggningen.

Rutiner för kontroll samt hantering av material

I F-PSAR allmän del 1 avsnitt 4.5 *Kärnavfall* beskriver SKB att kontrollen av avfallskollin som ska deponeras i SFR främst sker hos respektive leverantör (avfallsproducenter). Avfallsleverantörerna följer utformade instruktioner så att packning och märkning av transportbehållare och containrar sker på ett korrekt sätt. Märkningen anger identiteten på kollit som dokumenteras med avseende på bland annat innehåll, avsändare, vikt och slutförvaringsplats i SFR. Kontrollerna som görs hos avfallsproducenterna och det administrativa systemet Triumf medför att kontrollen vid SFR kan begränsas till främst kontroll av dokumentation och mätning av ytdosrat på transportbehållare.

I F-PSAR allmän del 1 avsnitt 5.4.1 beskriver SKB att de genomför kvalitetsrevisioner hos de andra kärntekniska anläggningarna med syfte att bedöma om gällande typbeskrivningar efterlevs och att tillverkaren har ordning på sin styrning, ledning och dokumentation för avfallsprocessen inklusive rutiner för säkerhetsgranskning.

I F-PSAR avsnitt 5.4 funktionsbeskrivning beskrivs styrningen av avfallshanteringen, optimering av deponering i SFR, informationshantering vid deponering, mottagning av avfall, transporter inom anläggningen, inlastning, kringgjutning och samfunktion med annan verksamhet vid Forsmark. Vad gäller rutiner för mottagning av avfall så beskriver SKB att mottagningskontroll innebär en kontroll av kollits identitet samt kontroll av ytdosrater och mekaniska skador på anlända ATB/containrar. Vid fartygets ankomst till hamnen alternativt terminalbyggnaden kontrolleras ytdosrater och mekaniska skador på anlända ATB/containrar. Nere i respektive bergsal öppnas ATB och en kontroll görs av avfallskollinas identitet.

SKB beskriver inte vilka rutiner som bör finnas för kontroll av hur avfallet hanterats tidigare i hanteringskedjan och rutiner för hantering av material som inte uppfyller acceptanskriterierna.

Det finns erfarenheter av misstänkt feldokumenterat avfall i förvardsdelen BLA i SFR av avfallstypen S.14 (SSM2013-2073). Avfallet som producerats under 1980, 1990 och 2000-talet misstänks inte uppfylla typbeskrivningens krav på avfallets egenskaper, vilket skulle kunna påverka utfallet från säkerhetsanalysen efter förslutning.

SSM:s bedömning

Säkerhetstekniska driftförutsättningar, instruktioner och riktlinjer

Genom att SKB har beskrivit de principer som gäller för framtagande av säkerhetstekniska driftförutsättningar för den utbyggda anläggningen bedömer SSM att SKB har förutsättningar att uppfylla kraven i 5 kap. 1 § SSMFS 2008:1 om att upprätta säkerhetstekniska driftförutsättningar för att reglera drift- och underhållsverksamheten.

SKB har kortfattat beskrivit att driftinstruktioner ska finnas för styrning av driftorganisationens rutinmässiga arbete i anläggningen och att det ska finnas störningsinstruktioner för åtgärder vid förutsedda fel och störningar i anläggningen. Mot bakgrund av ovanstående bedömer SSM att SKB har förutsättningar att uppfylla kravet i 5 kap. 2 § SSMFS 2008:1. Inför ansökan om uppförande av tillkommande anläggningsdelar behöver dock SKB:

- Tydliggöra sina ställningstaganden om tillämpningen av kravet om instruktioner för de åtgärder som kan behöva vidtas vid haverier som inte är beaktade i anläggningens konstruktion.

Underhåll, kontroll och provning

SKB:s redovisning innefattar planer på att ta fram ett program för underhåll avseende byggnader och utrustning av betydelse för säkerheten för den utbyggda anläggningen i linje med det som finns idag för befintliga delar av anläggningen. Redovisningen innefattar planer på att ta fram ett program för hantering av åldersrelaterade skador och försämringar avseende byggnader och utrustning av betydelse för säkerheten. Vid den befintliga anläggningen finns det ett kontrollprogram som innefattar berg. Konstruktionsförutsättningarna saknar information om krav på underhållsmässighet.

SSM bedömer mot bakgrund av ovanstående att SKB har förutsättningar att uppfylla kraven i 5 kap. 3 § SSMFS 2008:1 om underhåll och hantering av åldersrelaterade skador och försämringar. Inför ansökan om uppförande av tillkommande anläggningsdelar behöver dock SKB:

- Redogöra för hur berg- och byggnadskonstruktioner i såväl befintliga som nya anläggningsdelar som behövs med hänsyn till säkerheten ska underhållas, kontrolleras och provas.

SSM bedömer att SKB har förutsättningar att uppfylla kraven i 3 kap. 1 § SSMFS 2008:1 om att konstruera anläggningen på ett sådant sätt att de system, komponenter och anordningar som behövs med hänsyn till säkerheten är möjliga att underhålla, kontrollera och prova. Inför ansökan om uppförande av tillkommande anläggningsdelar behöver dock SKB:

- Redovisa säkerställande av att de system, komponenter och anordningar som behövs med hänsyn till säkerheten är möjliga att underhålla, kontrollera och prova.

Rutiner för kontroll samt hantering av material

Kontroller för hantering av material sker främst hos respektive avfallsproducent. SKB genomför kvalitetsrevisioner för att kontrollera styrning, ledning och dokumentation av avfallsprocessen. Mottagningskontrollen vid SFR omfattar en kontroll av avfallets identitet och mätning av ytdosrat på transportbehållare. Det är dock inte tydligt vilka

rutiner som kommer att finnas för kontroll av hur avfallet hanterats tidigare i hanteringskedjan och rutiner för hantering av material som inte uppfyller acceptanskriterierna för mottagning vid SFR.

Mot bakgrund av ovanstående bedömer SSM att SKB har förutsättningar att uppfylla kraven i 6 kap. 12 § SSMFS 2008:1. Inför ansökan om uppförande av tillkommande anläggningsdelar behöver dock SKB:

- Tydligare redogöra för rutiner för att kontrollera hur avfallet har hanterats tidigare i hanteringskedjan och verifiera att det uppfyller acceptanskriterierna.
- Redogöra för rutiner som behövs för hantering av material som inte uppfyller acceptanskriterierna genom att det returneras till avsändaren eller genom att konstaterade avvikelser åtgärdas.

4 Analyser av säkerheten under uppförande och drift

Krav

4 kap. 2 § SSMFS 2008:1

Av Bilaga 2 till 4 kap. 2 § SSMFS 2008:1 framgår att säkerhetsredovisningen enligt 4 kap. 2 § ska innehålla en redovisning av säkerhetsanalyserna enligt 4 kap. 1 § och av utredningar vilka har gjorts om anläggningens uppförande och omgivningspåverkan vid normaldrift, driftstörningar och haverier. Redovisning av analyser som har genomförts beträffande konsekvensbegränsande åtgärder vid svåra haverier.

4 kap. 1 § SSMFS 2008:1

Av SSMFS 2008:1 4 kap. 1 § framgår att innan en kärnteknisk anläggning uppförs eller ändras och tas i drift, ska kapaciteten hos anläggningens barriärer och djupförsvar att förbygga radiologiska olyckor och lindra konsekvenserna om olyckor ändå skulle ske, analyseras med deterministiska metoder. Analyserna ska därefter hållas aktuella.

Säkerhetsanalyserna ska vara grundade på en systematisk inventering av de händelser, händelseförlopp och förhållanden som kan leda till en radiologisk olycka. Identifierade sådana händelser, förlopp och förhållanden ska indelas i händelseklasser. För varje händelseklass ska det genom analyser visas att gränsvärden för barriärer innehålls och att de radiologiska omgivningskonsekvenserna är acceptabla i förhållande till värden som anges med stöd av strålskyddslagen (1988:220).

Modeller och beräkningsprogram som används för säkerhetsanalyser och för att fastställa konstruktions- och driftsgränser ska vara validerade och verifierade. Osäkerheter ska vara beaktade och data kvalitetssäkrade.

Förutom deterministisk analys ska anläggningen analyseras med probabilistiska metoder för att ge en så allsidig bild som möjligt av säkerheten.

2 kap. 1 § SSMFS 2008:1

Av 2 kap. 1 § SSMFS 2008:1 framgår att radiologiska olyckor ska förebyggas genom en för varje anläggning anpassad grundkonstruktion och ett för varje anläggning anpassat djupförsvar.

Beskrivning av SKB:s redovisning

I F-PSAR Allmän del 1 kapitel 3 (SKB dokID 1220377) redovisas tillämpningen av föreskriftskrav på indelning av händelser i händelseklasser. I avsnitt 3.5.2 definieras acceptanskriterier för händelseklasserna med avseende på dos till tredje man respektive dos till personal. Säkerhetsanalys för driftskedet för SFR redovisas i F-PSAR Allmän del 1 kapitel 8 (SKB dokID1261979). Analyserna i säkerhetsredovisningen F-PSAR för den framtida, integrerade anläggningen kommer att förnyas och kompletteras inför utbyggnadsarbetena samt inför provdrift och rutinmässig drift. En inventering och kategorisering av inledande händelser för analys redovisas i avsnitt 4 i referensrapporten *SFR – Säkerhetsanalys för driftskedet* (SKB dokID 1370971).

Enligt SKB:s redovisning har SFR inga säkerhetsfunktioner för driftskedet och SKB gör mot bakgrund av detta tolkningen att probabilistiska analyser inte erfordras för driftskedet (SKB dokID 1220377 avs. 3.4.2; SKB dokID 1255984 v2.0, EXT-64). Utöver denna tolkning gör SKB i F-PSAR Allmän del 1, kap. 8 för ytterligare tolkning av att en probabilistisk analys inte erfordras baserat på att SFR är en enkel konstruktion utan drivande krafter och små källtermer (SKB dokID 1261979 v2.0, avsnitt 8.8.1).

Syftet med underlagsrapporten till F-PSAR Allmän del 1, kapitel 8 är att visa hur SFR har såväl barriärer som djupförsvar för att förebygga radiologiska olyckor (SKB dokID 1370971 v2.0, avsnitt 1.1). Vidare framgår i avsnitt 1.1 att händelser som kan inträffa och orsaka radiologiska olyckor har identifierats och värderats för att ställas mot angivna acceptanskriterier. SFR:s barriärer under driftskedet är avfallsmatriser, avvattnad jonbytarmassa, avfallsbehållare, avfallstransport-behållare (ATB) och reaktortankar enligt F-PSAR Allmän del 1 kapitel 5 (SKB dokID 1245480 v2.0 avsnitt 5.2).

I avsnitt 2.1 i underlagsrapporten framgår att händelser som analyserats med säkerhetsanalyser ska indelas i händelseklasser, i enlighet med SSMFS 2008:1 och i avsnitt 2.3 framgår att SKB valt att tillämpa händelseklasserna som kravställs för kärnkraftsreaktorer i SSMFS 2008:17 (SKB dokID 1370971 v2.0). SKB har i F-PSAR reviderat händelseklassning från tidigare tillämpning av SSMFS 2008:17 och bl.a. utgår händelseklassen H5 och händelseklassen ”restrisk” tillkommer (extremt osannolika händelser). Samtliga händelser har tilldelats nya händelseklasser. Motsvarigheter till båda händelseklasserna finns i SSMFS 2008:17. Enligt SSMFS 2008:17 tilldelas händelseklassen *mycket osannolika händelser* (H5) sådana händelser som inte förväntas inträffa. Enligt SSMFS 2008:17 tilldelas händelseklassen *extremt osannolika händelser* (restrisker) sådana händelser som är så pass osannolika att de inte behöver beaktas i samband med säkerhetsanalys. SKB har till respektive händelseklass definierat acceptanskriterier för säkerhetsanalyser vilka utgörs av de referensvärden avseende radiologiska omgivningskonsekvenser som SSM tagit fram i rapport SSM2013-5169-4 (SKB dokID 1370971 v2.0). Dessa är redovisade i tabell 2-1 i avsnitt 2.3.

SKB beskriver en metodik för att uppnå målet att visa att anläggningen är säker från kärnteknisk synpunkt och uppfyller strålskyddslagens krav (SKB dokID 1261979 v2.0, avsnitt 3). Metodiken bygger på sex steg; inventering, värdering/bedömning, gruppering/kategorisering, typhändelser och händelseklassning, paraplyfall och utvärdering mot acceptanskriterier. I avsnitt 4 i underlagsrapporten (SKB dokID 1261979 v2.0) beskrivs genomförandet av metodiken som beskrivs i avsnitt 3 översiktligt och i avsnitt 5 beskrivs vilka fall som slutligen analyserats med deterministiska metoder samt analysresultatet. Analyserna är redovisade i två analysrapporter varav den ena utgör underlag för befintlig säkerhetsredovisning (SKB dokID 1271418 v1.0). Den andra rapporten beskriver analyser av dimensionerande fall för SFR:s beredskapsfunktion (SKB dokID 1273308 v2.0). I avsnitt 6 återfinns en sammanställning av resultaten i avsnitt 5

samt en jämförelse mellan analysresultat och acceptanskriterier (SSM:s referensvärden). Samtliga analyserade händelser visar att acceptanskriterier för händelseklassen H2 innehålls. Beräknade doser i analysrapporten för beredskapsfunktionen (SKB dokID 1271418) är enligt SKB baserade på en dos beräknad för en månad med hänvisning till anvisningar för beräkning av omgivningskonsekvenser för kärnkraftreaktorerna i Forsmark (SSM2008/1945) medan referensvärdena i SSM2013-5169-4 avser doser beräknade under ett år.

Bilaga 1 (SKB dokID 1385286 v1.0) till underlagsrapporten (SKB dokID 1370971 v2.0) innehåller de händelser som SKB identifierats genom arbetsmomenten enligt metodikens punkter 1-5 ovan. Bilagan innehåller ca 200 händelser varav ca 70 bedöms kunna innebära skador på avfallsmatrisen, ca 25 händelser är relaterade till brand och ca 30 är relaterade till tappade lyft. SSM har speciellt granskat de händelser som kan relateras till brand. 80 % av SKB:s brandhändelser har hänförts till händelseklassen ”restrisk”. Övriga brandhändelser har SKB hänförts till händelseklassen H4, utöver några händelser som saknar händelseklass i bilaga 1 (SKBdoc 1385286 v1.0). Samtliga brandhändelser i H4 avser brand i enstaka container/avfallsskotti.

SSM begärde ett förtydligande om vilka händelser som eventuellt tillkommit i säkerhetsanalys för driftskedet för den utbyggda SFR (SSM2015-725-12). I SKB:s svar argumenterar SKB för att utbyggnaden inte innebär att radiologiska utsläpp kan bli större eller ske på nya sätt (SSM2015-725-16). SKB hänvisade till analysrapporten med dimensionerande fall för SFR:s beredskapsfunktion (SKB dokID 1273308 v2.0). I samma svar hänvisade SKB till att en uppdaterad händelseinventering kommer att genomföras. SKB betonade också att redovisningen i F-PSAR sker på en nivå motsvarande konceptuell design av anläggningen och dess system, och att F-PSAR ska ligga till grund för en (mer utvecklad) preliminär säkerhetsredovisning (PSAR) som behöver redovisas som underlag för att inleda uppförandet av anläggningen. SSM efterfrågade en plan för genomförandet av denna uppdatering med vissa specificerade uppgifter vilket föranledde en brevväxling (SSM2015-725-19, SSM2015-725-50, SSM2015-725-49 och SSM2015-725-62). SSM har efter denna brevväxling tagit del av redovisning från SKB som omfattar ”Plan för händelseinventering – Projekt SFR – Utbyggnad (SKB dokID 1583878 v1.0).

SSM:s bedömning

Analyserna i F-PSAR för den framtida, integrerade anläggningen kommer att förnyas och kompletteras inför utbyggnadsarbetena samt inför provdrift och rutinmässig drift i enlighet med bestämmelserna i 4 kap. 2 § SSMFS 2008:1 (SKB dokID 1359931, avsnitt 6.1).

SSM bedömer att ett utbyggd SFR har förutsättning att uppfylla krav enligt 2 kap. 1 § SSMFS 2008:1 avseende barriärernas och djupförsvarets förmåga att förebygga radiologiska olyckor eftersom SSM bedömer att det för varje händelseklass kommer att kunna visas att radiologiska omgivningskonsekvenser är acceptabla i förhållande till värden som anges med stöd av strålskyddslagen i enlighet med vad som ska visas enligt 4 kap. 1 § SSMFS 2008:1. Bedömningen är gjord mot bakgrund av att SSM tidigare beslutat att tills vidare inte klassificera befintlig verksamhet vid SFR i någon beredskapskategori enligt SSMFS 2014:2 (SSM beslut SSM2014-643-8). SFR är därmed inte en sådan kärnteknisk anläggning där det kan inträffa en händelse inne på anläggningen som motiverar att brådskande åtgärder vidtas för skydda allmänheten utanför anläggningsområdet. SSM bedömer att utbyggnaden är av sådan karaktär att det i samband med föreliggande granskning av SKB:s ansökan inte föreligger något behov av att ändra tidigare ställningstagandet avseende beredskapskategori för befintlig anläggning. SKB behöver dock i en ansökan om uppförande av tillkommande anläggningsdelar, utifrån en mer genomarbetad

händelseinventering och händelseklassning, förnya utvärderingarna av de radiologiska omgivningskonsekvenserna för respektive händelseklass.

SSM instämmer i SKB:s tolkning att föreliggande F-PSAR utgör en redovisning av konceptuell karaktär av förutsättningar för att konstruera och driva anläggningen liksom att F-PSAR ska ligga till grund för en mer utvecklad PSAR som behöver underbygga ett medgivande om att inleda uppförandet av anläggningen.

Av 4 kap. 2 § SSMFS 2008:1 framgår att en framtida PSAR behöver innehålla en redovisning av genomförda säkerhetsanalyser som krävs enligt 4 kap. 1 § SSMFS 2008:1. SSM vill med beaktande av detta betona att SKB i en framtida PSAR behöver utveckla redovisningen av hur krav i 4 kap. 1 § avseende säkerhetsanalys tillämpas, med beaktande av anläggningens specifika karaktär som slutförvar för kärnavfall som skiljer sig från andra typer av kärntekniska anläggningar. SSM saknar i SKB:s redovisning en tillräckligt utförlig beskrivning av den metodik som använts för inventering och urval av händelser som används i säkerhetsanalysen. Likaledes saknar SSM i redovisningen tydliga argument som styrker att de tre händelser som SKB har analyserat täcker in eventuella övriga händelser och förhållanden som kan leda till radiologisk olycka. Det är heller inte tydligt för SSM om SKB i säkerhetsanalysen har tillgodoräknat sig funktioner hos de system som i enlighet med säkerhetsklass B2 har till uppgift att minska frekvensen och lindra de radiologiska konsekvenserna av vissa händelser.

SSM noterar att SKB anser att säkerhetsanalyser med probabilistiska metoder inte krävs för SFR på grund av dess enkla konstruktion. SSM bedömer dock att de deterministiska säkerhetsanalyserna behöver kompletteras med probabilistiska metoder i enlighet med 4 kap. 1 § SSMFS 2008:1, men att tillämpningen av dessa behöver vara anpassad till anläggningens karaktär och att det därmed kan vara tillräckligt med enklare resonemang om sannolikheter för att olika händelser ska kunna utvecklas till radiologiska olyckor. SSM vill uppmärksamma SKB på att bedömningen av den risk för omgivningspåverkan som anläggningen medför under driftskedet bör vara ett resultat av säkerhetsanalysen snarare än en förutsättning som används som argument för att säkerhetsanalysen i något avseende inte behövs.

Mot bakgrund av ovanstående bedömer SSM att redovisningen i kommande PSAR, utöver att redovisa resultaten från genomförda säkerhetsanalyser, behöver utvecklas och tydligare redogöra för, och beskriva;

- principerna och tillvägagångssätt för att uppfylla krav på systematisk inventering och urval av de händelser, händelseförlopp och förhållanden som kan leda till en radiologisk olycka;
- principerna och tillvägagångssätt för att uppfylla krav på indelning i händelseklasser;
- principerna och tillvägagångssätt för att för identifiering av paraplyfall;
- principer och tillvägagångssätt för analys av risker med probabilistiska metoder med adekvat detaljeringsgrad och omfattning;
- validering och verifiering av modeller och beräkningsprogram som används för säkerhetsanalyser och för att fastställa konstruktions- och driftsgränser.

SSM vill uppmärksamma SKB på att redovisningen innehåller en felaktig tolkning av SSMFS 2008:17 avseende händelseklassen *mycket osannolika händelser* (H5). Händelseklasserna, inklusive *mycket osannolika händelser* i SSMFS 2008:17 definieras och avgränsas utifrån förväntad sannolikhet och inte av s.k. konsekvenslindrande system.

Även om SSMFS 2008:17 avser kärnkraftsreaktorer bör säkerhetsredovisningen för SFR inte innehålla felaktiga tolkningar av SSMFS 2008:17, särskilt inte då SKB valt att tillämpa SSMFS 2008:17 för händelseklassning.

Efter att SKB lämnade in ansökan om utbyggt SFR har begreppet *radiologisk olycka* i lagen (1984:3) om kärnteknisk verksamhet ersatts av *radiologisk nödsituation* med syftet att tydliggöra att lagen nu även omfattar situationer som ännu inte har resulterat i en olycka, vilket även har medfört ändring i 4 kap. 1 § SSMFS 2008:1. Utvecklingen inom området för säkerhetsanalyser går mot att också analysera och redovisa de händelser och förhållanden som kan ge radiologiska konsekvenser till personal inom anläggningen.

SSM noterar att redovisningen av beräknade doser i analysrapporten för beredskapsfunktionen är baserad på en dos beräknad för en månad (SKB dokID 1273308 v2.0) medan referensvärden som jämförs med i SSM2013-5169-4 avser doser beräknade under ett år. SSM bedömer att SKB i kommande uppdatering och utveckling av underlaget till en ansökan om att inleda uppförandet av utbyggnaden av anläggningen behöver tydliggöra argumentationen för på vilket sätt beräknade doser är jämförbara med de referensvärden för vilka jämförelsen görs.

5 Utsläpp av radioaktiva ämnen under normala driftförhållanden och vid driftstörningar

SSM bedömer i detta avsnitt de delar av redovisningen i F-PSAR SFR – Allmän del 1, kapitel 5, 6, 7 och 8 som berör förväntade nuklidspecifika utsläpp till omgivningen vid normaldrift och förväntade driftstörningar.

SSM:s bedömningar avseende anläggningens barriärer och funktioners förmåga att förebygga olyckor, som kan leda till skadlig verkan av strålning, och lindra konsekvenser om olyckor ändå sker, redovisas i avsnitt 4 Analyser av säkerheten under uppförande och drift. SSM:s bedömningar avseende strålskydd redovisas i Del II, avsnitt 6. SSM:s bedömningar avseende säkerheten efter förslutning baserat på det totala inventariet i anläggningen redovisas i del III i denna rapport.

Krav

Av SSMFS 2008:1 (*Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter och allmänna råd om säkerhet i kärntekniska anläggningar*), 4 kap. 2 §, Bilaga 2, framgår att en säkerhetsredovisning ska innehålla en redovisning av förväntade nuklidspecifika utsläpp till omgivningen vid normaldrift och förväntade driftstörningar samt vidtagna åtgärder för att undvika och begränsa utsläppen.

Beskrivning av SKB:s redovisning

SKB beskriver i kapitel 5, om anläggnings- och funktionsbeskrivning, åtgärder i den planerade anläggningen för att undvika och begränsa utsläpp. I avsnitt 5.2.2 beskrivs att ventilationen i anläggningen planeras vara styrd, och att ett ventilationssystem (system 743) ska tillse att undertryck råder i förvarssalarna för att begränsa aktivitetsspridning vid eventuell brand eller tapp av avfallskolli. Förvarssalarna kommer även att konstrueras så att inläckande vatten avleds och förhindras att droppa ner på avfallet. Vidare beskriver SKB i avsnitt 7.5.2 att grundvatten och ytvatten från berggrum, tunnlar och tunnel-förskärning samlas upp och pumpas ut från berggrumsanläggningen med hjälp av system 767. Vid markplan leds sedan vattnet via hävertbrytare till havet. Aktivitetssinnehållet på vattnet som pumpas ut till havet kontrolleras en gång i kvartalet.

Kapitel 6 om radioaktiva ämnen tar upp aktivitetsfrigörelse i anläggningen. SKB anger att utöver det naturligt förekommande radonet existerar normalt ingen luftburen aktivitet i SFR och att drifterfarenheterna hittills visat att ingen luftburen aktivitet förekommit. Vidare anger SKB att aktivitetsfrigörelse endast kan förekomma för ett fåtal onormala händelser och att anläggningens riktade ventilation ser till att aktivitetsspridningen minimeras om en sådan händelse skulle inträffa. Vad gäller aktivitetsfrigörelse till vatten menar SKB att det förekommer men i mycket begränsade mängder och endast inom anläggningen. Allt vatten där aktivitet kan förekomma samlas upp och förs till FKA för aktivitetsmätningar. Dessa mätningar har hittills inte visat några betydande mängder aktivitet. SKB framhåller att totalt sett frigörs i princip ingen aktivitet i anläggningen och att själva avfallet utgör den största strålkällan (kapitel 6.6).

I kapitel 7 om strålskydd redovisas tillämpningen av SSM:s föreskrifter angående begränsningar av stråldosen till personal och omgivning, principer för dimensioneringen av strålskyddet samt stråldoser under normal drift. Av redovisningen framgår att allt avfall som hanteras i anläggningen är inneslutet i avfallskollin och att det vid normal drift inte förekommer några utsläpp av radioaktiva ämnen.

SKB redogör i avsnitt 7.5.1 för att omgivningspåverkan från luftburen aktivitet mäts med en provtagningsutrustning för uppsamling av aerosoler i frånluftsläppet från bergrumsanläggningen som kontrolleras veckovis. För den tid som SFR varit i drift har ingen luftburen radioaktivitet registrerats annat än som naturlig aktivitet från radons sönderfalls-kedja.

SKB redogör i avsnitt 7.5.2 för att grundvatten och ytvatten från bergum, tunnlar och tunnelförskärning samlas upp och pumpas ut från bergrumsanläggningen och att aktivitetsinnehållet i vattnet kontrolleras en gång i kvartalet. SKB redogör vidare för att ingen omgivningspåverkan från vattenburen aktivitet uppstår vid normaldrift men att vatten kan komma att kontamineras i vid hanteringsmissöden t.ex. vattenbegjutning av kollin eller på grund av avfallskollins bristande integritet. (Se Allmän del 1 kapitel 8 – Säkerhetsanalys för driftskedet).

SKB redogör i avsnitt 7.5.3 för att omgivningskontroll utförs enligt av SSM fastställt omgivningskontrollprogram som är gemensamt för samtliga kärntekniska anläggningar inom Forsmarksområdet. Omgivningskontrollen utförs av Forsmarks Kraftgrupp.

I kapitel 8, som beskriver säkerhetsanalysen för driftskedet, redovisar SKB med hänvisning till underliggande referenser (SKB dokID 1214110) och (SKB dokID 1386216) att aktivitetsutsläpp endast kan förekomma vid missöden. SKB redogör i kapitel 8.2 för händelser som kan ge upphov till utsläpp i anläggningen. I underliggande referens SFR – (SKB dokID 1370971) anges att de radiologiska omgivningskonsekvenserna är acceptabla i förhållande till kravbilderna och att allmänt vedertagna spridningsmodeller för utsläpp har använts. Dokumentet hänvisar i sin tur till (SKB dokID 1271418) och (SKB dokID 1273308) som beskriver omgivningskonsekvenser vid utsläpp utanför anläggningen. Vad gäller konsekvenser för omgivningen har spridningsberäkningar utförts och totala dosen till den mest belastade individen beräknats för intern exponering via inhalation och för extern exponering från moln samt från deponering av aktivitet på mark. Den senare exponeringen har beräknats utgående från en månads vistelse på den aktuella platsen.

SKB inkom, på begäran från SSM (SSM2015-725-17), med ett förtydligande (SKB dokID 1559801). I förtydligandet redogör SKB för att i befintligt SFR förekommer normalt ingen



fri aktivitet. Allt avfall som kommer till SFR ska vara kontrollerat och fritt från ytkontamination för att få deponeras. Anläggningen kontrolleras regelbundet med avseende på fri kontamination. Vid utpassage från driftbyggnaden genomförs också alltid personavsökning med avseende på kontamination. I befintlig anläggning görs även månatliga kontaminationsklassningar på ett 40-tal platser på kontrollerad sida. SKB redovisar drifterfarenheter från befintlig anläggning och inte vid något tillfälle har nivåer upptäckts som överstiger gränsvärdena för vitklassad anläggning (på yta och i luft). I befintlig anläggning styrs all ventilationsluft från deponeringssalarna, via undertryck, till huvudskorstenen. Ett delflöde av frånluftsventilationen (system 743) leds genom ett aerosolfilter. Aerosolfiltret är placerat i system 553 vilket är systemet för aerosolprovtagning av ventilationsluft i bergrumsanläggningen. Filtret byts varje vecka och analyseras av FKA enligt FKA:s rutin för mätning av aerosolfilter. SKB redogör vidare för att inga aktivitetsutsläpp till luft härrörande från SFR:s kärntekniska verksamhet har registrerats sedan anläggningen togs i drift.

SKB anger också att befintligt SFR har ett ständigt inflöde av bergdränagevatten i anläggningen. Detta tas omhand av system 767, och pumpas upp och ut från SFR. Vattnet kontrolleras kvartalsvis men har aldrig uppvisat någon mätbar aktivitet. Dränagevatten som eventuellt varit i kontakt med avfall i 1BMA tas dock omhand av system 345 (kontrollerat dränage). System 345 är konstruerat för att leda ut vatten som har hamnat i förvarsfacken till en pumpgrop som är avskild det övriga dränagevattnet i salen. Från denna pumpgrop kan man ta prover på vattnet och därefter avgöra om vattnet kan släppas ut med övrigt bergdränage (system 767), eller om det behöver pumpas upp och tas omhand på annat sätt. Proverna skickas till FKA där de mäts på gammaemitterande nuklider. Varje år redovisas i årsrapporter för SFR (som tillsänds SSM och länsstyrelsen) den dos som det utsläppta kontaminerade vattnet från system 345 har gett. Halterna av gammaemitterande nuklider har varit låga men under 2005 detekterades förhöjd aktivitet av Cs-137 (ca 10 gånger högre), som spårades till en oförutsedd händelse (korroderade fat) i fack 6. Kontaminerat vatten pumpas upp och transporteras till FKA för omhändertagande och har inte gett upphov till några utsläpp. Från år 2005 har allt vatten som samlats upp i system 345 skickats till FKA. Efter 2010, då tunnelduk installerades, har inget vatten uppstått i system 345 då tunnelduken har förhindrat att vatten droppat in i facken. Eftersom kontaminerat vatten har skickats till FKA har SFR således inte haft något utsläpp av kontaminerat vatten till omgivningen under åren 2005-2009 och efter 2010 har inte heller något vatten förekommit i system 345.

Vad gäller Silo redovisar SKB att det fram till början av 2000-talet fanns uppsamlingsanordningar uppsatta i taket för att förhindra dränagevattnet att nå avfallskollin genom att droppa ner i schakten. Dessa togs bort för att reducera brandrisk men ersattes av uppsamlingskärl placerade på Silolocken som tömdes kontinuerligt. Denna lösning täckte dock inte hela förvaret och Silo-locken stod stundtals öppna. Denna hantering avslutades i samband med uppsättning av tunnelduk (2011) och inläckande vatten har därefter inte varit ett problem. Det vatten som med tiden hade läckt in i facken har pumpats upp och skickats in till FKA för omhändertagande (likt vatten från 1BMA). Från Silo-förvaret har således inget kontaminerat vatten nått omgivningen.

SKB anger att samtliga salar i utbyggd anläggning kommer att installeras med någon form av konstruktion för att förhindra att vatten når avfallet, till exempel tunnelduk. Vidare framhåller SKB att den utbyggda delen kommer att anslutas till aerosolfiltret och att för alla bergssalar i utbyggd del planeras det att finnas möjlighet att isolera bergssalarna ventilationsmässigt. Vid varje bergssals frånluftsuttag planeras det också för möjligheten att installera absolutfilter.

SKB anger att källtermer för analys av stråldosberäkningar för personal under drift baseras på avfallskollin med högsta tillåtna ytdosrat. För onormal händelse under drift baseras källtermer på den högst beräknade nuklid-specifika koncentrationen i relevanta avfallskollin utifrån deras typbeskrivningar. De högst beräknade aktivitetsnivåerna används för att erhålla den största omgivningspåverkan från en specifik händelse.

SKB redovisar att de inför PSAR ska se över källtermerna för beräkning av omgivningspåverkan som en del i det metodikpaket för säkerhetsanalys som är under framtagande.

SSM:s bedömning

SSM bedömer med stöd av SKB:s redovisning att verksamheten är av den karaktären att endast försumbara utsläpp till luft eller vatten förväntas ske vid normal drift av den utbyggda anläggningen. SSM bedömer vidare att de utsläpps begränsande åtgärder och den systematiska monitoreringen som SKB kommer att tillämpa för den utbyggda anläggningen är adekvata.

SSM bedömer sammanfattningsvis utifrån SKB:s redovisning inklusive förtydligande (SSM2015-725-17, SKB dokID 1559801) att SKB har förutsättningar att uppfylla kraven enligt Bilaga 2 till 4 kap. 2 § SSMFS 2008:1 avseende redovisning av förväntade nuklid-specifika utsläpp till omgivningen vid normaldrift och förväntade driftstörningar samt vidtagna åtgärder för att undvika och begränsa utsläppen.

6 Utformningen av den planerade verksamhetens personalstrålskydd

SSM:s bedömningar i detta avsnitt avser SKB:s redovisning i F-PSAR SFR – Allmän del 1 kapitel 7 – Strålskydd (SKB dokID 1254180), med underliggande referensdokument Dosprognos vid drift av utbyggt SFR (SKB dokID 1386216) och i bilaga Principer och metodik för säkerhetsklassning - Projekt SFR-utbyggnad (SKB dokID 1405182) till F-PSAR SFR - Allmän del 1 kapitel 3 – Konstruktionsregler (SKB dokID 1220377).

SSM:s bedömningar avseende utsläpp och omgivningskontroll redovisas i Del II, kapitel 5. SSM:s bedömningar avseende organisation och ledning kopplat till strålskyddsaspekter redovisas i Del II, kapitel 10.

Krav

6 § strålskyddslagen (1988:220)

Av 6 § strålskyddslagen framgår det att den som bedriver verksamhet med strålning ska med hänsyn till verksamhetens art och de förhållanden under vilka den bedrivs kontrollera och upprätthålla strålskyddet på den plats och i den lokal och övriga utrymmen där strålning förekommer.

2 kap. SSMFS 2008:1

Av 2 kap. 8 § SSMFS 2008:1 framgår att verksamheten ska ledas, styras, utvärderas och utvecklas med stöd av ett enhetligt ledningssystem som är så utformat att kraven på säkerhet, strålskydd och fysiskt skydd tillgodoses samordnat med övriga krav på verksamheten. Ledningssystemet, inklusive tillhörande rutiner och instruktioner, ska hållas aktuellt och vara dokumenterat.

3 kap. 1 § SSMFS 2008:1

Av 3 kap. 1 § SSMFS 2008:1 framgår det att anläggningen ska vara konstruerad på ett sådant sätt att de system, komponenter och anordningar som behövs för med hänsyn till

säkerheten ska vara möjliga att underhålla, kontrollera och prova. Vidare framgår att konstruktionen ska så långt det är möjligt och rimligt underlätta strålskyddet, både vid drift och vid en framtida avveckling.

4 kap. 2 § SSMFS 2008:1

Av 4 kap. 2 § SSMFS 2008:1 framgår att säkerhetsredovisningen som sammantaget ska visa hur anläggningens säkerhet är anordnad för att skydda människors hälsa och miljön mot radiologiska olyckor ska omfatta en övergripande redogörelse för hur strålskydd upprätthålls vid anläggningen.

3 § SSMFS 2008:24 om strålskyddsföreståndare vid kärntekniska anläggningar

Av 3 § framgår att det vid en kärnteknisk anläggning ska finnas strålskyddsföreståndare med tillräcklig kompetens i frågor av betydelse för strålskyddet. Föreståndaren ska vara bl.a. vara sakkunnig i frågor rörande anläggningens strålskydd och verka för att verksamheten bedrivs i enlighet med krav i strålskyddslagen och tillhörande föreskrifter samt enligt för verksamheten övriga ställda villkor.

4, 5 och 17-22 §§ SSMFS 2008:26

Av 4 och 5 §§ SSMFS 2008:26 framgår det att verksamheten vid kärnteknisk anläggning ska bedrivas så att alla stråldoser begränsas så långt som det är rimligt möjligt med hänsyn till ekonomiska och samhällsliga faktorer samt hur dessa persondoser ska övervakas. I samma föreskrifter 17-22 §§ framgår det att persondos-övervakning ska ske för såväl extern bestrålning som intern och extern kontamination.

11-14 §§ SSMFS 2008:26

Av 11-14 §§ SSMFS 2008:26 framgår det att inom ett kontrollerat område ska lokaler och platser, där det förekommer en icke obetydlig risk för en exponering sådan att den effektiva dosen överstiger 50 millisievert (mSv) per år, särskilt utmärkas, tillträde till en sådan plats ska vara särskilt begränsat. Vidare beskrivs att det ska vara förbjudet att förtära mat och röka, dock får vatten serveras enligt kravbild.

4-6 kap. SSMFS 2008:51

Av 4 kap. SSMFS 2008:51 framgår det att arbetsställen ska kategori-indelas i kontrollerat och skyddat område, nivåer på stråldoser och risk för kontamination och hur övervakning av arbetsställen ska utföras. Av 5 kap. framgår att det ska finnas rutiner för mätning och rapportering av persondoser och 6 kap. innehåller krav på läkarundersökning och hälsokontroll.

Beskrivning av SKB:s underlag

Det sakliga innehållet SKBs redovisning i kapitel 7 är strukturerat i sex underkapitel. Efter en allmän inledning i kapitel 7.1 redogör SKB i kapitel 7.2 för anläggningens konstruktion och driftsätt med avseende på strålskyddet. Kapitel 7.3 redovisar källorna till joniserande strålning i anläggningen och kapitel 7.4 redogör för de dosreducerande åtgärder som tillämpas. Kapitel 7.5 omfattar redovisning av mätning av aktivitet och strålningsnivåer.

SKB beskriver i avsnitt 7.1 att strålkällorna i SFR utgörs av det radioaktiva avfallet som transporteras i anläggningen eller deponerats i dess olika förvarsutrymmen och att dosbelastning till personalen härrör från avfallet genom extern strålning. SKB anger vidare att intern bestrålning orsakad av fri aktivitet inte är normalt förekommande och att aktivitetsfrigörelse endast kan förekomma vid missöden. Under temporär uppställning och förflyttning av avfall, både ovan jord och inom bergrumsanläggningen är avfallsbehållarna inneslutna i avfallstransportbehållare (ATB med strålskärmade väggar eller container). Vid inlastnings- och deponeringsmomentet hanteras i allmänhet oskärmade kollin.

SKB anger att utformningen av SFR har tagit hänsyn till förebyggande strålskyddsåtgärder i syfte att begränsa stråldosen till personalen med målsättningen att begränsa den genomsnittliga individårsdosen så att den understiger 5 mSv. Av anläggningsbeskrivningen (SKB dokID 1245480, kapitel 5) framgår att en strålskärmade vall finns utanför terminalbyggnaden och att driftbyggnaden och byggnaden för radiologisk kontroll (RKB) är strålskärmade. Förvarssalarna har strålskärmade anordningar (t.ex. betongväggar, betongblock och liknande) där det har bedömts vara nödvändigt. Vid detaljprojektering av utbyggnaden kommer krav att ställas på att byte och kontroll av armatur samt att inspektion av berg kan genomföras så att SSM:s krav följs.

SKB anger vidare att administrativa åtgärder används för att kontrollera och följa upp personalens stråldoser och strålskyddskompetens samt övrig lämplighet för verksamhet med joniserande verksamhet.

SKB redovisar också förekomst naturlig radioaktivitet i form av radon i undermarksanläggningen och att ventilationen i anläggningen är dimensionerad med hänsyn till detta.

SKB redovisar i avsnitt 7.2.1 grunderna för strålskyddsklassning av anläggningens olika delar. Bergsalarnas strålskärmning är så konstruerad att personalen obehindrat ska kunna röra sig i utrymmen utanför själva förvaringsytan även när bergsalarna är helt fyllda med avfallskollin. Underliggande bilagor A7-1.1 respektive A7-1.2 redovisar även planerade strålskyddsåtgärder under normal drift och missödesdrift. Under normal drift utförs en klassning utifrån anläggningens aktuella radiologiska status så kallad radiologisk områdesklassning. Klassningsgränserna för radiologisk områdesklassning för dosrat, yt- och luftkontamination är gemensam för samtliga kärntekniska anläggningar i Sverige.

SKB redovisar att under normal deponeringsdrift gäller för både bergsalarna och silon med inlastningsbyggnad två olika klassningsfall. När deponering inte pågår ska personal kunna vistas tämligen obehindrat i inlastningszoner/inlastningsbyggnad/tunnel. Då inlastning pågår kan förhöjda strålnivåer uppkomma och då tillämpas andra klassningsgränser för själva inlastningsfasen.

SKB redovisar att följande anläggningsdelar utgör kontrollerat område med avseende på extern strålning:

- Terminalbyggnaden, vilken utgör uppställningsplats för ATB.
- Förvaringsutrymmen med angränsande drifttunnelvägar fram till driftbyggnaden.
- Förvaringsutrymmen med angränsande drifttunnelvägar fram till Radiologiska Kontrollbyggnaden (RKB).

I avsnitt 7.2.2 redogörs för grunderna för strålskyddsverksamheten. SKB redovisar att strålskyddsverksamheten på SFR är integrerad i driftavdelningens verksamhet och att SKB:s strålskyddsföreståndare ansvarar för att övervakningen av strålskyddsverksamheten inom SFR bedrivs enligt interna och externa krav.

SKB anger att det finns etablerade rutiner för kontroll av dosratsnivå och kontaminering av avfallstransportbehållare (ATB). SKB beskriver här detaljerat om den mottagningskontroll och kontaminationskontroll som genomförs av ATB:er i samband med mottagning av avfall. Kontaminationskontrollen görs på in och utsida av ATB och får ej överstiga 40 kBq/m². Om värdet överskrids ska sanering åter ske tills ett godkänt värde erhålls. Gränsvärdet för ytdosrat för transport som tillämpas i transportreglerna på SKB är 0,1 mSv/h på två meters avstånd. SKB anger vidare att utrustning för personmonitoring



står uppställd vid gräns till kontrollerat område i driftbyggnaderna och används för personkontroll av alla utpasserande från kontrollerat område.

I avsnitt 7.2.3 redogörs för att ventilationen är för varje bergsal dimensionerad så att luftburen aktivitet inte ska spridas utanför bergsalarna i samband med radiologisk olycka, och att till- och frånluft blockeras till det utrymme där aktivitetsspridning konstaterats om en olycka skulle ske. För att begränsa dosbelastning vid underhåll har utrustning som kräver underhåll placerats åtkomligt med hänsyn till strålskyddsaspekter eller givits en utformning som medger korta insatstider för byte av reservenhet. I den utbyggda delen finns teknikinstallationerna huvudsakligen i en särskild teknik-installationstunnel. Maximalt tillåtna ytdosrater har förutsatts vid strålskärms-dimensioneringen som därmed bedöms som konservativ, eftersom merparten av avfallskollina förväntas ha en lägre ytdosrat. SKB anger att dosraterna i skärmdade utrymmen kommer att ligga väsentligt under de värden som ansatts som övre gräns.

SKB beskriver i avsnitt 7.2.4 att skydd mot extern strålning till stor del har åstadkommit genom att layout och strålskärmar har anpassats till den verksamheten. Anläggningen har utformats och strålskärmning dimensionerats så att personal obehindrat ska kunna vistas i utrymmena utanför själva bergsalarna, även om förvaret är helt uppfyllt. SKB anger också att dosraterna temporärt kan bli högre på icke kontrollerat område i silotopptunneln vid pågående deponering och att det därför finns ett alarmsystem för att uppmärksamma personalen på detta. Övervakning sker med en gammakänslig detektor och överstigande gränsvärden indikeras med roterande varningslampor och larm ges även på angränsande okontrollerade områden.

Strålskyddet vid själva inlastningen har tillgodosetts genom fjärrmanövrering respektive genom strålskärmar på fordon och manöverplatser. Områden runt inlastningszoner spärras av och klassas om efter behov. Kringgjutning av avfallskollin utförs fjärrmanövrerat - eller vid manuell hantering med adekvat skärmning - och bidrar förutom till ökad hållfasthet även till reducerad strålnivå. SKB redogör också mer i detalj för strålskyddsåtgärder i respektive förvarsdela. I avsnitt 7.6 beskriver SKB att de enda momenten i SFR:s hanteringskedjor där manuell hantering av oskärmade kollin sker, är vid deponeringen i betongtankförvaren och i bergsalen för lågaktivt avfall.

Avsnitt 7.3 utgörs av en kort redogörelse för egenskaper för de olika typer av avfallskollin som slutdeponeras i olika förvarsdela och korresponderande maximala ytdosrater.

Avsnitt 7.4 innehåller en beskrivning av åtgärder som vidtagits för att reducera doserna för personal som arbetar i SFR. SKB redogör för att konstruktionen av SFR och att de driftinstruktioner som används beaktar personsäkerhet. SKB redogör vidare för att ALARA-principen tillämpas för att minimera dosbelastningen till driftpersonal och att personal som befinner sig i anläggningen är utrustade med dosimetrar. I samband med onormala händelser som kan orsaka radiologiska konsekvenser utryms aktuell förvarsdela och strålskyddsorganisationen involveras i beslut om åtgärder för återställandet. Återställande personal kommer inte att överskrida dosgränser (50 mSv/år).

SKB uppger att strålskärmar samt fjärrstyrda robotar kan behöva användas vid återställningsarbete vid de allvarligaste postulerade radiologiska händelserna.

SKB redovisar att luftburen aktivitet inte förekommer vid normal drift men att spridning av luftburen aktivitet kan bli konsekvensen från en brand. Om brand inträffar utlöses larmet ”omedelbar fara” via högtalarsystemet och ett meddelande följer om var det brinner och om omedelbar evakuering av bergrumsanläggningen.

SKB specificerar avslutningsvis att de viktigaste dosreducerade åtgärderna vid anläggningen utgörs av fjärrstyrning av utrustning; strålskärmande väggar; styr ventilation; utrymningsövningar; skyddsutbildning och instruktioner för driftstörningar; skyddsutrustning för personal för speciella insatser; och larmsystem.

SKB redogör i avsnitt 7.5 för mätning av aktivitet och strålningsnivåer i anläggningen.

Friklassning av material sker enligt SSMFS 2011:2 Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter om friklassning av material, lokaler, byggnader och mark vid verksamhet med joniserande strålning. Om risk för kontamination föreligger förs materialet till avfallsstationen på Forsmarksverket för nuklidspecifik mätning varefter materialet förs tillbaka till SFR som beslutar om materialets vidare hantering.

SKB redogör i avsnitt 7.5.4 för att det normalt inte förekommer fri aktivitet i SFR. SKB redogör också för rutiner som ska tillämpas efter eventuella missöden där aktivitet frigörs. Vidare redogörs för att personavsökning med avseende på kontamination alltid genomförs i en rammonitor vid utpassage från driftbyggnaderna. Fordon som varit på kontrollerat område avsöks enligt gällande rutiner på SFR.

Vid missöde isoleras ventilationen i drabbat utrymme och utrymning av hela underjordsdelen initieras. Eftersom spridningsprocessen sker långsamt anger SKB att det finns gott om tid för att planera och genomföra åtgärder på ett optimalt sätt beroende på vad för situation som inträffat. Säkerhetsledning, strålskydd och strålskyddsöverstyrdare informeras och en handlingsplan tas fram omfattande bland annat avspärningar, provtagning avseende kontamination och dosratmätning för eventuell omklassning av utrymmet. De områden där missöden kan frigöra aktivitet är förberedda för att kunna avgränsas med skobytesgränser. Saneringsmöjligheter finns i driftbyggnaderna.

SKB redogör i avsnitt 7.6 för erfarenheter avseende dosbelastning från driften av befintlig anläggning som utgångspunkt för bedömningar av dosbelastningar i en utbyggd anläggning. SKB redovisar i underliggande referensdokument (Dosprognos vid drift av utbyggt SFR (SKB dokID 1386216)) dosrater för relevanta arbetsmoment i samband med deponering av olika typer av avfallskollin för både ett konservativt och ett realistiskt fall.

SKB anger inledningsvis att uppmätt kollektivdos för hittills genomförd verksamhet i befintlig anläggning har legat mellan 0-6 mmanSv/år, att jämföra med 25 mmanSv/år som antagits vid konstruktionen av anläggningen. SKB anger att orsaken kan vara att mängden avfall som deponerats har varit låg och att dosraterna på betongtankar och containers har varit låga. SKB anger också att störst dosbelastning uppkommer vid förberedelser och kringgjutning av askfat i 1BTF och att metoderna ändrats för att göra arbetet snabbare och därmed reducera doserna. SKB anger vidare att de förebyggande strålskyddsåtgärder som tillämpas vid SFR medför att dosbelastningen till personalen blir begränsad och att ALARA¹² tillämpas vid all planering.

SKB redogör för att antalet deponeringar i den utbyggda anläggningen kommer att öka betydligt i förhållande till antalet deponeringar av enbart driftavfall i befintlig anläggning, och att - baserat på bedömningar om aktiviteten hos strålkällorna har en uppskattning av kollektivdosen gjorts för några olika scenarier. Uppskattad kollektivdos för hantering av drift- och rivningsavfall uppgår till storleksordningen 8-13 mmanSv/år, se F-PSAR allmän

¹² ALARA (As Low As Reasonably Achievable) – en princip att sträva efter för att hålla stråldoserna så låga som rimligt möjligt

del 1 avsnitt 7-1. Utöver detta tillkommer dosbidrag från radon och underhållsarbeten om 3-5 mmanSv/år.

Det största enskilda dosbidraget uppstår vid deponering av betongtankar. Då dessa kommer att deponeras i ungefär samma utsträckning som tidigare, och dagens dosuppföljning visar betydligt lägre doser, så innebär det att det dosbidraget troligen är en överskattning. Vid behov kan förändringar i hanterandet vid deponering av betongtankarna införas samt ytterligare strålskärmar.

Dosbidraget från hanteringen av ISO-containrar är främst beroende av det stora antalet deponeringar per år. Vid behov kan fjärrstyrning av truck för transport och deponering övervägas. Redovisade värden avser kollektivdos och de nödvändiga organisatoriska åtgärderna vidtas för att nå uppställda begränsningar på individnivå. I rapporten Dosprognos vid drift av utbyggt SFR (SKB dokID 1386216) redovisas utöver en bedömt "realistisk" prognos även en "konservativ" prognos där maxytdosrater genomgående har använts. SKB anger att för driftavfallet visar historiken att de "realistiska" bedömningarna ligger på "rätt nivå". För rivningsavfallet bedöms på samma sätt att de "realistiska" beräknade nivåerna är de mest korrekta. I ovan redovisning använder därför SKB de "realistiska" värdena.

Remissinstansers synpunkter

Kungliga vetenskapsakademien

Remissinstansen anför (SSM2015-1640-29) SKB har under planering av konstruktionen och driften av SFR generellt tagit tillräcklig hänsyn till strålskydd av personal. Konstruktionen av anläggningen och de driftinstruktioner som tillämpas i SFR beaktar personsäkerheten, och ALARA-principen tillämpas för att minimera dosbelastningen till driftpersonal.

Kravet att dosgränser för joniserande strålning (50 mSv/år och 100 mSv under 5 år) för återställande personal inte skall komma att överskridas är trovärdigt uppfyllt. De viktigaste skyddsåtgärderna som förhindrar eller begränsar dosbelastningen till personal inom anläggningen (fjärrstyrning av utrustning, strålningsavskärmande väggar, skyddsutbildning och instruktioner för störd drift, larmsystem etc.) är tillfyllest.

Stockholms universitet

Remissinstansen anför avseende strålskydd (SSM2015-1640-18) att SKB genom planering av konstruktionen och driften av SFR tagit tillräcklig hänsyn till strålskydd av personal. Remissinstansen anser vidare att målsättningen avseende personskydd är rätt avvägd och konstaterar att de genomsnittliga individdoser maximalt ungefär motsvarar de som absorberas av civila piloter och flygpersonal. Stockholms universitet anser att man med de planerade åtgärderna garanterar att, för återställande personal i samband med onormala händelser, ingen person får en dos som kommer i närheten av den maximala individuella dosen av 50 mSv/år.

SSM:s beaktande av remissynpunkterna

SSM delar i stort sett remissinstansernas synpunkter och har beaktat dem i bedömningen (SSM, 2019, del II, avsnitt 6.1). SSM vill poängtera att det inom den kärntekniska branschen ses som ett mål att inte överstiga 10 mSv/år vilket även gäller på SFR. Kungliga vetenskapsakademien refererar till de gamla dosgränserna. Nu gällande dosgränser för effektiv stråldos är 20 mSv/år och dos till ögats lins är 20 mSv/år. Gränsvärdet 100 mSv under fem på varandra följande år är borttaget.

SSM:s bedömning

SSM bedömer att SKB visar på en grundläggande förståelse för vilka krav myndigheten kommer att ställa på verksamheten ur ett personstrålskyddsperspektiv, med avseende på konstruktion, optimering, persondosövervakning, dosgränser och kategoriindelning av arbetsställe, utifrån tolkning och aviserad tillämpning av strålskyddslagen, SSMFS 2008:1, SSMFS 2008:24, SSMFS 2008:26 och SSMFS 2008:51.

SSM bedömer, med stöd av erfarenheter från verksamhet i befintligt SFR, att den översiktliga beskrivningen av ledning och styrning av strålskyddsverksamheten i SKB:s redovisning är ändamålsenlig för syftet med SKB:s ansökan och att SKB har förutsättningar att uppfylla kraven i 2 kap i SSMFS 2008:1. SSM bedömer i anslutning till detta att den redovisning som inlämnas i samband med en ansökan om att inleda uppförandet av anläggningen behöver omfatta en mer ingående och detaljerad redovisning som bättre beskriver planerad ledning och styrning av strålskyddet vid den utbyggda anläggningen.

SSM bedömer att SKB:s redovisning på ett korrekt sätt beskriver strålningsmiljön i anläggningen och att dosbelastningen till personal utgörs av extern strålning från det avfall som hanteras och slutförvaras i anläggningen liksom från den naturliga strålningen från sönderfall av radon. SSM bedömer vidare att SKB har bra förutsättningar för att kartlägga strålmiljön utifrån beräknade dosrater och faktiska uppmätta dosrater i verksamheten i enlighet med krav i SSMFS 2008:26. SSM instämmer i SKB:s bedömning att fri aktivitet endast kan förekomma i anläggningen i samband med hanteringsmissöden och brand.

SSM bedömer att SKB har förutsättningar att, med avseende på strålskyddsaspekter vid konstruktion och utformning av de nya anläggningsdelarna, uppfylla kraven 6 § strålskyddslagen och 3 kap. 1 § SSMFS 2008:1 genom att ha beskrivit verksamhetens art och förhållanden under vilka den ska bedrivas samt hur anläggningen kommer att bli konstruerad. SKB har i konstruktionsskedet ett mål att individdosen under drift inte ska överskrida 5 mSv/år.

SSM bedömer vidare att SKB:s redovisning klargör att utformningen av anläggningen tar hänsyn till förebyggande strålskyddsåtgärder genom åtgärder i form av strålskärmande element (t.ex. väggar), fjärrstyrning av utrustning och styrd ventilation. SSM bedömer att därmed att SKB har förutsättningar att uppfylla kraven på begränsning av stråldoser i enlighet med krav i 2 kap. 1 § 1–3 SSMFS 2008:51.

SSM bedömer också att SKB visar förståelse för att i konstruktionsskedet underlätta strålskyddsarbetet genom redovisade intentioner att vid detaljprojektering beakta behov av inspektion av bergkonstruktioner och att armaturer och komponenterna ska vara lätt åtkomliga och erbjuda arbetsutrymme för underhåll.

När det gäller hantering av missöden redogör SKB i avsnitt 7.5.4 för att spridning av kontamination sker långsamt och att det finns gott om tid för att planera och genomföra åtgärder på ett optimalt sätt med hänsyn till missödet i fråga. SSM instämmer i SKB:s bedömningar men SSM betonar samtidigt att redovisning som inlämnas i samband med en ansökan om att inleda uppförandet av anläggningen behöver omfatta en mer ingående och detaljerad redovisning av hantering av postulerade driftstörningarna.

SSM bedömer, med stöd av erfarenheter från tillsynen av verksamhet i befintligt SFR, att den översiktliga beskrivningen av strålskyddsföreståndarens roll för strålskyddsverksamheten vid normaldrift och i samband med missöden är ändamålsenlig för syftet med SKB:s ansökan och att SKB har förutsättningar att uppfylla kraven i SSMFS 2008:24.

SSM bedömer med hänvisning till SKB:s redogörelse om tillämpning av ALARA-principen, och med stöd av erfarenheter från tillsynen av verksamhet i befintligt SFR, att SKB har bra förutsättningar, att bedriva den utökade verksamheten så att stråldoser begränsas så långt som det är rimligt möjligt med hänsyn till ekonomiska och samhällsliga faktorer. SSM bedömer också att SKB:s redovisning av planerade åtgärder för återställande personal i samband med onormala händelser, att ingen person förväntas få en dos som överskrider den maximala individuella dosen av 50 mSv/år. SSM bedömer därmed att SKB har förutsättningar att uppfylla kraven i 4 och 5 §§ SSMFS 2008:26 för den utbyggda anläggningen. SSM vill i sammanhanget uppmärksamma SKB på att en ny lägre dosgräns på maximalt 20 mSv/år har fastlagts i *strålskyddsförordning (2018:506)* vilket SKB behöver beakta i inför inlämnandet av en PSAR som underlag för att starta uppförandet av tillkommande förvarsutrymmen.

Driften av SFR har under en lång tid bedrivits av Forsmarks kraftgrupp AB (FKA) fram till SKB tog över driften 2009. SSM anser att det är viktigt att beakta anläggningskännedom sett ur ett långsiktigt perspektiv så att all kunskap om befintlig anläggning övertas från FKA och att alla erfarenheter, bra som dåliga, beaktas.

SKB har på SSM:s begäran kartlagt vilka strålmiljöer (SSM2013-809) som kan ge upphov till exponering av bl.a. ögats lins. SSM gjorde i granskningen bedömningen att SFR:s kartläggning och beskrivning, av de på anläggningen förekommande strålfälten och -slagen samt strålningsenergierna, var bra redovisad. SSM poängterade att SKB inför eventuell utökning av verksamheten och kommande projekt vid SFR bör fortsätta utvärdera ifall en signifikant exponering av ögats lins kan erhållas och ifall det kan bli aktuellt att mäta persondosekvivalent till ögats lins med separata ögondosimetrar.

Dosgränser för stråldos till extremiteter (armar, händer och ben) är också något som SKB behöver iaktta. De flesta moment vid Clab och SFR är fjärrstyrda för att dels kunna arbeta med avstånd till strålkällan och dels för att undvika manuella moment med handpåläggning. Alla avfallsbehållare ska kunna hanteras utifrån ett bra personstrålskyddsperspektiv för att minimera tiden för exponering av personalen och för att minimera risken för störningar och missöden.

SKB redogör i kapitel 7.6 för erfarenheter från övervakning av stråldoser under normaldrift från drift av befintlig anläggning och för en prognos för stråldoser för den utbyggda anläggningen. SKB övervakar och mäter samt rapporterar persondoser till Cdis¹³ SSM bedömer baserat på SKB:s redovisning och med stöd av erfarenheter från tillsynen av verksamheten i befintligt SFR att SKB har förutsättningar att uppfylla kraven i 17-22 §§ SSMFS 2008:26 samt 5 kap. SSMFS 2008:51.

SSM bedömer vidare att SKB:s beskrivning i kapitel 7.2.1 av radiologisk områdesklassning och kontrollområdesindelning är ändamålsenligt beskriven och bedömer med stöd av detta att SKB har förutsättningar att uppfylla kraven i 4 kap SSMFS 2008:51 avseende kontrollerat och skyddat område. SSM bedömer i anslutning till detta att motsvarande redovisning som inlämnas i samband med en ansökan om att inleda uppförandet av anläggningen behöver omfatta en mer ingående och detaljerad beskrivning.

SSM konstaterar sammanfattningsvis att SKB:s redovisning i kapitel 7 i föreliggande ansökan om utbyggnad av SFR har redovisat ett tillräckligt underlag för att SSM ska

¹³ Cdis är de svenska kärntekniska anläggningarnas centrala dosregister.

kunna bedöma att SKB kommer att kunna uppföra och driva en utökad verksamhet vid SFR-anläggningen som uppfyller gällande kravbild för strålskyddet. SSM bedömer detta grundat på att SKB:s underlag övergripande beskriver;

- grundläggande principer för hur anläggningen avses uppföras och drivas så att ett gott strålskydd kan upprätthållas;
- grundläggande principer för dosreducerande åtgärder i form av fjärrstyrning av utrustning; strålskärmande väggar; styrd ventilation; utrymningsövningar; skyddsutbildning och instruktioner för driftstörningar; skyddsutrustning för personal för speciella insatser; och larmsystem;
- att källorna till strålning och potentiella exponeringsvägar är adekvat beskrivna;
- att beräkningar av dosbelastningar vid potentiella exponeringssituationer vid såväl normaldrift som vid driftstörningar stöder bedömningar om att dosgränser kan innehållas;
- att ALARA-principen tillämpas för att minimera dosbelastningen till personal.
- grundläggande principer för mätning av nuklidspecifik aktivitet och strålnivåer under normaldrift och driftstörningar/missöden; och
- grundläggande principer för hantering av missöden där aktivitet frigörs och/eller personal riskerar en ökad dosbelastning.

7 Planer för framtida avveckling av anläggningen

Krav

Enligt 10 § kärntekniklagen ska tillståndshavaren ansvara för de åtgärder som krävs för att på ett säkert sätt avveckla och riva anläggningar där verksamhet ej längre ska bedrivas.

Enligt 9 kap. 1 § SSMFS 2008:1 ska en avvecklingsplan tas fram innan en anläggning uppförs och innefatta de uppgifter som anges i bilaga 5 i samma föreskrift. Enligt 9 kap. 2 § SSMFS 2008:1 ska avvecklingsplanen baseras på en avvecklingsstrategi för hela förläggningsplatsen om det finns flera förläggningar på samma plats. Enligt bilaga 5 ska olika aspekter av dokumentation av anläggningen, planeringsförutsättningar och avvecklingsverksamheten redovisas. Endast de uppgifter som rimligen kan föreligga i det aktuella skedet behöver redovisas och om lämpligt kan hänvisningar till annan dokumentation göras.

Beskrivning av SKB:s redovisning

Till ansökan är en avvecklingsplan för ett utbyggt SFR bifogad (Bilaga AV PSU, SKB dokID 1355856). SKB framhåller att förslutningen av underjordsdelarna är en del av slutförvarets barriärfunktion och av betydelse för säkerheten på lång sikt och att planerna för förslutningen därför inte redovisas i avvecklingsplanen. Förslutningsplanen (SKB dokID 1358612) redovisas i allmän del 1 kapitel 5 i ansökan.

SKB framhåller att det behövs en nationell samordning mellan kärntekniska anläggningar och att SKB i samråd med andra tillståndshavare hanterar planeringen av transport och deponering av radioaktivt material samt teknik- och strategival som påverkar detta. Därutöver ingår en samplanering av resurser med avseende på specialistföretag och mottagningskapacitet vid slutförvar.

Målsättningen med avvecklingen är att uppnå en friklassad anläggning. Innan slutlig avställning kommer en radiologisk kartläggning av anläggningen ske för att säkerställa att alla anläggningsdelar kan betraktas som konventionella. Avfallet är tänkt att hanteras som

konventionellt avfall. Anläggningen ovan jord rivs och återställs om inte byggnader ska fortsätta användas i annat syfte. Avvecklingen av underjordsdelarna anpassas till förslutningen av anläggningen. De funktioner som samutnyttjas med kärnkraftverken kommer att behöva säkerställas även efter avställning av kraftverken.

SSM:s bedömning

SSM bedömer att den av SKB redovisade avvecklingsplanen innefattar den information som krävs i nuvarande skede enligt SSMFS 2008:1 9 § och bilaga 5, såsom dokumentation av anläggningen, planeringsförutsättningar och avvecklingsverksamheten. En betydelsefull fråga för avvecklingen är förslutningen av underjordsdelen. Denna bedöms i del III i denna rapport).

De anläggningsdelar som inte är del av barriärsystemet för långsiktig säkerhet kan förväntas förbli icke kontaminerade eller bör kunna dekontamineras innan avvecklingen. Därmed blir det inte frågan om någon hantering av radioaktivt material eller avfall vid avvecklingen. SSM ställer sig dock frågande till de av SKB redovisade alternativen som innebär att installationer i underjordsdelen deponeras i någon av bergsalarna med tanke på det konventionella avfallets potentiella inverkan på den långsiktiga säkerheten.

Eftersom SKB har i uppdrag att samordna hanteringen av radioaktivt avfall från reaktorinnehavarna bedömer SSM att det finns förutsättningar för att avvecklingen av SFR samordnas på ett lämpligt sätt med avvecklingen av övriga kärntekniska anläggningarna i Forsmark.

8 Fysiskt skydd

Krav

2 kap. 11 § SSMFS 2008:1

Utformningen av det fysiska skyddet ska vara grundat på analyser som utgår från nationell dimensionerande hotbeskrivning och vara dokumenterat i en plan av vilken ska framgå skyddets utformning, organisation, ledning och bemanning. Hotbildsanalysen och planen ska hållas aktuella och planens ändamålsenlighet prövas genom regelbundna övningar.

Av de allmänna råden till 2 kap. 11 § SSMFS2008:1 framkommer bl.a. att det av beskrivningen bör framgå hur det fysiska skyddet uppfyller kraven i SSMFS 2008:12.

Beskrivning av SKB:s redovisning

I *Preliminär plan för fysiskt skydd för utbyggt SFR* (SKB dokID 1398066) redovisar SKB en preliminär plan för den utbyggda slutförvarsanläggningen SFR, det vill säga när byggskedet avslutats och anläggningen tagits i drift.

Av inledningen framkommer att det fysiska skyddet dimensioneras för att förhindra eller försvåra obehörig befattning med radioaktivt avfall och radioaktiv olycka samt uppfylla SKB:s krav avseende person- och egendomsskydd. SKB framhåller att detaljnivån avsiktligt begränsats för att dokumentet inte ska bli allt för omfattande och att hänvisningar till mer utförliga instruktioner och systembeskrivningar redovisas där sådana finns. I inledningen redovisas också de viktigaste kraven och där anges bl.a. 2 kap. 11 § SSMFS2008:1 och 4-6 §§ SSMFS2008:12.

I avsnitt 5 ”Dimensionerande hotbild” framkommer att hotbildsanalysen genomförts i flera steg och att den tagits fram efter en tolkning av den dimensionerande hotbilden. SKB



beskriver vilken metodik som tillämpats och vilka frågeställningar som hotbildsanalysen har utgått ifrån, bl.a. vilket möjligt utfall som skyddsåtgärderna ska förhindra. För närmare information hänvisar SKB till ett separat dokument.

I avsnitt 6 ”Skyddsnivåer” framkommer att det finns flera förberedda skyddsnivåer och att skyddsnivån kan höjas temporärt. Det framgår vilken funktion som har ansvaret för det fysiska skyddet samt vilken funktion som ansvarar för tillsyn och kontroll.

I avsnitt 7 ”Säkerhetsvärdering av anläggningens fysiska skydd” framkommer att anläggningens geografiska lokalisering och dess utformning ger goda möjligheter att ha ett bra fysiskt skydd. I Säkerhetsvärderingen framhåller SKB att det finns välutbildad bevakningspersonal och andra samhällsfunktioner som kan bistå vid behov omnämns.

I avsnitt 9 ”Organisation och personal” framkommer vilken funktion som är direkt-rapporterande till VD. Denna funktion har en fristående ställning till slutförvars-anläggningens ledning och funktionen ansvarar för att säkerhetsskyddsarbetet följs upp, övas och kontrolleras. Vidare framkommer att en annan funktion ansvarar för att upprätthålla anläggningens fysiska skydd. Vilka uppgifter som bevakningspersonalen ansvarar för redovisas och att dess numerär fastställs genom bemanningsanalys.

I avsnitt 10 ”Tillträde till anläggningen” beskrivs övergripande vad som gäller för tillträde och inpassering av personer och fordon och det finns referenser till specifika instruktioner. Vidare framkommer att all personal, inklusive visstidsanställda och inhyrd personal, säkerhetsprövas. Ett antal kriterier som beaktas vid säkerhetsprövningen redovisas och det finns hänvisning till ytterligare dokumentation.

I avsnitt 11 ”Områdesskydd” beskrivs det mekaniska områdesskyddet och det bevakningstekniska områdesskyddet på övergripande nivå. Till plan fysiskt skydd har bifogats en kartbild där det bevakade området åskådliggörs.

I avsnitt 12 ”Skalskydd” beskrivs det skyddade området med uppgift om både mekaniskt skydd och teknisk övervakning. Det framkommer att vad som utgör skyddat område varierar baserat på hur anläggningen är bemannad vilket också åskådliggörs genom bilagda ritningar.

I avsnitt 13 ”Bevakningscentral” beskrivs utformningen och vilka funktioner som bevakningscentralen har. Vidare framkommer att nuvarande placering av bevakningscentralen kommer att ändras och det finns övergripande information om vilka krav som finns på konstruktionen.

I avsnitt 14 ”Kommunikation och sambandsutrustning” sammanfattas vilken utrustning som finns och som används både internt och externt med de s.k. blå-ljus-myndigheterna.

I avsnitt 15 ”kontroll och provning” framgår att anordningar av betydelse för det fysiska skyddet ska kontrolleras och provas för att driftklarhetsverifiera det fysiska skyddet. På detta sätt kontrolleras att kraven i de säkerhetstekniska driftförutsättningarna uppfylls.

I avsnitt 16 ”Hantering av uppgifter om säkerhetsåtgärder” samt avsnitt 17 ”Datoriserade system” beskrivs kortfattat hur dokument och nätverk för datoriserade system hanteras utifrån ett informationssäkerhetsperspektiv.

I avsnitt 18 ”Lås och nycklar” beskrivs lås och nyckelsystemet på SFR samt vilka krav som tillämpas för låscylindrar. Passagekontrollsystemet nämns kortfattat och det finns hänvisning till en instruktion med mer utförlig instruktion.

I avsnitt 19 ”Instruktioner” beskriver SKB att verksamheten regleras genom instruktioner. Av beskrivningen framgår bl.a. att det finns instruktion för bevakningscentralen och vad denna omfattar. Vidare framkommer att det finns kontrollprogram för tekniska installationer samt hänvisning dokumentation med mer utförlig information.

SSM:s bedömning

SSM noterar att preliminär plan för fysiskt skydd för utbyggt SFR inte omfattar byggskedet, det vill säga den period då SFR byggs ut. Av den preliminära planen framkommer emellertid att en särskild plan för fysiskt skydd kommer att upprättas och att denna kommer att beakta själva byggskedet. SSM bedömer i anslutning till detta att SKB till ansökan om att inleda uppförandet av tillkommande anläggningsdelar behöver inkomma med en sådan plan.

SSM noterar också att vissa uppgifter av central betydelse särredovisas i annan dokumentation, bl.a. hotbildsanalysen, uppgift om vilka utfall som skyddsåtgärderna är avsedda att förhindra samt värdering om vidtagna åtgärderna har avsedd effekt. SSM bedömer med avseende på detta att SKB i anslutning till att man lämnar in en ansökan om att inleda uppförandet av tillkommande anläggningsdelar behöver inkomma med mer sammanhållen plan för det fysiska skyddet med en bättre sammanhållen redovisning.

SSM noterar vidare att området informationssäkerhet är mycket sparsamt beskrivet. SSM bedömer därför att SKB inför nästa steg i processen att bygga ut anläggningen behöver redovisa en mer utvecklad sådan redovisningen.

SSM bedömer sammanfattningsvis att det i framtiden finns förutsättningar för SKB att uppfylla kraven i 2 kap. 11 § SSMFS 2008:1 för det färdigutbyggda SFR. SSM:s bedömning baseras på att SKB redovisat en preliminär plan för fysiskt skydd för utbyggt SFR (SKB dokID 1398066) och att denna på övergripande nivå beskriver organisation, ledning, bemanning och utformningen av områdesskyddet och skalskyddet.

9 Beredskap

Krav

Krav avseende beredskap finns i Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter om beredskap vid kärntekniska anläggningar (SSMFS 2014:2¹⁴).

Beskrivning av SKB:s redovisning

I F-PSAR allmän del 1 kapitel 3 redogör SKB för att den befintliga anläggningen SFR-1 inte omfattas av SSMFS 2008:15 enligt beslut från SSI daterat 2005-12-29 (SSI 2005/3696). I F-PSAR SFR – Allmän del 1 avsnitt 8 beskriver SKB att anläggningen inte har några scenarier kring utsläpp till omgivningen som kan ge en sådan påverkan att en särskild haveriberedskap behöver etableras. SKB har i en komplettering till ansökan (SSM2015-725-21) redogjort för erforderliga skyddsåtgärder vid händelser och förhållanden inom anläggningsområdet. SKB anger att driftorganisationen vid SFR har

¹⁴ SSMFS 2014:2 trädde i kraft 2015-01-01, det vill säga efter att SKB:s ansökan lämnades in, och har ersatt tidigare föreskrift SSMFS 2008:15 som ansökan refererar till.

ansvar för att säkerställa att det dygnet runt finns en bemanning för den tekniska beredskap vilket ersätter en kontinuerlig skiftgång. Det finns även en krisorganisation för SFR vilken träder i kraft i händelse av en kris (även vid kriser utan någon radiologisk aspekt).

SSM:s bedömning

SKB hänvisar i redovisningen till undantag från beredskapsföreskriften för befintligt SFR. SSM noterar att det beslut från SSI om undantag relaterar till föreskriften 2008:15 om beredskap vid vissa kärntekniska anläggningar och SSMFS 2008:1 2 kap. 12 – 13 §§, vilka har ersatts av SSMFS 2014:2. Vidare konstaterar SSM att SKB har ansökt om dispens från SSMFS 2014:2 för befintlig anläggning (SSM2014-643-3). SSM beslutade att tills vidare inte klassificera den befintliga anläggningen i någon beredskapskategori enligt SSMFS 2014:2 (SSM beslut SSM2014-643-8) varför frågan om dispens inte prövades. Befintligt SFR bedöms därmed inte vara en sådan kärnteknisk anläggning där det kan inträffa en händelse inne på anläggningen som motiverar att brådskande skyddsåtgärder vidtas för allmänheten utanför anläggningsområdet. Utbyggnaden är av sådan karaktär att SSM i denna granskning inte bedömer att det föreligger något behov av att ändra ställningstagandet avseende beredskapskategori. SSM kommer att göra en förnyad prövning av klassificeringen av SFR i beredskapskategori vid lämplig tidpunkt.

10 SKB:s organisation, ledning och styrning

I SKB:s ansökningshandlingar finns två bilagor som beskriver organisation, ledning och styrning under projektets olika skeden:

- Bilaga VOLS-Ansökan PSU: Verksamheten, organisationen, ledning och styrning för utbyggnaden av SFR – Ansökans- och systemhandlingsskedet (SKB dokID 1279878)
- Bilaga VOLS-Bygg PSU: Verksamheten, organisationen, ledning och styrning för utbyggnaden av SFR – Tillståndsprövnings- och detaljprojekteringsskedet samt byggskedet (SKB dokID 1280983)

Av kapitel 2 i Bilaga VOLS-Bygg PSU (SKB dokID 1280983) beskrivs genomförandeplanen för projektet, samt hantering av kommande säkerhetsredovisningar i projektets skeden:

- Ansökans- och systemhandlingsskede
- Tillståndsprövnings- och detaljprojekteringsskedena
- Byggskede
- Provdrift
- Avslutningsskede

10.1 Organisation, ekonomiska, administrativa och personella resurser

Krav

2 kap. 7 § SSMFS 2008:1

Bestämmelser om organisation samt ekonomiska, administrativa och personella resurser för den kärntekniska verksamheten finns i 13 § första stycket 2 lagen (1984:3) om kärnteknisk verksamhet. Av allmänna råd till 2 kap. 7 § SSMFS 2008:1 framgår att

organisationen bör vara utformad och bemannad så att den stödjer en säker och tillförlitlig drift av anläggningen, ett gott strålskydd och fysiskt skydd samt tillgodoser effektiva åtgärder vid en olycka. Organisationens ändamålsenlighet i dessa avseenden bör regelbundet utvärderas.

2 kap. 9 § 2 SSMFS 2008:1

Av 2 kap. 9 § 2 SSMFS2008:1 framgår att tillståndshavaren ska se till att ansvar, befogenheter och samarbetsförhållanden definieras och dokumenteras för den personal som arbetar med uppgifter av betydelse för säkerheten i den kärntekniska verksamheten.

2 kap. 9 § 3 SSMFS 2008:1

Av 2 kap 9 § 3 SSMFS 2008:1 framgår att tillståndshavaren ska se till att den kärntekniska verksamheten planeras så att tillräcklig tid och tillräckliga resurser avsätts för de säkerhetsåtgärder och den säkerhetsgranskning som behöver genomföras.

Beskrivning av SKB:s underlag

I Bilaga VOLS-Bygg PSU (SKB dokID 1280983) kapitel 3 beskriver SKB projektets organisationstillhörighet vid tidpunkten för ansökans inlämnande, men det framgår även att SKB sannolikt kommer att genomgå organisationsförändringar under de cirka tio år som projekt SFR-utbyggnad kommer att drivas, vilka kan komma att påverka den övergripande styrningen av projektet samt projektets organisatoriska tillhörighet inom företaget.

SKB har under de senaste tio åren genomgått en rad förändringar och utvecklat sin förmåga att driva kärntekniska anläggningar. SSM har i tillsynen (SKB dokID 1586755, SSM2015-2864) följt hur organisationens under den senaste tioårsperioden har utvecklats från att vara en liten forskningsorganisation med en beställningsfunktion för de driftsatta anläggningarna till att vara en organisation som utöver forskningsverksamheten har byggt upp en driftorganisation och förbereder organisationen för att leda och styra stora infrastrukturprojekt. SKB hade SFR utlagt på entreprenad hos Forsmark Kärnkraftsgrupp AB (FKA) fram till år 2009 och Clab var utlagt på entreprenad till Oskarshamns kraftgrupp AB (OKG) fram till 2007. SKB hade i planeringen inför övertagandet underskattat svårigheterna med att själva driva anläggningarna. SKB hade till exempel en övertro på sättet entreprenörerna (OKG och FKA) hade skött anläggningarna och SKB var inte förberedd på att hantera de brister som fanns i anläggningarna redan vid övertagandet. SKB:s förståelse för anläggningarnas status vid övertagandet överensstämde inte med verkligheten och komplexiteten i att driva anläggningarna hade även underskattats. Behovet av stödjande verksamhet som exempelvis teknisk kompetens, ingenjörskompetens, projektledningskompetens, kompetenssäkring, utbildning med mera synliggjordes inte i tillräcklig omfattning vid övertagandet då dessa kompetenser tillhörde avdelningar som var kvar hos OKG och FKA. Efter övertagandet har SKB:s personella resurser ökat stadigt till att idag totalt vara över 500 personer. (SKB dokID 1586755, SSM2015-2864).

Den orsaksanalys som SKB till följd av SSM:s tillsyn tog fram 2014 (SKB dokID 1447843) visade att det fanns utmaningar med att införa två olika anläggningar med olika kultur under styrningen av en tidigare forskningsinriktad beställarorganisation. Utmaningarna bestod även i att kända brister inte hanterades samtidigt som det fanns ett reaktivt förhållningssätt delvis beroende på avsaknad av tillräcklig fackkompetens på anläggningarna. Detta kombinerat med bristande systematik medförde att identifiering och hantering av brister gjordes på olika sätt beroende på anläggning eller projekt, istället för att styras upp i ett ändamålsenligt ledningssystem. SKB har under åren 2014-2017 genomfört ett förbättringsarbete (åtgärdsprogram) med syfte att komma till rätta med



utmaningarna avseende organisation, ledning, styrning och säkerhetskultur (SSM2015-2864).

I januari 2019 genomförde SKB en större omorganisation som kommer medföra förändringar för hur projekt SFR-U kommer att organiseras, beställas och drivas (SKB dokID 1679452 v. 3.0). Ansvarsfördelning kommer att påverkas genom att tydliggöra vilka delar som är beställare och utförare. Även säkerhetsledningen kommer att förändras i samband med att den nya organisationen träder i kraft och delas in i en anläggningsledning och en driftledning. I underlaget till organisationsförändringen framgår det att SKB har identifierat utvecklingsbehov vad gäller förmågan att genomföra större anläggningsprojekt, exempelvis vad gäller, beslutsprocessen för program/projekt, projektkultur och tydliggörande av beställar-, utförar- och mottagarroller avseende projektverksamhet. SSM har även i tillsyn (SSM2017-2053-1) observerat att det fanns förbättringsmöjligheter för att projektverksamheten inom SKB ska fungera optimalt ur ett strålsäkerhetsperspektiv, bland annat vad gäller gränssnitt och samverkan mellan projekt och linje, erfarenhetsåterföring samt arbetsförutsättningar för att sakkunniga ska kunna bidra med sin kompetens i projekt.

I och med att principerna för såväl projektstyrning och säkerhetsledning kommer att förändras i och med att SKB:s organisationsförändring träder i kraft i januari 2019 så är delar av informationen i SKB:s ansökningshandlingar inaktuellt.

I bilaga VOLS-Ansökan PSU (SKB dokID 1279878) kapitel 7 framgår att ansvar och befogenheter kopplade till nyckelbefattningar inom projektorganisationen har preciserats i projektets projektplaner samt vid behov i särskilda individuella delegeringar. Bemanningsplaner används för att prognostisera resursbehovet på fem års sikt. I Bilaga VOLS-Bygg PSU (avsnitt 7) beskriver SKB att för kommande skeden kommer befattningsbeskrivningar innehålla information om ansvar, befogenheter och kompetenskrav.

Remissinstansers synpunkter

Östhammars kommun

Östhammars kommun anför (SSM 2015-1640-33) att man även följer prövningen angående ett slutförvar för använt kärnbränsle och har, i yttranden över ansökan påpekat att stora krav kommer att ställas på organisationen samt dess ledning och styrning i samband med att verksamheten förändras från forskning till byggnation, drift och slutlig förslutning. Detsamma gäller för SFR som ska gå från drift/planering av utbyggnaden till drift/byggnation, drift och slutlig förslutning. I underrapporterna till F-PSAR finns en rad rekommendationer som författarna tagit fram för användning i säkerhetsrapporten. Hur många av dessa rekommendationer följs respektive inte följs i säkerhetsanalysen? För att tydliggöra hur rekommendationerna följs anser Östhammars kommun det viktigt att den ”röda tråden” för rekommendationerna beskrivs; från underrapporter till säkerhetsanalys, bygghandling, bygge och åter till underrapport.

SSM:s beaktande av remissynpunkten

SSM delar Östhammars kommuns synpunkt gällande de rekommendationer som författarna till underrapporterna till F-PSAR har tagit fram för användning i säkerhetsrapporten. För att redovisningen av rekommendationerna ska vara trovärdig behöver SKB redovisa vilka specifika rekommendationer som följts. Det behöver även vara spårbart på vilket sätt rekommendationerna har följts genom processen.

SSM:s bedömning

SSM konstaterar att SKB:s organisation under de senaste tio åren har genomgått en betydande utveckling vad gäller organisatoriska förhållanden samt ekonomiska och personella resurser. Vid tidpunkten för denna granskning befinner sig SKB i en omställningsfas där en större organisationsförändring implementeras under 2019. Denna organisationsförändring syftar bland annat till att åtgärda utmaningar med projektstyrning genom att genomföra anpassningar som tydliggör beställar-, utförar- och mottagarroller avseende projektverksamheten. SSM ser att SKB sedan 2014 aktivt arbetat med att utvärdera organisationens ändamålsenlighet, exempelvis med en orsaksanalys år 2014, löpande arbete med säkerhetskulturundersökningar och i planeringen av den organisationsförändring som genomförs 2019. Med anledning av de utvecklingsbehov som framkommit och de förändringar som har genomförts under åren 2014-2019 så ger de ansökningshandlingar som beskriver organisation, ledning och styrning av projekt SFR-utbyggnad i vissa delar inte en aktuell bild. I granskningen av ansökningshandlingarna konstaterar dock SSM att dessa innehåller den förväntade informationen om hur projektorganisationen har styrts under ansökansskedet samt principer för projektstyrningen för kommande projektskeden, men att det i redovisningen inte är helt tydligt hur projektet ska samverka med linjen i de kommande skedena och hur ansvarsförhållandena ser ut mellan den befintlig anläggning och projektet.

I SSM:s tillsyn av hur anläggningen har drivits, underhållits, analyserats och verifierats i förhållande till konstruktionskriterier (se exempelvis ärenden dnr SSM2012-4914-7, SSM2012-2658-6, SSM2013-2073-18, SSM2014-54-23, SSM2015-2432-26) så bedömer SSM att det har skett en positiv utveckling vad gäller SKB:s förutsättningar att som tillståndshavare ta sitt strålsäkerhetsansvar vilket är i överrensstämmelse med den utveckling av organisation och personella resurser som SKB beskriver har skett sedan övertagandet av den operativa driften av SFR år 2009.

Mot bakgrund av ovanstående så bedömer SSM att SKB har förutsättningar att uppfylla de grundläggande kraven om att organisationen ska vara utformad och bemannad så att den stödjer en säker och tillförlitlig drift av anläggningen och att organisationens ändamålsenlighet regelbundet utvärderas enligt 2 kap 7 § SSMFS 2008:1. Med anledning av de utvärderingar av organisationen som SKB har gjort under de senaste åren samt de observationer som framkommit vid tillsyn så bedömer SSM att SKB inför en ansökan om uppförande av anläggningen behöver redovisa hur de erfarenheter och utmaningar som har framkommit har omhändertagits och omsatts så att organisationen stödjer en säker och tillförlitlig drift av anläggningen. Redovisningen behöver även beskriva hur SKB avser att planera för att organisera verksamheten på lång sikt, vilket kommer att ligga till grund för bedömningar om SKB:s förmåga att uppföra och ta i drift den utbyggda anläggningen.

SKB anger att projektorganisationen använder sig av bemanningsplaner med en planeringshorisont på fem års sikt. SKB har historiskt sett, vid övertagandet av den operativa driften av SFR, underskattat komplexiteten och bemanningsbehovet och SSM har även under de senaste årens tillsyn (SSM2015-3622 och SSM2017-2053-1) noterat utmaningar vad gäller arbetssätt i kompetenssäkringsarbetet. SSM bedömer att SKB för projektet har förutsättningar att uppfylla kraven enligt 2 kap. 9 § 3 SSMFS 2008:1, men att det behöver förtydligas hur SKB ska arbeta för att tillse att hela organisationen (även beställande, mottagande och granskande delar som berörs av projektet) planeras så att tillräcklig tid och tillräckliga resurser avsätts för de säkerhetsåtgärder och den säkerhetsgranskning som behöver genomföras.

Vidare bedömer SSM att SKB har förutsättningar att uppfylla kraven enligt 2 kap. 9 § 2 SSMFS 2008:1 då ansökningshandlingarna innehåller en övergripande beskrivning av

roller och ansvar inom projekt SFR-Utbyggnad samt övriga viktiga aktörer. Inför en eventuell ansökan om uppförande av anläggningen behöver säkerhetsredovisningen kompletteras med en övergripande beskrivning av hur befogenheter och samarbetsförhållanden definieras och dokumenteras för den personal som arbetar med uppgifter av betydelse för säkerheten i den kärntekniska verksamheten. SKB behöver även tydligare beskriva ansvars- och samarbetsförhållandena mellan projektorganisationen och driftorganisationen vid SFR kommer att se ut under de olika faserna av anläggningens utveckling och vilka förutsättningar som ges för att erfarenheter och viktig information från sakkunniga i linjen ska kunna omhändertas.

10.2 Ledningssystem och kvalitetssäkring

Krav

2 kap. 8 § SSMFS 2008:1

Av 2 kap. 8 § SSMFS2008:1 framgår att den kärntekniska verksamheten ska ledas, styras, utvärderas och utvecklas med stöd av ett enhetligt ledningssystem som är så utformat att kraven på säkerhet, strålskydd och fysiskt skydd tillgodoses samordnat med övriga krav på verksamheten. Ledningssystemet, inklusive tillhörande rutiner och instruktioner, ska hållas aktuellt och vara dokumenterat. Tillämpningen av ledningssystemet, dess ändamålsenlighet och effektivitet ska systematiskt och periodiskt undersökas av en revisionsfunktion som ska ha en fristående ställning i förhållande till de verksamheter som blir föremål för revision. Ett fastställt revisionsprogram ska finnas vid anläggningen.

2 kap. 9 § 8 SSMFS 2008:1

Av 2 kap. 9 § SSMFS2008:1 framgår att tillståndshavaren ska se till att säkerheten i den kärntekniska verksamheten rutinemässigt övervakas och följs upp, avvikelser identifieras och hanteras så att säkerheten upprätthålls och fortlöpande utvecklas enligt de mål och riktlinjer som gäller.

Beskrivning av SKB:s underlag

Ledningssystemet omfattar styrande dokument såsom rutiner, instruktioner, säkerhetstekniska driftförutsättningar (STF) och drift- och störningsinstruktioner. Verksamheten styrs även av de krav som framgår av Transport- och avfallshandboken. För att säkerställa att avfall som deponeras i SFR uppfyller de olika krav tas det fram dokumenterade acceptanskriterier för avfall (WAC) som beskriver härledning och bakgrund till dessa krav, samt hur kraven ska verifieras och i övrigt implementeras, så väl hos avfallsproducenter som hos SKB. Av kapitel 8 i bilaga VOLS-Bygg PSU framgår att projekt SFR-Utbyggnad kommer att använda SKB:s ledningssystem och komplettera med platsspecifika tillämpningar där så erfordras. SKB beskriver (SKB dokID 1279878) att ledningssystemet är uppbyggt enligt kraven i ISO 9001 och ISO 14001. Vid tidpunkten för granskningen är dock inte ledningssystemet certifierat enligt dessa standarder för kvalitets- och miljöledning.

I Bilaga VOLS-Ansökan PSU (SKB dokID 1279878) avsnitt 8.4 beskriver SKB att bolagets internrevisionsfunktion är organiserad på avdelning för Säkerhet, kvalitet och miljö (S) och att internrevisioner genomförs enligt ett fastställt revisionsprogram som även har inkluderat projekt SFR-Utbyggnad.

Av avsnitt 5 i bilaga VOLS-Ansökan PSU (SKB dokID 1279878) framgår det projektet arbetar systematiskt med kravhantering och att verifierings- och valideringsaktiviteter (VoV) kommer att genomföras som kontroll mot överliggande system- och beställarkrav.

Projektet ansvarar för att avvikelser mot kravbilden i konstruktionen som identifieras genomgår säkerhetsgranskning och att avsteg som påverkar säkerhetsredovisningen anmäls till SSM. Vissa principiellt viktiga beslut om utformningen dokumenterats i så kallade teknikbeslut, vilket innebär en värdering av hur överordnade krav uppfylls samt andra kriterier och motiv. Projektet håller även på att bygga upp en kravdatabas för att dokumentera spårbarhet mellan krav och kravens ursprung och verifiering. Under detaljprojekteringen kommer kravdatabasen att användas, hållas uppdaterad och fyllas på med mer detaljerade krav. Av avsnitt 8 framgår att för säkerhetsanalys med avseende på säkerhet efter förslutning har projektet använt en särskild kvalitetsplan för de krav som gällt vid framtagande av säkerhetsanalysen som redovisas i F-PSAR.

SSM:s bedömning

SKB hänvisar i flera delar av redovisningen till befintligt ledningssystem som styr verksamheten vid den redan tillståndsgivna kärntekniska verksamheten. Projekt SFR-Utbyggnad ansvarar för att ta fram kravbilden för den planerade anläggningen och att kravbilden successivt kommer att detaljeras i kommande projekteringsskeden, vilket ger förutsättningar för att verksamheten kommer kunna ledas, styras, utvärderas och utvecklas med stöd av ett ledningssystem som säkerställer att kraven på säkerhet, strålskydd och fysiskt skydd uppfylls. Av SKB:s redovisning framgår att ledningssystemet för kvalitet och miljö är uppbyggt enligt kraven i ISO 9001 och ISO 14001, vilket medför att verksamheten fortlöpande kommer att utvärderas och utvärderas samt att ledningssystemet ska hållas aktuellt. För projekt SFR-utbyggnad kommer SKB genomföra regelbundna internrevisioner för att utvärdera projektorganisationens ändamålsenlighet och effektivitet. Mot bakgrund av ovanstående bedömer SSM att SKB har förutsättningar att uppfylla de grundläggande kraven på ledning och styrning enligt 2 kap. 8 § SSMFS 2008:1. SSM har i denna granskning inte bedömt ledningssystemets efterlevnad.

SKB har i redovisningen pekat på att det i de planerade verifierings- och valideringsaktiviteterna (VoV) ingår att utföra kontroll mot överliggande system- och beställarkrav vilket ger förutsättningar för att kunna identifiera avvikelser i utförandet. Det är projektet som ansvarar för de avvikelser mot kravbilden i konstruktionen, men det är dock inte helt tydligt vilka arbetssätt som kommer att tillämpas för att hantera de olika typer av avvikelser som kan komma att identifieras och vilka förberedelser som görs inför uppförandeskedet för att kunna hantera detta. SSM bedömer med anledning av detta att SKB under projekteringen av utbyggt SFR har förutsättningar att uppfylla kraven i 2 kap. 9 § 8 SSMFS 2008:1 om att säkerheten i den kärntekniska verksamheten övervakas och följs upp och att avvikelser identifieras, men att SKB inför en ansökan om uppförande av anläggningen behöver förtydliga hur SKB planerar att hantera avvikelser som uppkommer under uppförande och provdrift.

10.3 Upphandling av produkter och tjänster

Krav

2 kap. 8a § SSMFS 2008:1

Av 2 kap. 8a § SSMFS2008:1 framgår att upphandling av produkter och tjänster av betydelse för säkerheten i den kärntekniska verksamheten ska vara reglerad i ledningssystemet. Anskaffningar av sådana produkter och tjänster samt uppföljning och utvärdering av hur dessa har fungerat ska genomföras enligt fastställda kriterier som säkerställer att produkterna och tjänsterna håller tillräcklig kvalitet med hänsyn till säkerheten.

Beskrivning av SKB:s underlag

Av bilaga VOLS-Bygg PSU avsnitt 8.3 framgår att som en del av upphandlingsförfarandet av de olika entreprenaderna kommer leverantörsbedömningar att göras i enlighet med SKB:s rutiner. För de leverantörer som utför uppdrag med direkt betydelse för säkerheten i den kärntekniska anläggningen kommer revisioner genomföras, i enlighet med metodik och bedömningsgrunder i ledningssystemet, för att bedöma leverantörernas förmåga att leverera produkter och tjänster som svarar mot SKB:s krav.

Remissinstansers synpunkter

Östhammars kommun

Det finns en rad olika kritiska punkter där SKB är beroende av externa leverantörer. Detta gäller bland annat för datorprogram för beräkningar som tillämpas i säkerhetsanalyser. Det gäller också för betongbruk, där tillsatsmedel som ingår i aktuellt recept kan fasas ut från marknaden av tillverkaren. Detta är en vanlig utvecklingstrend inom byggindustrin där nya kemiska produkter introduceras, bland annat inom cement- och betongteknologier. Det krävs en förberedelse inom SKB:s organisation för hur utgående produkter på marknaden ska kunna ersättas med andra likvärdiga.

SSM:s beaktande av remissynpunkten

SSM instämmer med Östhammars kommuns vad gäller yttrandet att det krävs "förberedelse för hur utgående produkter på marknaden ska kunna ersätta med andra likvärdiga". För att klara denna utmaning är det väsentligt att det finns tillräcklig kompetens för att beställa, leda och värdera arbetet. Tillräcklig kompetens innebär både kunskap om specifika produkter och funktioner samt god kunskap om utveckling av desamma. Tillräcklig kompetens innebär även kunskap om hur utvärderingar ska genomföras och analyseras.

SSM:s bedömning

Leverantörsbedömningar och revisioner av leverantörernas förmåga att leverera produkter och tjänster av betydelse för strålsäkerheten som svarar mot SKB:s krav kommer att genomföras i enlighet med rutiner i SKB:s ledningssystem. I ledningssystemet kommer det att finnas metodik och bedömningsgrunder för utvärdering och uppföljning av om de anskaffade produkterna och tjänsterna håller tillräcklig kvalitet med hänsyn till säkerheten. Mot bakgrund av detta bedömer SSM att SKB har förutsättningar att uppfylla kraven enligt 2 kap 8a§ i SSMFS 2008:1.

10.4 Kompetenssäkring

Krav

4 kap. 2 § SSMFS 2008:1

Av bilaga 2 till 4 kap. 2 § SSMFS 2008:1 framgår det att det i säkerhetsredovisningen ska finnas en redovisning av principerna för anläggningens system för bemanning samt utbildning och kompetensprövning av personal med uppgifter av betydelse för säkerheten i den kärntekniska verksamheten.

2 kap 9 § 5 SSMFS2008:1

Av 2 kap 9 § 5 SSMFS2008:1 framgår att tillståndshavaren ska se till att personalen samt entreprenörer och annan inhyrd personal innehar den kompetens och lämplighet i övrigt som behövs för de arbetsuppgifter som har betydelse för säkerheten i den kärntekniska verksamheten samt att detta finns dokumenterat. Av allmänna råd till 9 § Punkt 5 framgår

att kompetens- och bemanningsplaner bör vara framtagna på flera års sikt och att en systematisk metod bör användas för att analysera behovet av personal och kompetens. Metoden bör omfatta arbetsuppgiftsanalyser för att identifiera bemannings- och kompetenskraven samt utbildningsbehoven. En systematisk kompetensuppföljning bör genomföras varje år. Vidare beskrivs att en noggrann avvägning görs mellan utnyttjandet av egen personal respektive av entreprenörer och annan inhyrd personal. I en anläggningsorganisation bör den kompetens alltid finnas som behövs för att kunna beställa, leda och värdera resultatet av arbetsuppgifter som har betydelse för säkerheten i den kärntekniska verksamheten och som utförs av entreprenörer eller av annan inhyrd personal.

Beskrivning av SKB:s underlag

I bilaga VOLS-Ansökan PSU (SKB dokID 1279878, kapitel 7.2) framgår att vid upphandling av konsultresurser har det i uppdragsbeskrivningar ställts krav på kompetens hos den inhyrda personalen. Projektet arbetar med kompetenssäkring i enlighet med rutiner i SKB:s ledningssystem, vilket innebär att bemanningsplaner tas fram för den kommande femårsperioden och revideras årligen.

I Bilaga VOLS-Bygg PSU (SKB dokID 1280983, avsnitt 7) beskriver SKB att projektet som en del av arbetet med kompetenssäkring, utöver framtagande av femåriga bemanningsplaner, kommer att ta fram befattningsbeskrivningar som ställer krav på kompetens. Kompetensen kommer att följas upp årligen för all personal, inklusive inhyrda, som har arbetsuppgifter med betydelse för den kärntekniska säkerheten. SKB redovisar att projektet kommer behöva bemannas med kompetenser inom en rad områden, så som exempelvis: byggledning inom berg, anläggning och installationer; undersökning, analys och modellering; strålsäkerhet under drift respektive efter förslutning; kvalitets-säkring och driftsättning. SKB redovisar vidare att projektet planerar att anlita externa resurser för framtagande av handlingar, utredningar etc. samt för byggnads- och installationsarbeten, men det framgår inte vilken avvägning SKB gör mellan utnyttjandet av egen personal respektive av entreprenörer och annan inhyrd personal. Det framgår inte heller vilken analys som har gjorts av de nya krav som kommer att ställas på SKB:s personal vad gäller kompetens att beställa, leda och värdera det stora entreprenadprojekt som en utbyggnad av SFR kommer att innebära.

SKB har i F-PSAR allmän del kapitel 4 beskrivit principer för bemanning och kompetens-säkring när anläggningen har tagits i drift. Kompetensbehov för driften av SFR identifieras med arbetsuppgiftsanalyser och kompetensbehov analyseras med avseende på kopplingar till befattningar och avdelningar/enheter. Personalens kompetens prövas årligen genom gapanalys vid utvecklingssamtal mellan chef och medarbetare. Identifierade kompetensgap ska åtgärdas, exempelvis med utbildningsinsatser, konsultlösningar eller nyrekrytering. I en tillsynsinsats (SSM2015-3622-5) har SSM för identifierat vissa brister i arbetssätt och ledningssystemets rutiner för kompetenssäkring.

Remissinstansers synpunkter

Östhammars kommun

Remissinstansen betonar att hur SKB planerar att upprätthålla god kompetensförsörjning inom företaget i samband med att verksamheten förändras samt vid generationsskifte har också betydelse

SSM:s beaktande av remissynpunkten

SSM instämmer med Östhammars kommuns vad gäller yttrande att upprätthålla god kompetensförsörjning inom företaget i samband med förändrad verksamhet och generationsskifte. Det ska säkerställas att de som arbetar i verksamheten har den

kompetens och lämplighet i övrigt som behövs för arbetsuppgifter som har betydelse för strålsäkerheten. SKB redovisar att SFR:s kompetensförsörjningsarbete styrs i ledningssystemet och att man har en process för detta. Det är dock i hög grad viktigt att ta hänsyn till vad Östhammars kommun poängterar då det kan vara specifika omständigheter för SFR jämfört med SKB och Vattenfall, där man enligt redovisningen anger att utbildningsfrågor administreras. SKB behöver använda bemanningsplaner med en planeringshorisont längre än fem år, vilket varit fallet i projektorganisationen. SSM har i sin egen granskning lyft flera områden där SKB behöver komplettera sin kommande redovisning angående kompetensförsörjning.

SSM:s bedömning

SKB har redovisat att såväl projektet och den driftsatta anläggningen kommer att arbeta med kompetenssäkring i enlighet med SKB:s ledningssystem vilket omfattar såväl bemanningsanalyser, arbetsuppgiftsanalyser och årlig analys och uppföljning av kompetensgap. SSM bedömer att SKB i nuvarande skede av prövningen har förutsättningar att uppfylla kraven i 2 kap. 9 § 8 SSMFS 2008:1, detta förutsatt att SKB har åtgärdat de brister i arbetssätt och ledningssystem som identifierades vid en tillsynsinsats som SSM genomförde år 2016 (SSM2015-3622-5). SKB behöver även inför en ansökan om uppförande av anläggningen:

- Redovisa hur SKB ställer krav på *lämplighet i övrigt* för egen och inhyrd personal (i enlighet med 2 kap. 9 § 8 SSMFS 2008:1) med utgångspunkt från de förhållanden som råder i anläggningen under uppförande, provdrift och drift av den utbyggda anläggningen.
- Tydliggöra vilken strategi SKB har för att säkerställa att det finns kompetens för att kunna beställa, leda och värdera resultatet av arbetsuppgifter som har betydelse för säkerheten i den kärntekniska verksamheten och som utförs av entreprenörer eller av annan inhyrd personal under de kommande skedena av projektet.
- Tydliggöra vilken avvägning SKB gör mellan utnyttjandet av egen personal respektive av entreprenörer och annan inhyrd personal.

10.5 Erfarenhetsåterföring

Krav

4 kap. 2 § SSMFS 2008:1

Av bilaga 2 till 4 kap. 2 § SSMFS 2008:1 framgår det att det i säkerhetsredovisningen ska finnas en redovisning av principerna för anläggningens system för erfarenhetsåterföring. Av tillhörande allmänna råd framgår att principer för att ta om hand erfarenheter och utveckla verksamheten bör vara beskrivna i säkerhetsredovisningen.

2 kap. 9 § 7 SSMFS 2008:1

Av 2 kap. 9 § 7 SSMFS2008:1 framgår att tillståndshavaren ska se till att erfarenheter av betydelse för säkerheten i den egna kärntekniska verksamheten och från liknande sådana verksamheter fortlöpande tas tillvara och delges berörd personal. Av de allmänna råden till 2 kap. 9 § 7 framgår vidare att ändamålsenliga och dokumenterade rutiner bör finnas. Information om erfarenheter av betydelse för säkerheten och vidtagna åtgärder bör vara dokumenterad och lagrad så att den är lätt sökbar och tillgänglig för berörd personal. Det bör också beaktas att säkerheten kan främjas av att andra tillståndshavare, entreprenörer och leverantörer får del av erfarenheter som är relevanta för deras verksamhet.

Beskrivning av SKB:s underlag

I Bilaga VOLS-Bygg PSU avsnitt 7 beskriver SKB att det som en del av projektets kompetensförsörjningsstrategi kommer att bemanna projektet med resurser som har olika relevanta erfarenheter, exempelvis drift av befintlig anläggning, från kärnbränsleprojektet eller från tidigare projekteringsfaser för utbyggnaden av SFR.

I bilaga VOLS-Ansökan PSU (SKB dokID 1279878, kapitel 10) resonerar SKB om hur erfarenheter från andra stora anläggningsprojekt, internt och externt, kan erhållas. SKB anser att de viktigaste komponenterna är att inhämta erfarenheter från befintlig anläggning och att nyttja resurser med relevanta erfarenheter inom och utom SKB. SKB beskriver de tillvägagångssätt som under ansökans- och systemhandlingsskedet har tillämpats för att inhämta erfarenheter från den befintliga anläggningen SFR, men det finns i underlaget ingen beskrivning om hur SKB i kommande skeden för projekt SFR-Utbyggnad kommer att arbeta för att tillvarata dessa erfarenheter.

Av F-PSAR Allmän del 1 kapitel 4 (SKB dokID 1254181) framgår att rutiner för erfarenhetsåterföring finns beskrivet i ledningssystemet och det finns en erfarenhetsgrupp som kontinuerligt arbetar med detta för de driftsatta anläggningarna. Vid SFR är det anläggningschefen som ansvarar för att driftverksamhetens erfarenheter dokumenteras och följs upp.

SSM:s bedömning

SKB har etablerade rutiner för erfarenhetsåterföring där anläggningschefen vid SFR har ett utpekat ansvar för att driftverksamhetens erfarenheter dokumenteras och följs upp. Under ansökans- och systemhandlingsskede har SKB inhämtat erfarenheter från befintlig anläggning, men det framgår inte vilka rutiner som styr detta och hur erfarenheterna dokumenteras och följs upp för att komma till användning i projektets kommande skeden. Redovisningen innehåller inte heller information om vilka arbetsätt som kommer att tillämpas för att fortlöpande tillvarata erfarenheter under kommande skeden. SSM har även i en tillsynsinsats om hantering av säkerhetsfrågor i projekt (SSM2017-2053-1) observerat förbättringspotential vad gäller SKB:s arbetsätt för att systematiskt tillvarata erfarenheter i och mellan projekt.

Mot bakgrund av detta bedömer SSM att SKB har förutsättningar att uppfylla kraven enligt 2 kap. 9 § 7 SSMFS 2008:1, men att SKB behöver tydliggöra vilka rutiner och arbetsätt som tillämpas för att tillvarata erfarenheter och delge dessa till berörd personal i såväl projekt SFR-U, linjen och till andra delar av SKB:s organisation. Med anledning av att flera av SSM:s tillsynsärenden (se exempelvis ärenden dnr SSM2012-4914-7, SSM2012-2658-6, SSM2013-2073-18, SSM2014-54-23, SSM2015-2432-26) visar att det finns flera frågor av strålsäkerhetsbetydelse att dra erfarenheter från och beakta i konstruktion, analys och uppförandet av de nya anläggningsdelarna. Det finns således skäl för SKB att arbeta systematiskt med att tillvarata dessa erfarenheter.

10.6 Arbetsförutsättningar

Krav

2 kap. 9 § 6 SSMFS 2008:1

Av 2 kap. 9 § 6 SSMFS2008:1 framgår att tillståndshavaren ska se till att den som arbetar i den kärntekniska verksamheten ges de förutsättningar som behövs för att kunna arbeta på ett säkert sätt.

3 kap. 3 § SSMFS 2008:1

Av 3 kap. 3 § SSMFS2008:1 framgår att en anläggnings konstruktion ska vara anpassad till personalens förmåga att på ett säkert sätt kunna övervaka och hantera anläggningen samt de driftstörningar och haverier som kan inträffa. Konstruktionslösningar ska vara utvärderade i dessa avseenden.

Beskrivning av SKB:s underlag

I bilaga VOLS-Ansökan PSU (SKB dokID 1279878) kapitel 6 anger SKB att MTO-arbetet¹⁵ vid anläggningsändringar och nykonstruktion är styrt i ledningssystemet. Det finns en schematisk beskrivning av arbets sätt i de olika skedena.

Avseende ansökans och systemhandlingsskedet beskriver SKB att en nulägesanalys med erfarenheter från driften av befintlig anläggning, tillsammans med funktions- och uppgiftsanalyser samt systemspecifika MTO-analyser har utgjort grunden för att ta fram MTO-relaterade designprinciper och riktlinjer inför framtagande av systemhandlingarna. Designprinciperna avser teknisk utformning och organisatoriska aspekter som exempelvis skiftarbete, ledningssystem och hjälpfunktioner. I Bilaga VOLS-Bygg PSU avsnitt 6 framgår att fokus för MTO-arbetet under kommande skeden är att ta fram detaljerade MTO-krav samt verifiering och validering av dessa. Under provdriften ska drifterfarenheter samlas in inför ansökan om att få ta den utbyggda anläggningen i rutinmässig drift.

I konstruktionsförutsättningarna i F-PSAR allmän del kapitel 3 anges att anläggningens ska utformas så att risker för aktivitetsspridning och persondoser minimeras. I detta ingår funktioner för hantering av avfall, aktivitetsövervakning och larm. I F-PSAR Allmän del 1 kapitel 7 redovisat vilka förebyggande strålskyddsåtgärder som har beaktats vid utformning av anläggningen, men den säkerhetsanalys som finns redovisat i kapitel 8 beskriver inte fullt ut vilka händelser som kan förväntas inträffa under anläggningens normaldrift (H1), förväntade händelser under anläggningens livstid (H2) och ej förväntade händelser (H3).

SSM:s bedömning

SSM bedömer att den redovisade arbetsprocessen för anläggningsändringar och nykonstruktion ger SKB förutsättningar att utforma anläggningen och dess övervaknings- och manöveranordningar med beaktandet av samspelet mellan människa, teknik och organisation. Arbetsprocessen innefattar även en utvärderingsfas vilket ger förutsättningar för att utvärdera att konstruktionen är anpassad till personalens förmåga. SSM bedömer att SKB i designprocessen för den utbyggda anläggningen har förutsättningar att uppfylla kraven enligt 2 kap 9 § 6 SSMFS 2008:1 och 3 kap 3 § SSMFS 2008:1, men att SKB behöver beakta resultaten av en komplett händelseinventering som även beaktar händelseklass H1-H3 för att fullt ut kunna analysera, utvärdera och förbättra konstruktionen så att den anpassas till personalens förmåga att på ett säkert sätt kunna övervaka och hantera anläggningen samt de driftstörningar och haverier som kan inträffa, (se vidare SSM:s bedömningar av säkerhetsanalysen i kapitel 4 i denna rapport). Inför en ansökan om uppförande av anläggningen bör SKB även tydliggöra vilka organisatoriska aspekter som identifierats vara viktiga att beakta för att de som arbetar i anläggningen ska ha förutsättningar att arbeta på ett säkerhet sätt.

¹⁵ MTO = samspelet mellan människa, teknik och organisation.

11 Ekonomisk säkerhet för ersättning vid radiologiska olyckor

Krav

Enligt atomansvarighetslagen (SFS 1968:45) bär innehavaren av en kärnteknisk anläggning hela ansvaret för de skador som uppkommer i samband med driften av anläggningen. Ansvaret ska vara täckt av en försäkring eller annan ekonomisk säkerhet. Riksdagen har godkänt att Sverige tillträder ett ändringsprotokoll till Paris- och tilläggskonventionerna om skadeståndsansvar på atomenergins område (2004-års protokoll). Ändringsprotokollet innehåller regler om utökat ansvar för skador i händelse av radiologiska olyckor. För att uppfylla de åtaganden som följer av ändringsprotokollet har riksdagen stiftat lagen (2010:950) om ansvar och ersättning vid radiologiska olyckor. Lagen träder i kraft den dag regeringen bestämmer och den kommer då att ersätta atomansvarighetslagen.

Beskrivning av SKB:s redovisning

SKB redogör i ansökans toppdokument (SKB dokID 1359931) för att bolaget tecknat erforderliga försäkringar för att täcka eventuell atomskada enligt 22 § atomansvarighetslagen (1968:45). SKB anger också att bolaget i samband med att lagen (2010:950) om ansvar och ersättning vid radiologiska olyckor träder i kraft kommer att teckna de ytterligare försäkringar som föranleds av de nya kraven.

SSM:s bedömning

SSM bedömer utifrån redovisningen att SKB uppfyller krav på ansvarsförsäkring eller annan ekonomisk säkerhet för ersättning vid radiologiska olyckor. Dels genom att ha tecknat erforderliga försäkringar enligt 22 § atomansvarighetslagen (1968:45), dels genom att ha redovisat intentioner att teckna de ytterligare försäkringar som föranleds ikraftträdande av lagen (2010:950) om ansvar och ersättning vid radiologiska olyckor.

12 Inventariet av radioaktiva ämnen och avfall som uppstår i anläggningen

12.1 Källtermer för spridningsberäkningar under driftfasen

Krav

Av Bilaga 2 till SSMFS 2008:1 framgår att säkerhetsredovisningen enligt 4 kap. 2 § ska innehålla en redovisning av underlag för bestämning av mängder och slag av radioaktiva ämnen som kan frigöras vid radiologiska olyckor, s.k. interna och externa källtermer.

Beskrivning av SKB:s redovisning

I F-PSAR allmän del 1 kapitel 6 redovisar SKB radioaktiva ämnen i ett utbyggt SFR. För källtermerna som används i säkerhetsanalysen för driftskedet hänvisar SKB till F-PSAR kapitel 8 om säkerhetsanalys. I denna hänvisas till Appelgren och Hellström (1986) och referensrapporten SKB dokID 1370971 (avsnitt 4.1.4). I dessa två referenser beskrivs omgivningskonsekvenser vid utsläpp till omgivningen utifrån en källterm.

I en komplettering till ansökan (SKB dokID 1559801) beskriver SKB att källtermen för onormal händelse under drift baseras på den högsta beräknade nuklidspecifika koncentrationen i relevanta avfallskollin utifrån deras typbeskrivningar. De högst beräknade aktivitetsnivåerna används för att erhålla den största omgivningspåverkan från en specifik händelse. Aktiviteten i ett kolli begränsas av anläggningens konstruktion och

strålsäkerhet under drift. Därutöver framför SKB att bolaget inför PSAR kommer att se över källtermerna för beräkning av omgivningspåverkan som en del i det metodikpaket för säkerhetsanalys som är under framtagande.

SSM:s bedömning

SSM noterar att SKB i kapitel 6 i F-PSAR om radioaktiva ämnen inte uttryckligen redovisar de källtermer som ligger till grund för beräkningarna av spridning av radioaktiva ämnen i samband med säkerhetsanalysen under drift. För redovisning av källtermer hänvisar SKB i avsnitt 6.6 i F-PSAR istället vidare till referensrapporter för säkerhetsanalysen för driftskedet i kapitel 8. SSM bedömer att det är fördelaktigt om källtermerna redovisas i samband med redovisningen av radioaktiva ämnen alternativt att en tydlig referens anges till redovisningen av källtermerna och underliggande resonemang.

SSM noterar att SKB i en komplettering till ansökan anger att källtermerna för beräkning av omgivningspåverkan ska ses över inför PSAR (SKB dokID 1559801).

12.2 Kärnämne och kärnavfall

Krav

Av Bilaga 2 till 4 kap. 2 § SSMFS 2008:1 framgår att säkerhetsredovisningen enligt 4 kap. 2 § ska innehålla en redovisning av planer för hantering vid anläggningen och fortsatt omhändertagande av kärnämne och kärnavfall enligt 6 kap. 3 §. Enligt 6 kap. 6 § ska även beskrivningar av avfallet ingå i säkerhetsredovisningen samt beskrivningar av hur hanteringen av kärnämne och kärnavfall sker på anläggningen med hänsyn till säkerhet och strålskydd och efterföljande hantering. Därutöver krävs en redovisning av krav på mätmetoder för bestämning av mängder och slag av radioaktiva ämnen i kärnavfall enligt 6 kap. 9 §. Redovisning och härledning av de acceptanskriterier som gäller för mottagning av kärnämne eller kärnavfall från andra anläggningar enligt 6 kap. 11-12 §§.

Beskrivning av SKB:s redovisning

Avfall som genereras i SFR

Hanteringen av radioaktivt avfall som genereras i SFR beskrivs i FPSAR allmän del 1 kap 4 och kap 5 samt i SKB:s ledningssystem. SKB redovisar att det vid normaldrift inte uppkommer något radioaktivt avfall vid SFR och att det därför inte behövs någon avfallsplan enligt 6 kap. 3 § SSMFS 2008:1. Vid onormala händelser som ger upphov till radioaktivt avfall upprättas en särskild avfallsplan enligt 6 kap. 4 § SSMFS 2008:1.

Acceptanskriterier

Acceptanskriterier behandlas i FPSAR allmän del 1 kapitel 3 – acceptanskriterier för avfall projekt SFR-utbyggnad samt i underlagsrapporten Acceptanskriterier för avfall, Projekt SFR-utbyggnad (SKB dokID 1368638).

SKB har i en underlagsrapport redovisat acceptanskriterier för avfall som ska gälla då den utbyggda delen av förvaret tas i drift. Redovisningen består av beskrivning av acceptanskriterierna för avfall i SFR tillsammans med en bakgrund och härledning av kriterierna samt hanteringen kring verifiering av att acceptanskriterierna uppfylls. Acceptanskriterierna redovisas som allmänna krav, radiologiska krav, kemiska och fysikaliska krav samt mekaniska krav.

SKB har även redovisat koncepter till blivande typbeskrivningar enligt 6 kap. 6 §.

Efter att ansökan lämnades in har SKB beslutat att ändra strategi på så sätt att slutförvaring av hela BWR reaktortankar inte längre är aktuellt. Konsekvensen blir att reaktortankarna i stället ska segmenteras och slutförvaras i avfallskollin som är anpassade till befintlig transport- och hanteringsutrustning i SFR. SKB har i en komplettering till ansökan (SKB dokID 1604998) redogjort för de förändrade förutsättningarna och att den preliminära typbeskrivningen för deponering av hela reaktortankar som lämnats in tillsammans med ursprunglig ansökan inte längre är aktuell. SKB redogör vidare för att en större översyn av acceptanskriterierna för avfall till SFR (SKB dokID 1368638) kommer att göras med anledning av den nya utformningen av bergrummet för reaktortankar (BRT) och att preliminära typbeskrivningar för avfallskollin med segmenterade reaktortankdelar kommer att redovisas i samband med PSAR.

SSM:s bedömning

SSM bedömer att SKB:s argument att det inte krävs någon avfallsplan enligt 6 kap. 3 § SSMFS 2008:1 är godtagbart eftersom det under driften inte uppkommer något planerat radioaktivt avfall. Planer för omhändertagande av avfall som uppkommer under onormala händelser regleras under 6 kap. 4 § SSMFS 2008:1, vilket behöver hanteras under driften om en sådan situation skulle uppstå. SKB:s redovisning i F-PSAR allmän del 1 kapitel 5 avsnitt 5.7 överensstämmer med detta.

SSM:s granskning av underlagsrapporten med acceptanskriterier för avfall har bestått av avstämning mot de acceptanskriterier som finns för befintligt SFR (SKBdoc 1336074). Detta tillvägagångssätt har tillämpats då SSM efter granskning av acceptanskriterier för befintligt SFR förelade SKB (SSM2012-4914-7; SSM2012-4917-33) om att utveckling av acceptanskriterier är nödvändig för att uppfylla kravbilden. SSM bedömer att SKB behöver utveckla de redovisade acceptanskriterierna för avfall för den utbyggda anläggningen på motsvarande sätt som anges i SSM:s genomförda granskningar (SSM2012-4914-4; SSM2012-4914-15; SSM2012-4914-33), för samtliga kriterier för det utbyggda SFR. Utvecklingsbehoven avser exempelvis krav som ställs på avfallets innehåll av komplexbildande ämnen, liksom kraven för bitumeningjutna jonbytarmassor och indunstarkoncentrat.

SSM konstaterar att SKB redovisar koncept för tillkommande typbeskrivningar för avfallstyper den utbyggda anläggningen. SSM har i detta skede inte granskat dessa då acceptanskriterier för avfall är under utveckling men bedömer att det är av största vikt att information och underlag skapas av avfallsproducenter redan under respektives driftsfas för att SKB vid en senare tidpunkt kan utveckla koncepten till fullvärdiga typbeskrivningar. SSM bedömer att SKB:s planer i det avseendet är acceptabla. SSM vill i sammanhanget betona att en fullvärdig typbeskrivning för avfallskollin med segmenterade reaktortankdelar kommer att behöva redovisas i kommande steg i prövningsförfarandet.

Del III Långsiktig strålsäkerhet

1 Inledning - granskning av långsiktig strålsäkerhet

Denna rapportdel utgör det huvudsakliga underlaget för SSM:s bedömning av SKB:s ansökan om utbyggnad av befintligt SFR i fråga om det planerade slutförvarets strålsäkerhet efter förslutning av förvaret. Rapportdelen innefattar SSM:s detaljerade granskning av säkerhetsanalysen SR-PSU samt en bedömning mot myndighetens tillämpliga föreskriftskrav avseende långsiktig strålsäkerhet, SSMFS 2008:21 och SSMFS 2008:37 (Del III, kapitel 11).

1.1 Kravbild

Avseende långsiktig strålsäkerhet för ett slutförvar för låg- och medelaktivt avfall är de viktigaste föreskrifterna SSMFS 2008:21 om säkerhet vid slutförvaring av kärnämne och kärnavfall samt SSMFS 2008:37 om skydd av människors hälsa och miljön vid slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle och kärnavfall, därutöver har SSM utfärdat allmänna råd för föreskrifternas tillämpning. Dessa föreskrifter detaljerar kraven på slutförvar genom kompletterande bestämmelser till föreskriften SSMFS 2008:1 om säkerhet i kärntekniska anläggningar som gäller samtliga typer av kärntekniska anläggningar.

Den kravbild som myndighetens föreskrifter SSMFS 2008:21 och SSMFS 2008:37 preciserar definierar ett flertal områden utifrån vilka det planerade slutförvarets långsiktiga strålsäkerhet på ett heltäckande sätt kan utvärderas. Dessa områden är:

- Tillämpningsområde
- Helhetssyn på strålsäkerhet
- Barriärsystemet och dess funktioner
- Optimering och bästa möjliga teknik
- Slutförvarets konstruktion och utförande samt intrång och tillträde
- Skydd av människors hälsa och miljöskydd
- Tidsperioder i säkerhetsanalysen
- Säkerhetsanalys och säkerhetsredovisning

1.2 Struktur del III av granskningsrapporten

Denna rapportdel som innefattar SSM:s granskning av den långsiktiga strålsäkerheten för det planerade utbyggda SFR har 11 kapitel och baseras på SSM:s detaljerade granskning av SR-PSU. För varje område som har granskats återges kortfattat en beskrivning av SKB:s underlag följt av SSM:s bedömning med avseende på granskningsområdet.

Kapitel 2 innefattar myndighetens detaljerade granskning av den säkerhetsanalysmetodik som SKB tillämpat för SR-PSU. Kapitel 3 innehåller SSM:s bedömning av SKB:s beskrivning av geosfären och dess utveckling, det ytnära systemet och dess utveckling efter förslutning, liksom beskrivningen av den långsiktiga klimatutvecklingen. Kapitel 4 innefattar SSM:s bedömning, med avseende på långsiktig strålsäkerhet, av SKB:s redovisning av slutförvarets planerade initialtillstånd och genomförbarheten i uppförandet av anläggningen för att uppnå detta.

Efter dessa kapitel har SSM strukturerat redovisningen kring utvecklingen av slutförvarets skyddsförmåga med tiden utifrån två tidsrymder som var för sig har redovisats i olika kapitel. I kapitel 5 behandlas den första tidsrymden som sträcker sig fram till 1000 år efter förslutning av slutförvaret som den redovisas i SR-PSU med relevanta underlagsrapporter. Denna tidsperiod ligger i linje med föreskriftskrav på redovisning av kvantitativa analyser som ställs i 11 § SSMFS 2008:37. Under denna tidsperiod förväntas förvaret fortfarande befinna sig under havet.

I kapitel 6 och 7 redogörs för granskningen av SR-PSU för tidsperioden som sträcker sig från 1000 år till 100 000 år efter förslutning av förvaret. Denna period har härletts från kriteriet för begränsning av individrisk i SSMFS 2008:37. SR-PSU innehåller olika variantfall för att beakta osäkerheter kopplade till framtida variationer i klimatutvecklingen. I kapitel 6 återfinns SSM:s bedömning av SKB:s redovisning av förvarets utveckling efter 1000 år efter förslutning under tempererade klimatförhållanden medan kapitel 7 hanterar SKB:s redovisning av förvarets utveckling under perioder då periglaciala förhållanden förväntas råda.

Kapitel 8 omfattar myndighetens bedömning av SKB:s redovisning kring oavsiktlig framtida mänsklig påverkan på slutförvaret skyddsförmåga inklusive frågor om informationsbevarande. Kapitel 9 innefattar myndighetens bedömningar avseende SKB:s val av scenarier som ligger till grund för säkerhetsanalysens risk- och konsekvensanalys. I kapitel 10 redovisas SSM:s bedömningar av SKB:s konsekvensanalys.

Kapitel 11 innehåller SSM:s bedömningar av kravuppfyllelse mot myndighetens tillämpliga föreskrifter avseende långsiktig strålsäkerhet, SSMFS 2008:21 och SSMFS 2008:37. Dessa bedömningar grundas på SSM:s detaljerade granskning av SKB:s säkerhetsanalys SR-PSU som redovisas i kapitel 2-10.

Remissinstansers synpunkter

Östhammars kommun

Östhammars kommun (SSM2015-1640-33) ser det som en allvarlig brist att huvudrapporten för säkerhetsanalysen inte fanns tillgänglig på svenska vid inlämnandet av ansökan då detta begränsat tillgängligheten till ett av de viktigaste dokumenten i ansökan.

SSM:s beaktande av remissynpunkt

Den 19 december 2014 lämnade Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB) in en ansökan till Strålsäkerhetsmyndigheten om tillstånd enligt kärntekniklagen att få bygga ut slutförvaret för kortlivat radioaktivt avfall (SFR). Den 4 september 2015 överlämnade SKB en svensk översättning av huvudrapporten för säkerhetsanalysen till SSM och mark- och miljödomstolen. SSM delar kommunens synpunkt att den svenska versionen av principiella skäl bör ingå i dokumentationen vid överlämnandet av ansökan.

2 Säkerhetsanalysmetodik långsiktig strålsäkerhet

2.1 Inledning

SKB har utformat sin säkerhetsanalys för långsiktig strålsäkerhet efter förslutning utifrån en tiostegsmetod som även har tillämpats av SKB i en tidigare säkerhetsanalys för SFR, SAR 08 (SKB R-08-130). Liknande metodik tillämpades även av SKB för säkerhetsanalysen SR-Site för SKB:s tillståndsansökan för slutförvaret för använt kärnbränsle (SKB

TR-11-01). Strålsäkerhet efter förslutning baseras i första hand på att förhindra, begränsa och fördröja utsläpp av radioaktiva ämnen i biosfären. Syftet med en säkerhetsanalys för långsiktig strålsäkerhet är att påvisa hur det förslutna förvaret ska, genom ett system av passiva barriärer med motsvarande barriärfunktioner, säkerställa skyddet av människa och miljön. Vidare ska analysen visa hur osäkerheter kring förvarets långsiktiga utveckling har identifierats och hanterats och därmed också ge återkoppling till fortsatt behov av forskning och utveckling samt bidra till motivering av optimering och valet mellan alternativa konstruktionslösningar. Kvantitativa resultat från en säkerhetsanalys, så som beräknade konsekvenser för människor och miljön, ska även jämföras med Strålsäkerhetsmyndighetens krav och kriterier.

Detta kapitel syftar till att bedöma den metodik som SKB har använt för att utforma sin säkerhetsanalys utifrån den kravbild som finns på vad en säkerhetsanalys ska och bör innehålla, liksom mot vad den ska utvärderas. Bedömningarna fokuserar således, i så stor utsträckning som rimligt möjligt, på metodiken i sak som tillämpats för att identifiera de relevanta element som ingår i säkerhetsanalysen och hur de tillämpas för att redovisa förutsättningar för kravuppfyllelse. Hänvisningar till andra kapitel där bedömningar av sakinnehållet i de olika stegen återfinns löpande i kapitlet.

2.1.1 Kravbild

SSM:s krav på säkerhetsanalysmetodik specificeras i första hand i föreskrifter om säkerhet i kärntekniska anläggningar (SSMFS 2008:1), med fokus på drifttid för en kärnteknisk anläggning. För tiden efter slutlig förslutning av ett slutförvar finns kompletterande krav redovisade i föreskrifterna om säkerhet vid slutförvaring av kärnämne och kärnavfall (SSMFS 2008:21) samt om skydd av människors hälsa och miljö vid slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle och kärnavfall (SSMFS 2008:37).

Enligt kap. 4 i SSMFS 2008:1 ska en värdering och redovisning av anläggningens säkerhet, s.k. säkerhetsanalys, genomföras och redovisas. Innan anläggningen uppförs eller ändras och tas i drift (1 §) ska kapaciteten hos anläggningens barriärer att förbygga och lindra radiologiska konsekvenser (i denna rapport, med fokus på människan och miljön efter förslutning av slutförvaret) analyseras med deterministiska metoder. Förutom deterministiska metoder ska anläggningen även analyseras med probabilistiska metoder för att ge en så allsidig bild som möjligt av säkerheten. Analyserna ska hållas aktuella fram till att tillståndet för anläggningen upphör.

Säkerhetsanalyserna ska vara grundade på en systematisk inventering av de händelser, händelseförlopp, processer och förhållanden som kan leda till radiologiska konsekvenser för människan och miljön efter förslutning av slutförvaret. Genom analyser ska det visas att barriärsystemet fungerar så att de eventuella radiologiska omgivningskonsekvenserna är acceptabla för ett relevant urval av scenarier (allmänna råd till SSMFS 2008:21 och 3 § SSMFS 2008:37). Genom säkerhetsanalyserna identifieras specifika krav på funktion och konstruktion av slutförvaret.

Modeller och beräkningsprogram som används för säkerhetsanalyser och för att fastställa konstruktions- och driftsgränser ska vara validerade och verifierade (1 § 4 kap. SSMFS 2008:1). Vidare ska osäkerheter vara beaktade och data kvalitetssäkrade.

Säkerhetsanalyser enligt SSMFS 2008:1 (1 § 4 kap.) ska genomföras och ska omfatta förhållanden, händelser och processer som kan leda till spridning av radioaktiva ämnen efter förslutning av slutförvaret (9 § SSMFS 2008:21). Säkerhetsredovisningen ska

innefatta, utöver de områden specificerade i SSMFS 2008:1 (4 kap. 2 § och 3§), även områden specificerade Bilaga 1 SSMFS 2008:21. Dessa innefattar redovisning och beskrivning av:

- metoder för att beskriva det passiva barriärsystemet, dess funktion och utveckling med tiden
- förhållanden, händelser, processer som kan påverka barriärfunktionen och dess ömsesidiga kopplingar
- identifiering samt beskrivning av relevanta scenarier inklusive ett huvudscenario som tar hänsyn till de mest troliga förändringarna i slutförvaret och dess omgivning
- tillämpbarhet hos modeller, parametrar, förutsättningar
- osäkerheter samt variabilitet
- känslighetsanalys som visar hur osäkerheterna inverkar på beskrivningen av barriärernas utveckling inklusive konsekvensanalysen
- utvecklingen av biosfär, geosfär och slutförvar för utvalda scenarier
- slutförvarets omgivningspåverkan för valda scenarier, inklusive huvudscenariot, med hänsyn till felfunktioner hos tekniska barriärer och övriga identifierade osäkerheter.

I 1 § SSMFS 2008:1 återopas att kraven på kvalitetssäkring, säkerhetsgranskning, säkerhetsprogram och återkommande säkerhetsgranskning enligt SSMFS 2008:1 ska uppfyllas. Tillståndshavarna bör förvissa sig om att deras åtgärder med avseende på dessa krav är tillräckliga i perspektivet långsiktig strålsäkerhet.

Baserat på dess sannolikhet ska scenarierna indelas i olika kategorier enligt de allmänna råden till 9 § och bilaga 1 SSMFS 2008:21:

- Huvudscenariot: bör grunda sig på den troliga utvecklingen av yttre betingelser och realistiska eller där så är motiverat, konservativa antaganden om de inre betingelserna.
- Mindre sannolika scenarier: bör innefatta varianter av huvudscenariot med alternativ händelse och tidsförlopp, scenarier som beaktar effekter av framtida mänsklig verksamhet samt sådana osäkerheter som inte utvärderas inom ramen för huvudscenariot
- Övriga scenarier eller restscenarier: bör omfatta händelseförlopp och förhållanden som belyser betydelsen av enskilda barriärer och barriärfunktioner, och som studeras oberoende av deras sannolikhet.

Brist på kunskap och andra ovissheter i beräkningsförutsättningarna (antagande, modeller, data) benämns i de allmänna råden till SSMFS 2008:21 som osäkerheter. Rumslig variation hos parametrarna som används för att beskriva bergets barriärfunktioner innefattas också av osäkerheter. Modeller och parametervärden bör styrkas genom vetenskaplig litteratur, särskilda utredningar och forskningsresultat, laboratorieexperiment i olika skalor, fältförsök och studier av naturliga fenomen (analogier). Vetenskapligt underlag, liksom gjorda bedömningar av experter, bör dokumenteras på ett spårbart sätt genom att noggrant ange referenser till vetenskaplig litteratur och annat underlag.

Säkerhetsanalysen ska även inkludera en riskanalys med syfte att belysa ett slutförvars skyddsförmåga och dess konsekvenser med avseende på miljöpåverkan samt risk för

människors hälsa. I de allmänna råden till SSMFS 2008:37 rekommenderas att scenarierna i analyserna ska innefatta:

- Klimatutveckling: ett antal möjliga framtida klimatutvecklingar behöver omfattas vilka utgör grund för riskanalysen. Valet av klimatutvecklingar bör grundas på känslighetsanalyser och expertbedömningar. Som utgångspunkt ska en sannolikhet på ett (1) ansättas för de olika klimatutvecklingarna.
- Mänsklig påverkan: ett antal scenarier för framtida oavsiktlig mänsklig påverkan på slutförvaret bör redovisas.
- Särskilda scenarier: en analys av ett tänkt bortfall bör, under de första tusen åren efter förslutning, av någon eller några barriärfunktioner redovisas separat utanför riskanalysen.

Säkerhetsanalysen bör även redovisa oavsiktlig framtida mänsklig påverkan på slutförvaret, och möjligheter att minska risken för oavsiktligt intrång i slutförvaret (allmänna råden till SSMFS 2008:37).

Vidare bör olika osäkerheter utvärderas och redovisas på ett systematiskt sätt och värderas med hänsyn till deras betydelse för säkerhetsanalysens resultat (allmänna råden till SSMFS 2008:37). Samtliga beräkningssteg med tillhörande osäkerheter bör redovisas. Oberoende expertbedömningar ("Peer Review") och formaliserade expertutfrågningar ("Expert Panel Elicitation") kan, i de fall dataunderlaget är otillräckligt, användas för att stärka trovärdigheten i bedömningar av osäkerheter.

2.2 Säkerhetsanalysens innehåll

Beskrivning av SKB:s underlag

I avsnitt 2.3 i SR-PSU (SKB, 2015) beskriver SKB att bedömningen av säkerheten hos förvarssystemet är baserad på utvärdering av den framtida utvecklingen av förvarssystemet och analys av radiologiska konsekvenser av framtida exponering för människor och miljö. Den framtida utvecklingen kommer att bero på förvarssystemets initialtillstånd, externa förhållanden som verkar på förvarssystemet efter förslutning och interna processer inom förvarssystemet. Förvarssystemet definieras av förvaret och dess omgivning. Förvaret består av deponerat avfall, avfallsbehållare, tekniska barriärer och andra förvarskonstruktioner. Förvarets omgivning består av det omgivande berget och biosfären ovanför förvaret.

Tidsskala för analysen

Utvecklingen av förvarssystemet över den tidsperiod som beaktas i säkerhetsanalysen inkluderar beskrivning av den termiska, hydrologiska, mekaniska och geokemiska utvecklingen under olika klimatförhållanden, såsom tempererade, periglaciala och glaciala perioder samt olika stadier av strandlinjeförskjutning i Forsmark. Detta förlopp benämner SKB också referensutvecklingen. Tidsskalan för säkerhetsanalysen för förvaret är under en period på upp till 100 000 år (SKB 2015, avsnitt 2.3.1).

Skydd av människors hälsa

Det tillvägagångssätt som har använts för att göra riskberäkningar och för att påvisa riskkriteriernas uppfyllelse inkluderar att:

- 1) beräkna den betingade risken baserat på den genomsnittliga dosen för varje beräkningsfall,

- 2) vikta resultaten från de olika beräkningsfallen med sannolikheterna för att de ska inträffa samt uppskatta den totala risken som en funktion av tid efter summering av riskbidragen (s.k. risksummering),
- 3) jämföra den uppskattade tidsberoende risken med riskkriterierna i föreskrifterna (SKB 2015, avsnitt 2.3.2).

I händelse av beräkningsfall där utsläppet sker i samband med en specifik händelse vid en obestämmd tidpunkt har SKB redovisat betydelsen av riskutspädning i enlighet med föreskriftskraven (SSMFS 2008:37). En utförligare beskrivning av SKB:s risksummering ges i kapitel 10.

Skydd av miljön

När det gäller skydd av miljön använder SKB ERICA-modellen (Beresford m.fl., 2008, Brown m.fl. 2008) för att uppskatta dos till biota. Den beräknade dosraten till biota har jämförts med den mest begränsande screeningdosraten på 10 µGy/h i ERICA och även med ICRP:s referensbedömningsnivåer (DCRLs) som är lägre än ERICA:s screeningvärden (ICRP 2014).

Iterativ process, BAT och optimering

Säkerhetsanalysen för långsiktig strålsäkerhet har en stor betydelse för den iterativa process som pågår under projekterings-, uppförande- och driftskedena av ett slutförvar. Uppförande och drift av SFR-anläggningen påverkar underlaget för analyserna av strålsäkerheten under drift och den långsiktiga strålsäkerheten för anläggningen. Resultatet av analyserna kan användas för att definiera nya eller modifierade krav på utformning av förvaret, avfallshantering och avfallsbehandling. Detta, i sin tur, kan komma att påverka uppförandet och driften av förvaret. SKB:s motivering med avseende bästa möjliga teknik och optimering utgår från säkerhetsanalysen för långsiktig strålsäkerhet. I denna iterativa process ska krav på bästa möjliga teknik och optimering beaktas fortlöpande (SKB 2015, avsnitt 2.3.4).

Remissinstansers synpunkter

Östhammars kommun

Remissinstansen anser (SSM2015-1640-15) att ansökan ska kompletteras med en beskrivning av eventuella förändringar av konstruktionen och säkerhetsanalysen som det förlängda tidsperspektivet (jämfört med säkerhetsanalysen för SFR 1983) innebär.

SSM:s beaktande av remissynpunkt

Kommentaren har beaktats explicit i myndighetens skrivelse till remissinstansen (SSM2015-1640-16). SSM anser att de tidsperioder som SKB har analyserat som en grund för den innevarande ansökan på 100 000 år således är rimliga. Det kan dock påpekas att de dåvarande tillsynsmyndigheterna i sina granskningar av tidigare säkerhetsanalyser som begränsades till kortare tidsperioder inte bortsåg från betydelsen av avfallets begränsade innehåll av extremt långlivade radioaktiva ämnen.

SSM:s bedömning

Tidsskala för analysen

SKB beaktar förvarets utveckling under analysperioden 100 000 år. SSM anser att denna tidsskala är rimlig eftersom den innefattar externa förändringar i omgivningen som kan påverka förvarets säkerhetsfunktioner såsom landhöjningen och klimatutveckling, tidpunkter för beräknade maxdoser samt avklingningen av de mest betydelsefulla radioaktiva ämnena i avfallet. De fortlöpande säkerhetsanalyser som tidigare redovisats

inom ramen för uppförande och drift av befintligt SFR har begränsats till en kortare tidsperiod av 10 000 år, vilket Östhammars kommun, inom ramen för SSM:s nationella remiss, har påpekat. Den senaste säkerhetsredovisningen SAR-08 (SKB R-08-130) beaktade dock i likhet med SR-PSU förvarets utveckling över 100 000 år. Enligt SSM:s föreskrifter med tillhörande allmänna råd (SSMFS 2008:37) bör ett slutförvar som inte avser använt kärnbränsle eller annat långlivat avfall omfatta tiden fram till maximala omgivningskonsekvenser och som längst en tidsperiod av 100 000 år. SSM anser således att de tidsperioder som SKB har analyserat som en grund för den innevarande ansökan på 100 000 år således är rimliga. Det kan dock påpekas att de dåvarande tillsynsmyndigheterna i sina granskningar av tidigare säkerhetsanalyser som begränsades till kortare tidsperioder inte bortsåg från betydelsen av avfallets begränsade innehåll av extremt långlivade radioaktiva ämnen, vilket även poängteras i myndighetens skrivelse till remissinstansen (SSM2015-1640-16).

Skydd av människors hälsa

SSM anser att SKB har redovisat risksummeringen enligt de allmänna råden till SSMFS 2008:37 genom att väga samman beräknade riskbidrag från huvudscenariot och från de mindre sannolika scenarierna för att erhålla en total årlig risk för förvaret över tid. Mer detaljerade bedömningar av SKB:s val av scenarier återfinns i kapitel 9. SSM anser också att SKB:s tillvägagångssätt för att hantera riskutspädning för jordbävning respektive brunns scenarierna är lämpliga. Det finns dock ingen diskussion av SKB om riskutspädning i samband med probabilistiska beräkningar och tillämpning av sannolikhetsfördelningar för parametervärden. Tillämpning av alltför breda sannolikhetsfördelningar kan ge upphov till viss riskutspädning, vilket bör belysas av SKB i kommande säkerhetsanalyser. Mer detaljerade bedömningar av riskutspädning återfinns i Del III, avsnitt 10.6.

Skydd av miljön

SSM anser att den metodik som SKB har använt för att uppskatta dos till biota för joniserande strålning till följd av det planerade förvaret är väl lämpad för ändamålet. Metodiken inom ERICA Tool överensstämmer med internationell utveckling inom området. Denna metodik har utvecklats genom flera EU-projekt (t. ex. Andersson m.fl., 2009) och stämmer väl överens med de generella riktlinjer från ICRP (2003) som föreslås i de allmänna råden till SSMFS 2008:37 samt även i vägledning från ICRP (2014). Mer detaljerade bedömningar avseende skydd av miljön återfinns i kapitel 10 och 11.

Iterativ process, BAT och optimering

SKB anger att SR-PSU redovisar långsiktig strålsäkerhet i en inledande fas av ett iterativt program för design, utvärdering, konstruktion och drift (SKB, 2015, figur 2-3). SSM anser att SR-PSU ger en tillräckligt bra överblick av dessa frågor för det innevarande steget i processen. SSM rekommenderar dock SKB att i kommande säkerhetsanalyser införa ytterligare beräkningsfall och mindre sannolika scenarier som bygger på osannolika men ändå trovärdiga initiala defekter, och/eller accelererade interna processer, vilka på ett tydligare sätt utgör underlag för framtida BAT/optimering samt för fastställandet av acceptanskriterier och funktionskrav. Dessa synpunkter lyftes även av SSM:s externa expert (SSM 2016:09 del 5, avsnitt 4). Mer detaljerade bedömningar avseende val av scenarier finns i kapitel 9.

2.3 Säkerhetsanalysmetodik

Beskrivning av SKB:s underlag

Metodiken som SKB har använt för säkerhetsanalysen SR-PSU bygger vidare på den senaste säkerhetsanalysen för SFR, SAR 08 (SKB R-08-12), och är tämligen överensstämmande med den metodik som har använts i den senaste säkerhetsanalysen för slutförvaret för använt kärnbränsle, SR-Site (SKB TR-11-01). I SKB:s metodik för säkerhetsanalysen ingår tio huvudsteg som innefattar:

Steg 1. FEP-hantering: Erfarenhet från tidigare säkerhetsanalyser för SFR, samt från internationella FEP-databaser över relevanta förhållanden, händelser och processer FEP ("Features, Events and Processes") som påverkar den långsiktiga strålsäkerheten utnyttjas för att identifiera alla signifikanta faktorer som ska ingå i säkerhetsanalysen (SKB TR-14-07).

Steg 2. Beskrivning av initialtillståndet: Initialtillståndet definieras som det förväntade tillståndet för förvaret och dess omgivning vid förslutning. Initialtillståndet är baserat på referensutformningen, den nuvarande avfallsprognosen samt relevanta FEP för geosfären och biosfären (SKB TR-14-02, SKB TR-14-06).

Steg 3. Beskrivning av externa förhållanden: Externa förhållanden delas in i de tre kategorierna "klimatrelaterade frågor", "storskaliga geologiska processer och effekter" samt "framtida mänskliga handlingar" FHA ("Future Human Actions") för vilka relevanta faktorer identifieras. I detta steg ingår definition av externa referensförhållanden för säkerhetsanalysen för tiden efter förslutning (SKB TR-13-05, SKB TR-14-08).

Steg 4. Beskrivning av interna processer: De processer som är signifikanta för den långsiktiga utvecklingen av slutförvarssystemet analyseras med utgångspunkt från tidigare säkerhetsanalyser samt FEP-hanteringen i steg 1. Processerna och deras interaktioner redovisas i processrapporterna. Dessa rapporter beskriver om en specifik process kan uteslutas, om den ska vara föremål för kvantitativ modellering eller om den beror på något särskilt villkor som mot bakgrund av beaktade förhållanden under slutförvarssystemets utveckling kan vara uppfyllt eller inte (SKB TR-14-03, SKB TR-14-04, SKB TR-14-05, SKB TR-14-06 och SKB TR-11-04).

Steg 5. Definition av säkerhetsfunktioner: Det finns två övergripande säkerhetsprinciper för SFR: begränsad mängd långlivade radionuklider samt fördröjning av uttransport av radionuklider. Dessa övergripande säkerhetsprinciper har brutits ner i ett antal säkerhetsfunktioner och säkerhetsfunktionsindikatorer som beskriver den långsiktiga funktionen för slutförvarets barriärer. De utgör i SR-PSU grunden för framtagande av de scenarier som beaktas i säkerhetsanalysen (SKB, 2015, kapitel 5). Definitionen av säkerhetsfunktioner är ett centralt inlag i SKB:s metodik för säkerhetsanalyser.

Steg 6. Sammanställning av indata: Data som ska användas för att kvantifiera slutförvarsutvecklingen, för att beräkna radionuklidtransport, och för att uppskatta framtida dos/risk efter förslutning väljs i detta steg genom spårbara standardiserade rutiner (SKB TR-14-10, SKB TR-14-12, SKB R-13-18).

Steg 7. Analys av referensutvecklingen: I detta steg definieras en referensutveckling som baseras på de externa förhållanden och interna processer som i tidigare steg bedömts vara av betydelse för utvecklingen av förvaret och dess omgivning. Referensutvecklingen beskrivs utifrån sannolika processer och händelser relevanta för SFR:s långsiktiga

säkerhet (SKB TR-14-01, kapitel 6). Beskrivningen av referensutvecklingen av SFR och dess omgivning inkluderar tre delar:

- 1) utvecklingen fram till omkring 1000 år efter förslutning under vilken tid klimatet förväntas förbli tempererat och de tekniska barriärerna förväntas behålla sina initiala egenskaper,
- 2) under återstående tid fram till omkring 100 000 år efter förslutning beaktas inverkan på förvaret av sannolika processer och händelser förekommande under tempererade klimatförhållanden,
- 3) under samma tidsperiod som i 2) men processer och händelser kopplade till periglaciala klimatförhållanden och som har hög sannolikhet att inträffa under sådana förhållanden.

Steg 8. Val av scenarier: En representativ uppsättning scenarier väljs med fokus på de delar av slutförvarsutvecklingen som är mest relevanta för den långsiktiga strålsäkerheten (SKB, 2015, kapitel 7). De valda scenarierna har delats in tre kategorier: huvudscenario, mindre sannolika scenarier, samt restsценarier enligt de allmänna råden till SSMFS 2008:21.

Steg 9. Analys av valda scenarier: I detta steg definieras beräkningsfall som analyseras med matematiska modeller för att kvantitativt utvärdera de valda scenarierna. Indata till beräkningar väljs ut i detta steg. De beräknade riskerna från huvudscenariot och från de mindre sannolika scenarierna summeras för att erhålla den totala risken från slutförvaret över tiden efter förslutning, vilken jämförs med SSM:s riskkriterium (SKB, 2015, kapitel 10). Enligt föreskrifter och allmänna råd görs inga sannolikhetsuppskattningar för restsценarier och de ingår inte heller i risksummeringen.

Steg 10. Slutsatser: Resultaten från de olika scenarioanalyserna integreras och analyseras för att dra slutsatser beträffande strålsäkerheten i relation till föreskriftskraven (SKB, 2015, kapitel 11). Återkoppling rörande krav på konstruktioner och avfall, behov av forskning samt utnyttjande av tidigare drifterfarenheter tillhör också detta steg.

SKB har inom ramen för ansökansberedningen inlämnat följande kompletterande information utifrån SSM:s begäran (SSM2015-725-59) inom säkerhetsanalysmetodik:

- SKB dokID 1564154, 2017. Svar till SSM på begäran om komplettering av ansökan om utökad verksamhet vid SFR – säkerhetsanalysmetodik SR-PSU. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB dokID 1579024, 2017. Försiktiga antaganden i analysen av säkerhet efter förslutning SR-PSU. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB dokID 1572211, 2017. Information om konstruktionsstyrande fall för utbyggnad av SFR. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB dokID 1581608, 2017. Konvergens av probabilistiska beräkningar. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB dokID 1578211, 2017. Säkerhetsfunktionsindikatorn hydraulisk kontrast och BMA-salarnas hydrauliska funktion. Svensk Kärnbränslehantering AB.

Remissinstansers synpunkter

Kungliga vetenskapsakademien

Remissinstansen anför (SSM2015-1640-29) att principerna bakom säkerhetsanalyserna för drift och säkerhet efter förslutning representerar beprövade strategier som utarbetats under SKB:s tidigare verksamhet. Remissinstansen anser vidare att det är en styrka att SR-PSU

utgår från analys av olika scenarier, dvs. funktionsanalys (performance assessment), snarare än från uppskattade sannolikheter för olika händelser. Remissinstansen betonar även att tekniken med FEP:ar, det vill säga att identifiera förhållanden, händelser och processer relevanta för SFR, är beprövad och anser att FEP-analysen i väsentliga delar är trovärdig.

SSM:s beaktande av remissynpunkt

SSM delar remissinstansens synpunkt att SKB har tillämpat en lämplig säkerhetsanalysmetodik och baserat analysen på en lämplig FEP-katalog. Se SSM:s utförligare bedömningar avseende säkerhetsanalysmetodik för långsiktig strålsäkerhet återfinns i Del III, kapitel 2.

SSM:s bedömning

SSM anser att SKB:s tiostegsmetod, som bygger på SKB:s tidigare säkerhetsanalys för SFR, SAR 08 (SKB R-08-12), samt även på säkerhetsanalyserna SR-Can (SKB TR-06-09), och SR-Site (SKB TR-11-01) för det planerade slutförvaret för använt kärnbränsle, är ändamålsenlig. SSM anser dock att explicit hantering av osäkerheter, vilken förvisso beskrivs och generellt beaktas (SKB, 2015, avsnitt 2.6.2), bör ingå i själva metodbeskrivningen, dvs. i beskrivningen av SKB:s tiostegsmetod. SSM kommenterar explicit hantering av osäkerheter kopplad till avgränsning av biosfärsobjekt i Del III avsnitt 10.4 i denna rapport.

Vidare utförs SSM:s granskning och bedömning av de tio stegen i olika kapitel och avsnitt i den här rapporten enligt följande:

- Sammanfattning, granskning och bedömning av SKB:s FEP-hantering, steg 1 i SKB:s tiostegsmetod, återges i avsnitt 2.4 i detta kapitel.
- SSM:s bedömning av SKB:s beskrivning av förvarets initialtillstånd, steg 2 i SKB:s tiostegsmetod, ges i avsnitt 2.5 i detta kapitel samt uttömmande i kapitel 4.
- SSM:s bedömning av SKB:s beskrivning av externa förhållanden eller yttre betingelser, steg 3 i SKB:s tiostegsmetod, ges i avsnitt 2.6 i det här kapitlet. En mer detaljerad bedömning av den långsiktiga klimatutvecklingen ges i avsnitt 3.2 i Del III, kapitel 3 om geosfären och platsförutsättningar. SSM:s bedömning av SKB:s redovisning av framtida mänskliga handlingar görs i kapitel 8.
- En kort sammanfattning av SSM:s bedömning av SKB:s beskrivning av interna processer, steg 4 i SKB:s tiostegsmetod, ges i avsnitt 2.5 i det här kapitlet. Mer utförliga bedömningar av interna processer återfinns i Del III, kapitel 3, 4, 5, 6 och 7.
- En kort sammanfattning av SSM:s bedömning av SKB:s definition av säkerhetsfunktioner, steg 5 i SKB:s tiostegsmetod, ges i avsnitt 2.7 i det här kapitlet. SKB:s valda säkerhetsfunktioner och dess tillämpning i valet av scenarier bedöms mer utförligt i Del III, kapitel 9.
- SSM:s bedömning av SKB:s sammanställning av indata, steg 6 i SKB:s tiostegsmetod, ges i Del III, kapitel 10.
- SSM:s bedömning av SKB:s analys av referensutvecklingen, Steg 7, finns i Del III, kapitel 3, 4, 5, 6 och 7 i denna granskningsrapport.
- SKB:s val av scenarier, steg 8 i SKB:s tiostegsmetod, bedöms i kapitel 9.
- SSM:s bedömning av SKB:s analys av valda scenarier, steg 9 i SKB:s tiostegsmetod, ges i Del III, kapitel 10.
- SSM:s bedömning av SKB:s slutsatser, steg 10 i SKB:s tiostegsmetod knyts ihop i Del III, kapitel 11.

2.4 FEP-hantering

Beskrivning av SKB:s underlag

SKB har i samband med tidigare säkerhetsanalyser för det befintliga SFR-förvaret genomfört inventeringar av förhållanden, händelser och processer (FEP), senast i samband med SAFE och SAR 08 (SKB R-01-13; SKB R-08-12). I samband med SR-PSU (SKB, 2015) har SKB sammanställt en FEP-rapport (SKB TR-14-07). SKB:s FEP-katalog har tagits fram med hjälp av NEA:s internationella databas i version 2.1 (NEA, 2006). I och med att SKB:s tidigare FEP-kataloger liksom de internationella katalogerna är mest fokuserade på slutförvar för högaktivt avfall och använt kärnbränsle har SKB beslutat att jämföra sin SR-PSU-FEP-katalog också med liknande kataloger för Olkiluoto L/ILW i Finland och Rokkasho 3 i Japan (opublicerat material). Dessa jämförelser har visat att den befintliga FEP-katalogen inte behövde kompletteras med ytterligare FEP.

I SR-PSU innefattar FEP-katalogen följande FEP-kategorier:

- FEP för initialtillstånd
- Interna processer i systemkomponenterna (avfallsform, avfallsbehållare, barriärer samt geosfären)
- Variabler för systemkomponenterna (avfallsform, avfallsbehållare, barriärer samt geosfären)
- FEP för biosfären
- FEP för externa processer
- Metodologirelaterade frågor
- Platsspecifika faktorer som exempelvis närheten till det planerade slutförvaret för använt kärnbränsle liksom närheten till Fenno-Skan:s likströmskabel för högspänning.

Det finns skillnader mellan hur SKB har hanterat FEP för initialtillstånd och interna processer, samt FEP för externa processer, metodologi och platsspecifika faktorer. SKB:s FEP för initialtillstånd samt interna processer, inklusive biosfären, är organiserade baserat på processer och variabler kopplade till olika systemkomponenter i slutförvaret. FEP för externa processer, metodologi och platsspecifika faktorer är däremot generellt formulerade, dvs. kopplar inte direkt till specifika variabler för en viss systemkomponent, och innefattar ofta flera processer som påverkar flera systemkomponenter, t.ex. klimat, mekanisk utveckling, jordskalv och även framtida mänskliga handlingar. I grova drag kan sägas att FEP för initialtillstånd samt interna processer beskriver hur slutförvarssystemet fungerar, medan FEP för externa processer och för platsen definierar slutförvarssystemets utveckling utifrån externa faktorer som ofta kommer att kopplas till ett specifikt scenario i den fortsatta säkerhetsanalysen.

FEP-katalogen är i första hand strukturerad enligt uppdelning i systemkomponenter t.ex. avfallsform, avfallsbehållare, barriärer, geosfär eller biosfär, och i andra hand baserat på de variabler som påverkar/påverkas av olika processer. Processerna utgörs av interaktionen mellan olika variabler för samma systemkomponent. Detta sammanfattas i en "interaktionsmatris" (SKB, 2015, figur 3-2) där, för varje systemkomponent, en kvadratisk matris redovisar variablerna i matricellerna längs med den ena diagonalen. I de övriga cellerna står de interna processerna (interaktioner).

Andra sätt att visualisera systemkomponenterna, variablerna samt dess kopplingar är "processdiagrammen" (SKB, 2015, figur 3-1). För att följa upp systemutvecklingen för

hela slutförvarssystemet tillämpas ett modell- och dataflödesschema AMF ("Assessment Model Flowchart") som illustrerar vilka data och modeller som används för att beskriva utvecklingen baserat på de identifierade och betydande processerna (SKB, 2015, Bilaga G).

Angående FEP om interna processer synliggörs kopplingarna mellan olika variabler, som ofta sammanfaller med processerna, och systemkomponenter genom en uppdelning i processer med "obetydlig påverkan" eller med "påverkan som kräver ingående behandling". Medan interaktionsmatriserna inkluderar både obetydliga och betydelsefulla processer redovisar AMF-flödesschemat endast de mest betydelsefulla processerna för slutförvarssystemets långsiktiga strålsäkerhet.

SKB redovisar även vilka, ofta egna, experter som har bidragit till bedömningarna som ligger grund för i vilken kategori en viss FEP ska klassas, vilken betydelse den ska tillskrivas, på vilken grund bedömningen har gjorts samt vilken hantering av processerna som behövs i säkerhetsanalysen för att uppnå spårbarhet och tillräcklig kvalitet på beslutprocessen.

SSM:s bedömning

På en övergripande nivå bedömer SSM att SKB:s redovisning av förhållanden, händelser och processer (FEP) är ändamålsenlig och relevant för att demonstrera SFR förvarets långsiktiga strålsäkerhet. FEP-katalogen innehåller i stort den nödvändiga information som möjliggör den fortsatta FEP-hantering för att identifiera viktiga processer samt att välja relevanta scenarier i SR-PSU. Informationen är tydlig och transparent redovisad för de flesta processer som har redovisats.

SKB:s tillvägagångssätt för att visa att SR-PSU är så heltäckande som möjligt har särskilt utgått ifrån att identifiera och analysera relevanta FEP. FEP-katalogen beskrivs i huvudrapporten till SR-PSU (SKB, 2015, kapitel 3). Emellertid är underlaget till FEP-katalogen fördelat över flera processrapporter (SKB TR-14-03, TR-14-04, TR-14-05), liksom klimatrapporten (SKB TR-13-05), biosfärssyntesrapporten (SKB TR-14-06) och rapporten om framtida mänskliga handlingar (SKB TR-14-08). Dessa rapporter sammanställer systematiskt och på ett tydligt sätt en omfattande lista av radiologiska, hydrogeologiska, geologiska, mekaniska, kemiska och geokemiska, klimatologiska och biologiska samt andra typer av FEP. SSM anser att FEP-inventeringen är heltäckande, vilken innebär att relevanta FEP för SFR-förvaret i Forsmark har beaktats i den mån som kan förväntas. SSM anser därför att säkerhetsanalysen är grundad på en systematisk inventering av de händelser, händelseförlopp och förhållanden som kan leda till radiologiska konsekvenser för människan och miljön efter förslutning av SFR-slutförvaret.

Ur ett metodologiskt perspektiv har FEP-katalogen använts av SKB i flera steg av analysen i SR-PSU. Syftet med en sådan användning har varit att utveckla:

- FEP-checklistor för beskrivning av processer, initialtillstånd samt externa förhållanden relevanta för SFR-förvarets långsiktiga strålsäkerhet.
- FEP-diagram som visar hur FEP förhåller sig till variabler som har definierats för att utvärdera utvecklingen av SFR-förvarets systemkomponenter och dess påverkan på den långsiktiga strålsäkerheten.
- Ytterligare scenarier som vidare hanteras i säkerhetsanalysen och som har uppmärksamats i FEP-diagrammen på grund av osäkerheter associerade med vissa processer.

- Analyser för att stödja exkludering av vissa FEP från säkerhetsredovisningen (t.ex. påverkan av närheten till det planerade slutförvaret för använt kärnbränsle).

Under SSM:s granskning har det uppmärksammas frågeställningar kopplade till konsekvensen för den långsiktiga strålsäkerheten utifrån osäkerheter associerade med projektering, utformning och uppförande av barriärerna (t.ex. reparationsåtgärder i 1BMA och barriärkonstruktionerna i 2BMA). Visserligen kan dessa osäkerheter betraktas som hanterade av SKB genom vissa specifika mindre sannolika scenarier eller restsценarier (t.ex. scenariot med accelererad betongdegradering, se utförligare diskussion i bedömningarna i kapitel 9), dock utan att dessa scenarier är direkt kopplade till orsakande processer som ingår i FEP-databasen (t.ex. designfel, otillfredsställande reparationsresultat eller dylikt) vilket SSM anser skulle vara önskvärt.

2.5 Initialtillstånd och inre betingelser

Beskrivning av SKB:s underlag

FEP för initialtillståndet beskrivs genom en uppsättning variabler som i idealfallet överensstämmer med specifikationerna för utformningen av slutförvaret med inga eller endast mindre avvikelser (t.ex. inga oupptäckta missöden, ingen betydande monitoreringspåverkan), och inkluderas i interaktionsmatriserna samt i AMF-flödesschema. Vid större avvikelser, såsom exempelvis eldsvåda, översvämning, explosion, sabotage eller ofullständig förslutning, utesluts antingen variablerna från analysen med motivering att deras sannolikhet är mycket liten eller så bedöms det att korrigerande åtgärder måste vidtas innan förslutning av slutförvaret, alternativt beaktas genom ett lämpligt val av scenarier. Gällande initialtillståndet, definierar SKB ett referensfall med variabelvärden som utgör utgångspunkt för referensutvecklingen efter förslutning.

För de interna processerna kategoriserar SKB sin kunskap utifrån teoretiska och experimentella studier, naturliga analogier och observationer i naturen samt med avseende på hur dessa processer hanteras i säkerhetsanalysens delar så som i interaktionsmatriserna (SKB, 2015, bilaga F) och i AMF-flödesschemat (SKB, 2015, bilaga G), samt i processrapporterna och i biosfärens syntesrapport. I de två sistnämnda referenserna finns även en diskussion över hur dessa processer och deras osäkerheter hanteras i säkerhetsanalysen. Varje koppling mellan analysaktiviteterna i AMF-flödesschema har även tilldelats ett nummer som pekar på ett särskilt avsnitt i Indatarapporten (SKB TR-14-12), i vilken parametervärden för beräkningarna beskrivs. Beräkningsmodellerna för säkerhetsanalysen beskrivs i modellrapporten (SKB TR-14-11).

SKB definierar även randvillkor för att studera processer som påverkar olika fysiskt avgränsade systemkomponenter (t.ex. mellan avfallsform och avfallsbehållare, eller mellan avfallsbehållare och kringgjutning respektive betongbarriär). Dessa randvillkor definierar systemets begränsningar för vilken överföring av krafter, material eller energi som kan förekomma, t.ex. för spänningar, vattentryck, diffusion eller advektion.

SSM:s bedömning

SSM bedömer att SR-PSU:s FEP-katalog, interaktionsmatriser, AMF-flödesschema, processrapporter och syntesrapporter ger, i tillräcklig utsträckning, en övergripande bild av inbördes kopplingar mellan förhållandena i initialtillståndet och de inre betingelserna/interna processerna.

SSM anser att kontroll av fullständigheten för processtabeller, interaktionsmatriserna, AMF-flödesschema med länkarna till slutförvarssystemets komponenter som påverkas är

central i propageringen från processer till scenarioanalys och bör därför erhålla speciellt fokus från SKB även under framtida säkerhetsanalyser i samband med SKB:s program för utbyggnaden av SFR.

2.6 Yttre betingelser

Beskrivning av SKB:s underlag

Yttre betingelser, eller externa förhållanden, grupperas av SKB i SR-PSU enligt följande kategorier:

- klimatrelaterade frågor
- storskaliga geologiska processer och effekter
- framtida mänskliga handlingar
- övrigt (ex. meteoritnedslag)

Tidpunkten för och omfattningen av framtida klimatförändringar är osäkra i de tidsperspektiv som hanteras i säkerhetsanalysen (SKB TR-13-05). På en tidsskala av 100 000 år är det inte möjligt att förutsäga en specifik framtida klimatutveckling. I likhet med SKB:s tidigare analyser av säkerhet efter förslutning för SFR (SAR-08) och för slutförvaret för använt kärnbränsle (SKB TR-11-01) bedömer dock SKB att det intervall inom vilket klimatet i Sverige skulle kunna variera under de kommande 100 000 åren kan förutsägas med tillräcklig tillförlitlighet. I stället för att fokusera på den mest sannolika framtida klimatutvecklingen är strategin i SKB:s säkerhetsanalyser att identifiera, beskriva och analysera detta variationsintervall, inklusive dess extremer. Inom dessa gränser definieras ett antal karakteristiska klimattillstånd (SKB, 2015, avsnitt 3.5.1). De tre klimattillstånd som är relevanta för Forsmark är:

- ett tempererat klimattillstånd
- ett periglacialt klimattillstånd
- ett glacialt klimattillstånd

Syftet med att identifiera dessa klimattillstånd är att skapa ett ramverk för att analysera klimatrelaterade processer av betydelse för slutförvarets långsiktiga strålsäkerhet.

Radioaktiviteten hos avfallet i SFR avtar till låga nivåer inom de första 10 000 åren efter förslutning, vilket motiverar en total analysperiod om 100 000 år. Den kortare analysperioden för SFR, samt ett grundare förvarsdjup (60–140 m för SFR jämfört med 450–470 m för slutförvaret för använt kärnbränsle), kräver mer fokus på klimatutvecklingen under de närmaste tiotusentals åren i SR-PSU, i jämförelse med säkerhetsanalysen SR-Site i vilken det finns ett fokus på inverkan av hela glaciationscykler (SKB, 2015, avsnitt 3.5.1). Den tidigast möjliga tidpunkten för permafrosttillväxt och frysning av barriärkonstruktionerna i SFR är då av stor vikt. SKB:s bedömning är att den etablerade vetenskapliga förståelsen pekar på att effekterna av de mänskliga aktiviteterna förväntas påverka klimatet väsentligt under de närmaste 50 000 åren, eller till och med 100 000 åren, till följd av ökade koncentrationer av koldioxid i atmosfären (SKB TR-14-01 avsnitt 3.5.1). SKB framhåller vidare att denna bedömning stämmer överens med den bedömning som gjorts av tre välrenommerade klimatforskare som anlitats av SKB som granskare av SKB TR-13-04 och SKB TR-13-05 (SKB dokID 1564242, avsnitt 2.5).

De klimatrelaterade processer som SKB har identifierat som betydelsefulla för förvaret för låg- och medelaktivt avfall i Forsmark, och som därför analyseras i säkerhetsanalysen SR-PSU sammanfattas i följande klimatrelaterade FEP (SKB, 2015, avsnitt 3.5.1):

- Permafrostutveckling; en sänkning av temperaturen i berggrunden som orsakar frysning av betong- och bentonitbarriärer i SFR.
- Inlandsisens dynamik och hydrologi; tillväxt av inlandsis ovanför förvaret orsakar höga hydrostatiska tryck och tryckgradienter, vilket påverkar förvarets konstruktioner.
- Glaciala isostatiska förändringar och strandlinjeförskjutning; påverkar potentialen för brunnborrning i närheten av förvaret.
- Denudation (nednötning av markytan); som ett resultat av bl.a. den glaciala erosion som sker när inlandsisen befinner sig över området, kommer det radioaktiva avfallet närmare markytan.

Vidare har följande FEP kopplade till faktorer som påverkar den globala klimatutvecklingen, samt effekterna av naturlig och av människan påverkad klimatutveckling, identifierats:

- Klimatdrivning
- Klimatutveckling; global uppvärmning ger långa perioder med infiltration av meteoriska vatten och minskning av grundvattnets salthalt när markytan ovanför förvaret ligger ovanför havsnivån.

Dessa är också de FEP som SKB inkluderar i sin FEP-katalog för analysen SR-PSU. I Klimatrapporten (SKB TR-13-05) återges en utförlig beskrivning av:

- 1) den metod som SKB tillämpar för att hantera klimatfrågorna baserat på de klimatrelaterade processerna som har identifierats,
- 2) det vetenskapliga kunskapsläget om global och regional klimatutveckling, historiskt och i framtiden, samt
- 3) de klimatfall som SKB propagerar till den fullständiga säkerhetsanalysen.

Gällande FEP-kategorin om storskaliga geologiska processer och effekter hänvisar SKB till de processbeskrivningar som finns i säkerhetsanalysen för kärnbränsleförvaret SR-Site (SKB TR-10-48). Där identifieras två storskaliga processer, den ”mekaniska utvecklingen” av platsen Forsmark och förekomsten av ”jordskalv” vid densamma. Dessa är samlingsnamn till flera processer som kan ha en effekt på SFR:s skyddsförmåga. I den mekaniska utvecklingen innefattas nutida bergspänningar, deras utveckling på grund av atlantryggens tektoniska tryck och den glacial-isostatiska landhöjningen. I processen jordskalv ingår intra-plattektoniska samt post-glaciala jordskalv.

I framtida mänskliga handlingar inräknas alla mänskliga aktiviteter som genomförs av människor som inte har kännedom om förvaret och/eller dess funktion och syfte. Detta innebär att handlingarna i denna FEP-kategori är ”oavsiktliga”. Dessa handlingar innebär antingen oavsiktlig borrning i slutförvaret (t.ex. prospekteringsborrning), eller mänsklig påverkan av grundvattentillstånd (t.ex. storskalig vattenverksamhet). Dessa fall kategoriseras som restscenarier i enlighet med SSM:s föreskriftskrav. Konsekvensen av en fortsatt exploatering av brunnar och borrhål samt avledning av vatten från brunnar och

borrhål som har genomborrat slutförvaret antas av SKB däremot kunna leda till mindre sannolika scenarier och bidra till riskanalysen. Dessa fall behandlas således som en särskild FEP ("borrad brunn") utanför kategorin om framtida mänskliga handlingar.

SSM:s bedömning

Enligt kraven i bilaga 1, SSM2008:21, bör säkerhetsanalysen ge en klar bild av FEP som påverkar barriärernas funktioner samt belysa inbördes kopplingar mellan dessa FEP. SSM anser att SKB:s FEP-inventering och beskrivning med avseende på betydelsen av klimatutveckling är tillräckligt tydlig och omfattande. SSM:s externa experter (SSM 2016:12, del 3) lyfte även fram möjlig påverkan från ett framtida slutförvar av använt kärnbränsle på SFR som inte finns utförligt beaktad i SR-PSU. I svaret till en kompletteringsbegäran avseende händelseinventering (SKB dokID 1535376) har SKB tydliggjort grupperingen av yttre händelser som kan komma att tillämpas inför framtida säkerhetsredovisningar vilket SSM ser positivt på.

Vidare noterar SSM att det inte förekommer FEP som tar hänsyn till att eventuella brister i slutförvarsbarriärerna som uppkommer under uppförande och driften av den utbyggda anläggningen och som kan leda till brister i barriärernas funktioner efter förslutning av förvaret. Ett konkret exempel på detta är de identifierade sprickorna i befintligt SFR (1BMA-förvardsdelen), vilket har betydelse för säkerhetsfunktionen lågt flöde i förvarsutrymmen. SSM anser därför att SKB:s FEP-hantering inför kommande steg bör beakta ett alternativt initialtillstånd för 1BMA, vilket baseras på betongkonstruktionens nuvarande tillstånd. Osäkerheter kopplade till en snabbare degradering av betongen utifrån ett alternativt initialtillstånd skulle på så vis hanteras explicit snarare än genom beaktande av en accelererad betongdegradering som tillskrivs processosäkerheter snarare än osäkerheter kopplade till initialtillståndet.

2.7 Säkerhetsfunktioner och säkerhetsfunktionsindikatorer

Beskrivning av SKB:s underlag

I (SKB, 2015, avsnitt 2.1.2) definierar SKB två övergripande långsiktiga säkerhetsprinciper, *Begränsad mängd långlivade radionuklider* och *Fördröjning av uttransport av radionuklider*. Säkerhetsprinciperna kan brytas ned ytterligare i generella säkerhetsfunktioner för förvaret. De identifierade säkerhetsprinciperna och säkerhetsfunktionerna i SR-PSU kan sammanfattas i följande tabell.

Tabell 2.1. Säkerhetsprinciper och säkerhetsfunktioner i SR-PSU.

Säkerhetsprincip	Delas upp i generella säkerhetsfunktioner
Begränsad mängd långlivade radionuklider	Begränsad radioaktivitet
Fördröjning av uttransport av radionuklider	Lågt vattenflöde
	God retention
	Undvik brunnar i förvarets direkta närhet

För att utvärdera hur en säkerhetsfunktion påverkar förvarets långsiktiga strålsäkerhet, ska varje säkerhetsfunktion knytas till en eller flera mätbara eller beräkningsbara storheter, så kallade säkerhetsfunktionsindikatorer (SKB, 2015, kapitel 5).

Säkerhetsfunktionerna och säkerhetsfunktionsindikatorerna används som ett hjälpmedel i formuleringen av huvudscenariot och de mindre sannolika scenarierna. De kan också användas för andra ändamål, t.ex. för att bedöma alternativa lokaliseringar av slutförvaret, som hjälpmedel för att definiera utformningskrav, som indata till den fortsatta teknikutvecklingen, eller för att utarbeta acceptanskriterier för avfallet.

SSM:s bedömning

SKB tillämpade metoden med säkerhetsfunktioner redan i säkerhetsanalysen SAR-08 för SFR (SKB R-08-12), som i huvudsak liknade metoden som används i SR-Can (SKB R-06-09). Generellt anser SSM att detta förfarande utgör en lämplig metodik för sitt ändamål. Den utgör en tydlig grund för definition av scenarier, för kravställning på förvarskomponenter samt för en process för optimering och fastställande av bästa möjliga teknik (BAT). Dock håller SSM med sin externa expert (SSM 2016:09 del 5) om att av de fyra säkerhetsfunktioner som SKB har definierat är endast två av dessa, retention av radionuklider och lågt flöde, direkt relaterade till utformningen av systemkomponenter. Det vore lämpligt att överväga identifierade säkerhetsindikatorer även som säkerhetsfunktioner, såsom exempelvis mekanisk stabilitet.

I SR-Site definierade SKB kriterier för säkerhetsfunktionsindikatorer för att avgöra huruvida en säkerhetsfunktion är uppfylld enligt särskilda villkor. I SR-PSU däremot hävdar SKB att prestanda av förvarets komponenter inte ändras i diskreta steg och att det därmed att det inte finns någon tydlig skillnad mellan acceptabel och bristfällig prestanda (SKB 2015, avsnitt 5.1). Samma kontinuerliga utveckling av många av förvarets komponenter gäller för båda typerna av anläggningar och det är därför oklart varför SKB inte har fastställt kriterier för alla säkerhetsfunktionsindikatorer i SR-PSU. Ett relevant exempel är SKB:s val av hydraulisk kontrast som säkerhetsfunktionsindikator för lågt flöde genom avfallet i 1- och 2BMA. SSM anser att separata säkerhetsfunktioner för betongkonstruktionerna och återfyllnaden skulle på ett tydligare sätt definiera krav som måste ställas på dessa komponenter utifrån hur indikatorerna utvecklas över tid.

SSM begärde komplettering från SKB i denna fråga (SSM2015-725-43, SSM2015-725-36) varpå SKB kompletterade ansökan (SKB dokID 1564154, SKB dokID 1572176, samt tillhörande bilagor) för att motivera varför man inte tillämpade kvantitativa kriterier på valda säkerhetsfunktioner. SKB:s huvudsakliga argument är att det inte finns någon tydlig skiljelinje mellan acceptabel och bristfällig funktion på enskilda barriärer. SSM konstaterar dock att uppfyllelse av en enskild funktion i sig inte är ett krav för att förvaret som helhet uppnår erforderlig skyddsförmåga, vilket SKB även påpekar. Ett kvantitativt kriterium ger dock en av SKB definierad tydlig gräns för vilka osäkerheter beaktas inom säkerhetsanalysens huvudscenario, respektive i mindre sannolika scenarier för fall där en specifik indikator inte är uppfylld. SSM anser således att SKB fortsättningsvis som huvudprincip bör vidareutveckla och förtydliga säkerhetsanalysen med hjälp av kvantitativa kriterier. Tillämpningen av hydraulisk kontrast som säkerhetsfunktionsindikator för betongkonstruktioner diskuteras i mer i detalj i avsnitt 4.3 och 4.6 i del III i denna rapport.

SSM anser att SKB kan förbättra användningen av säkerhetsfunktioner i kommande säkerhetsanalyser för SFR genom att separera säkerhetsfunktioner som gäller för teknisk barriär respektive geosfären, samt etablera säkerhetsfunktioner som kopplas direkt till gasproduktion.

2.8 Hantering av osäkerheter

Beskrivning av SKB:s underlag

SKB anger att det är viktigt att kunna stödja alla påståenden och antaganden i analysen med vetenskapliga och tekniska argument för att ge trovärdighet åt de beräknade resultaten (SKB 2015, avsnitt 2.6.2). Den framtida utvecklingen av förvaret bestäms av initialtillståndet, interna processer och externa förhållanden. Osäkerheter kring beskrivningarna och förståelsen av dessa faktorer kommer alltid att i viss mån bli bestående. Alla aspekter av den framtida utvecklingen av förvarssystemet och därmed säkerhetsanalysen, är därmed förenade med osäkerheter. Hur dessa osäkerheter hanteras är av central betydelse i alla säkerhetsanalyser. I säkerhetsanalysen SR-PSU har SKB kategoriserat osäkerheterna i stora drag som systemosäkerhet/scenarioosäkerhet, konceptuell osäkerhet/modellosäkerhet och dataosäkerhet.

SSM:s bedömning

SSM anser att SKB:s övergripande strategi och metodik för hantering av osäkerheter är acceptabel, i linje med IAEA:s ISAM projekt (IAEA, 2004) och i liknande osäkerhets-hantering i andra länders program för slutförvaring av radioaktiva avfall.

SSM anser liksom sin externa expert (SSM 2016:09 del 5) att SKB på ett lämpligt sätt har adresserat system- och scenarioosäkerhet, bl.a. genom ett systematiskt övervägande av FEP från interna och internationella FEP-listor för att så långt som möjligt säkerställa att alla relevanta FEP beaktas. SKB:s användning av säkerhetsfunktioner för att styra urvalsprocessen för sina scenarier bedöms även vara lämplig. SSM kommenterar SKB:s val av scenarier mer utförligt i kapitel 9 medan en mer utförlig bedömning av SKB:s hantering av systemosäkerheter återfinns i kapitel 11.

SSM anser att SKB behöver ta fram en mera explicit adressering av konceptuell/modellosäkerhet i kommande säkerhetsanalyser. Komplexa modeller används inom flera områden i SR-PSU exempelvis beträffande radionuklidtransportmodeller i närzonen. SKB har utformat detaljerade och komplexa modeller av radionuklidtransport från 1BMA och 2BMA till geosfären. Stora insatser har krävts för att representera den detaljerade geometrin av närområdet, rumsliga variationer i närområdets flöden, och utveckling av systemet orsakade av förändringar i den omgivande miljön och barriärdegradering (SSM 2017:30 del 1, kapitel 6). SSM anser att SKB i kommande säkerhetsanalyser bör eftersträva en parallell användning av enklare, kompletterande alternativa modeller som på ett enklare sätt kan kvalitetssäkras och reproduceras.

Ett stort fokus i SSM:s granskning av SKB:s transportmodeller har legat på förvardsdelen 2BMA vars referensutförning genomgått en vidareutveckling under SSM:s beredning av tillståndsansökan. SSM anser att SKB i kommande säkerhetsanalyser bör utveckla en mer realistisk representation av den vidareutvecklade referensutförningen i radionuklidtransportmodelleringen. De föreslagna förändringarna i konstruktionen liksom avfallets varierande cementinnehåll behöver beaktas på ett mer realistiskt och transparent sätt. Konceptuella osäkerheter och modellosäkerheter bedöms även i kapitel 9 och 10.

2.9 Tillämpbarhet av modeller, parametervärden och andra förutsättningar

Beskrivning av SKB:s underlag

SKB:s beskrivning av utvecklingen av slutförvarssystemet baseras delvis på resonemang, delvis på modelleringsresultat och diskuteras i kapitel 6 i säkerhetsanalysen SR-PSU

(SKB, 2015). SKB:s modeller för radionuklidtransport och dosberäkningar beskrivs främst i kapitel 9 i samma rapport. Avseende tillämpningen av dessa ges i SR-PSU kortfattade beskrivningar av använda data och modeller samt utvalda modellresultat och slutsatser. Det radionuklidinventarium som ligger till grund för dessa beräkningar redogörs för i den del av säkerhetsanalysen som rör förvarets initialtillstånd (SKB, 2015, tabell 4-6). Mera detaljerad information om modeller, parametervärden och andra förutsättningar redovisas av SKB i modellrapporten (SKB TR-14-11), datarapporten (SKB TR-14-10), och indatarapporten (SKB TR-14-12). Radionuklidtransport- och dosberäkningarna redovisas i en separat rapport (SKB TR-14-09). Även i andra mer detaljerade rapporter för bland annat geosfären (SKB TR-14-05), biosfären (SKB TR-14-06) och klimat (SKB TR-13-06) redovisas information om data och modeller som tillämpas i säkerhetsanalysen. Tabell 2-1 i modellrapporten (SKB TR-14-11) beskriver vilken datorkod som använts för respektive modelleringsaktivitet.

SSM:s bedömning

SSM bedömer att SKB i SR-PSU och underliggande dokumentation, i synnerhet i modellrapporten (SKB TR-14-11) har lagt rimligt stor vikt vid att beskriva och utvärdera de modeller som har använts i säkerhetsanalysens beräkningar. SKB har även redovisat och tillämpat metoder för att utvärdera användningsområden för dessa modeller inklusive deras begränsningar. SSM anser att SKB på ett ändamålsenligt sätt har beskrivit och bedömt de använda modelleringskoderna och värderat deras tillämpbarhet. SSM bedömer att SKB i tillräcklig utsträckning har redogjort för de parametervärden som har använts i beräkningarna och har värderat dem utifrån deras betydelse och tillämpning i säkerhetsanalysen. SSM konstaterar att den så kallade modellrapporten och datarapporten bidrar till tillämpning av ett strukturerat och konsekvent förhållningssätt till modeller och data över de många vetenskapliga och tekniska områden som ingår i säkerhetsanalysen.

2.10 Kvalitetssäkring

I SSMFS 2008:1 4 kap. 1 § anges att modeller och beräkningsprogram som används för säkerhetsanalyser ska vara validerade och verifierade samt att osäkerheter ska vara beaktade och data kvalitetssäkrade. Dessutom anges i SSMFS 2008:21 11 § bilaga 1 att tillämpbarheten hos använda modeller, parametervärden och andra förutsättningar som används för beskrivning och beräkning av slutförvarets funktioner ska redovisas så långt som rimligen möjligt. I de allmänna råden till SSMFS 2008:21 anges vidare att tillståndshavare bör förvissa sig om att de åtgärder som vidtas för att uppfylla kraven på kvalitetssäkring enligt SSMFS 2008:1 också är tillräckliga för med avseende på säkerheten efter förslutning. Utöver detta anges att noggranna hänvisningar till vetenskapligt underlag bör göras och att bedömningar bör dokumenteras. I SSMFS 2008:37 anges att det bör framgå hur kvalitetssäkring använts i arbetet med slutförvaret och tillhörande riskanalyser.

I SSMFS 2008:38 ställs krav på arkivering vid kärntekniska anläggningar av dokumentation som berör verksamheten från strålskyddssynpunkt.

Beskrivning av SKB:s redovisning

SKB anger att säkerhetsanalysen SR-PSU har utförts i enlighet med SKB:s kvalitetsstyrningssystem (SKB, 2015, avsnitt 2.7). SKB påpekar vidare att ledningssystemet uppfyller kraven i ISO 9001:2008 (SKB, 2015, avsnitt 4.1.1). När det gäller säkerhetsanalysen med dess huvudreferenser och andra referenser publicerade av SKB har sakgranskningar genomförts som är dokumenterade på ett spårbart sätt. Säkerhetsanalysprojektet har arbetat med olika dokument som definierar kraven som ställs utifrån kraven i

föreskrifter och myndighetsbeslut. Dessa presenteras som bilagor till säkerhetsanalysen (SKB, 2015, bilagor A- D).

För projektledning och säkerhetsgranskning har ett antal styrdokument tagits fram som berör övergripande kvalitetsfrågor för projektet och bland annat instruktioner för att hantera processbeskrivningar, modeller och data i SR-PSU (SKB, 2015, avsnitt 2.7, tabell 2-2). SKB beskriver kvalitetssäkringen och tillämpbarheten av modeller i den så kallade *model summary* rapporten (SKB TR-14-11) och av data i datarapporten (SKB TR-14-10). Kvalitetssäkringsaspekter av hanteringen av egenskaper, händelser och processer (*features, events, and processes*, FEP) presenteras i FEP rapporten (SKB TR-14-07, avsnitt 2.3).

SKB har även lämnat in förtydliganden rörande vissa frågor som lyfts fram av SSM:s externa experter (SSM 2016:09 del 4) och som berör kvalitetssäkringsfrågor (SKB dok ID 1530071).

SSM:s bedömning

SSM bedömer att SKB:s kvalitetssäkringsplan för säkerhetsanalysen SR-PSU generellt sett omfattar de kvalitetssäkringsfrågor som är relevanta för att genomföra en säkerhetsanalys för långsiktig strålsäkerhet och att den hänvisar till lämpliga kvalitetssäkringsdokument för detaljer inom respektive område.

SSM har även låtit en extern expert granska SKB:s angreppsätt när det gäller kvalitets-säkring (SSM 2016:09, del 4). Granskningen har riktats mot SKB:s styrdokument som rör kvalitetssäkringsplaner och tillhörande instruktioner. Den har även innefattat stickprovskontroller när det gäller kvalitetssäkringen av modelleringsverktyg och data.

Beträffande kvalificering av äldre dokument som inte har genomgått en tydligt dokumenterad kvalitetssäkringsprocedur bedömer SSM:s externa expert att en korrekt tillämpning av SKB:s gällande procedur ger förtroende för tillförlitligheten av argument kring slutförvarets säkerhet (SSM 2016:09 del 4). SSM noterar att exempelvis processrapporten för de tekniska barriärerna (SKB TR-14-04) pekar på att en stor majoritet av referenserna har genomgått peer-review eller annan typ av faktagranskning. SSM bedömer således att äldre referenser generellt sett kan anses ha kvalificerats på ett godtagbart sätt.

Vidare bedömer SSM att SKB:s styrdokument för projektledning och säkerhetsgranskning generellt behandlar frågor som påverkar säkerhetsanalysens kvalitet på ett uttömmande sätt. När det gäller SKB:s tillämpning av styrdokumentet har vissa svagheter identifierats, exempelvis avseende kvalificering av vissa data som redovisas i datarapporten. SSM anser att SKB behöver rätta till sådana svagheter under beaktande av betydelsen av olika data för säkerhetsanalysens resultat i kommande analyser.

SKB har tagit fram styrdokument rörande instruktioner för utveckling av processbeskrivningar och FEP-databasen. SSM bedömer att dessa generellt sett är ändamåls-enliga. SSM:s externa expert noterar att instruktionerna inte är tillämpliga på biosfärsprocesser (SSM 2016:09, del 4), men att SKB i biosfärsrapporten (SKB TR-14-06) ändå diskuterar överensstämmelsen mellan sin FEP-hantering för biosfären och IAEA:s BIOMASS-metod. SKB hänvisar i instruktionen för utveckling av FEP-databasen till den som gäller för utveckling av processbeskrivningar av biosfärsprocesser. SSM bedömer att SKB i framtida steg i den stegvisa prövningen bör se till att de olika instruktionerna är samstämmiga och att biosfärsfrågor hanteras på ett lämpligt sätt i instruktionerna. SSM:s externa expert noterar vidare att det inte har definierats något krav för att säkerställa att processbeskrivningarna är i överensstämmelse med diskussionerna av processerna som är

kopplade till de data som presenteras i datarapporten. SSM bedömer en sådan kontroll bör tillämpas i kommande steg i den stegvisa prövningsprocessen.

SSM bedömer att SKB:s instruktioner för modellrapporten (SKB TR-14-11) innefattar lämpliga krav på koder som används inom säkerhetsanalysen. SSM anser att det är godtagbart att SKB förlitar sig på tillverkarnas kvalitetssäkring för koder som klassas som 1 till 3 i SKB:s klassificering (SKB TR-14-11 avsnitt 2.3) med tanke på att sådana koder tillämpas allmänt i ett flertal andra sammanhang och har en omfattande dokumentation. SSM:s externa expert pekar på att dokumentationen av koderna i stort sett syftar till modellvalidering, men att mallen för modellrapporten främst handlar om beskrivningar av matematiska modeller och lösningsmetoder (SSM 2016:09, del 4). SSM anser att modellernas användbarhet för sitt syfte snarare är föremål för sakgranskningen än en kvalitetssäkringsfråga och att det därmed är godtagbart att modellrapporten syftar till en beskrivning av koderna, hantering av data och anledningen till att koderna tillämpas inom säkerhetsanalysen. Modellernas tillämpbarhet diskuteras hellre i samband med dokumentationen av tillämpningen av koderna för de givna ändamålen.

SSM noterar att detaljeringsgraden på beskrivningarna av koderna är varierande och att koden FastReact som används för geokemiska beräkningar inte beskrivs i modellrapporten (SKB TR-14-11). SSM bedömer att dessa svagheter i modellrapporten bör åtgärdas i samband med framtida säkerhetsanalyser.

SSM bedömer att instruktionerna för dataleveranser är uttömmande beträffande krav på data, dokumentation av data och tillhörande osäkerheter samt datakvalificering. SSM bedömer vidare att SKB:s procedur för datahantering av betydelse för slutförvarets strålsäkerhet är lämplig (SSM 2016:09, del 4). SKB:s instruktion för kvalitetssäkring av modeller och data listar ett antal objekt som är särskilt viktiga för kvalitetssäkringen. SSM bedömer att SKB i framtagande av framtida säkerhetsanalyser bör se till att instruktionen är samstämmig och refererar till relevanta instruktioner för de delar som nämns men som inte diskuteras närmare i dokumentet.

SSM bedömer att SKB:s instruktioner för kvalificering av data till SR-PSU är heltäckande med avseende på krav på data, dokumentation, osäkerheter och variabilitet, samt kvalificering. En stickprovsgranskning av SSM:s externa expert med hänsyn till parametrar för korrosion av metaller pekar dock på ett antal brister i tillämpningen av instruktionen i förhållande till de av SKB definierade kvalitetssäkringskraven (SSM 2016:09, del 4 avsnitt 2.10). Det är tveksamt ifall undersökta data har kvalificerats på ett lämpligt sätt för tillämpning i säkerhetsanalysen. SSM bedömer dock att bristerna inte är av sådan dignitet att den äventyrar trovärdigheten till säkerhetsanalysen i sin helhet. SSM har för de centrala delarna av säkerhetsanalysen granskat tillämpningen av data för att kunna bedöma resultatens trovärdighet. Dessa bedömningar återfinns löpande i rapporten i relevanta delar (kapitel 3, 4, 5, 6, 7 och 10).

SSM har vid granskningen av SKB:s ansökan i enstaka fall identifierat svårigheter med spårbarheten och motsägelser. Dessa beskrivs i berörda delar i denna rapport. Sådana fel kan anses oundvikliga i ett så omfattande projekt som SR-PSU. SSM anser dock att SKB behöver fortsätta arbeta med förbättring av kvalitetssäkring och dess tillämpning inom säkerhetsanalysen för att så långt som rimligt möjligt undvika sådana fel.

SSM har även låtit en extern expert granska kvalitetssäkringen av en utvald kod, Ecolego. Expertens slutsats är att modellrapporten (SKB TR-14-11) inte är uttömmande när det gäller beskrivningen av Ecolego men att relevant information dock återfinns i andra rapporter (SKB TR-14-09, SKB R-13-46). Sammantaget bedöms beskrivningarna vara

tillräckliga för att ge förtroende för att Ecolego har en kvalitetssäkringsstandard som är lämplig för säkerhetsanalysen och att koden har tillämpats på ett godtagbart sätt. SSM bedömer att denna stickprovsgranskning stärker slutsatsen att SKB:s kvalitetssäkring av modelleringen är lämplig.

2.11 Återkoppling till teknikutveckling, framtida analyser och SKB:s kärnavfallsprogram

Beskrivning av SKB:s underlag

Förutom bedömningen av slutförvarets skyddsförmåga är andra viktiga syften med säkerhetsanalysen (SKB, 2015, avsnitt 1.5) att ge återkoppling till arbetet med detaljutformning av förvaret, till framtagande av SKB:s Fud-program (forskning, utveckling och demonstration), till genomförande av kommande detaljerade platsundersökningar samt till framtagning av kommande säkerhetsanalyser. Erfarenheter och återkoppling från tidigare säkerhetsanalyser för befintligt SFR har tillämpats. SKB:s tiostegsmetodik härrör från säkerhetsanalysen SR-Can men metodiken har utvecklats i och med efterföljande säkerhetsanalyser inom andra delar av SKB:s kärnavfallsprogram (SAR-08, SR-Site). Säkerhetsanalysen SR-PSU har utvecklats jämfört med SAR-08 genom att ytterligare platsundersökningar har genomförts liksom genom att uppdateringar av radionuklidinventariet har gjorts. Även fördjupade klimatrelaterade studier avseende permafrosttillväxt och frysning av barriärerna har utförts. En uppdatering av FEP-katalogen har gjorts baserade på en förnyad analys av egenskaper, händelser och processer av relevans för SFR. Denna FEP-databas innefattar både SFR och slutförvaret för använt kärnbränsle. SKB har fokuserat på en mer ingående beskrivning av initialtillståndet där även en förslutningsplan har tagits fram (SKB dokID 1358612). En fördjupad beskrivning av ett antal särskilt viktiga interna processer och förlopp har gjorts, bland annat avseende förvarets redox-utveckling, den detaljerade beskrivningen av vattenflödet i förvaret och dess närhet, samt betongbarriärernas kemiska och mekaniska degradering (SKB TR-13-08, SKB TR-12-12, SKB R-13-40).

Inom ramen för SR-PSU har SKB identifierat ett antal områden där fortsatt forskning erfordras (SKB, 2015, avsnitt 11.5.3). Dessa områden innefattar:

- *Metoder för noggrannare inventarieuppskattningar:* i synnerhet riktat mot långlivade betastrålare (C-14, Cl-36 och Tc-99). Även inventariet av Mo-93 och Se-79 behöver ytterligare undersökas.
- *Svällande avfall:* främst torkade jonbytarmassor som är konditionerade i bitumen.
- *Korrosionsprodukter:* Magnetit (Fe_3O_4) antas buffra reducerande redoxförhållanden under hela analysperioden. Eftersom denna mineral har större molvolym än stål uppstår en svällningseffekt som kan resultera i eventuell sprickbildning. Omfattningen av denna svällning och sprickbildning som funktion av tiden behöver undersökas.
- *Gasbildning:* noggrannare analyser av pH-utvecklingen behöver göras för att minimera av osäkerheter avseende gasbildning
- *Självläkning av bentonit:* Vissa studier tyder på att även en delvis eroderad buffert självläker. Denna fråga behöver dock undersökas ytterligare.
- *Kemiska processer i och hydrauliska egenskaper hos degraderad betong:* Bildning av expansiva mineraler kan leda till sprickbildning medan upplösning, utfällning och omkristallisation kan leda till igensättning av sprickor. Båda typerna av processer påverkar betongens hydrauliska egenskaper. Även

återfyllnadsmaterialets egenskaper kan påverkas. Ytterligare studier bedöms vara nödvändiga.

- *Jonbyte i bentoniten:* Kan förändra svälltrycket. Ytterligare studier fordras för att verifiera preliminära slutsatser avseende minskat svälltryck som följd av jonbyte.
- *Saltanrikning:* Salter i avfallet (BMA) kan påverka betongens egenskaper. Antagandet att modellering av avfallsdomänen som omrörd tank kommer att studeras vidare.
- *Transport av U-238 i geosfären:* Ytterligare studier av geokemiska förhållanden i Forsmarksområdet kommer att vara viktiga för att kvantifiera transport av naturligt uran i geosfären vid utvärderingen av SFR-rörvarets risk. Denna process anses dock ha beaktats på ett pessimistiskt sätt i SR-PSU.
- *Spridning av C-14 i akvatiska ekosystem och omsättning och ackumulering av Cl-36, Mo-93 och U-238 i ytsystem:* Kompletterande fältstudier och modellering planeras.
- *Radionuklidtransport och biologiskt upptag i ytsystem*
- *Framtida klimat- och strandnivåutveckling:* Modellen för att beskriva permafrostutveckling kommer att vidareutvecklas för att beakta resultat från Greenland Analogue Project (GAP).

SSM:s bedömning

Avseende återkoppling från tidigare säkerhetsanalyser anser SSM att SKB har uppdaterat den föreliggande säkerhetsanalysen på ett ändamålsenligt sätt. Detta har uppnåtts dels genom utveckling av den metodik som ligger till grund för utformningen av SR-PSU och som har beskrivits och bedömts i detta kapitel, dels genom ett övergripande beaktande av de förelägganden som utfärdats samt synpunkter och bedömningar som lämnats i samband med granskningen av föregående säkerhetsanalys för SFR, SAR-08.

De områden SKB har identifierat som varande i behov av vidare forskning och/eller teknikutveckling anser myndigheten vara lämpliga och välgrundade givet de underlag som SKB presenterat med SR-PSU och tillhörande underlagsrapporter. SSM har även inom ramen för tillsynen av befintlig anläggning ställt krav på förbättrad kunskap avseende svällande avfall, karaktärisering av avfall och acceptanskriterier, samt degradering av betongbarriärer.

I övrigt sammanställs SSM:s bedömningar avseende behov av förbättrade eller fördjupade analyser, ytterligare forskningsbehov eller teknikutveckling löpande i granskningsrapporten.

2.12 Sammanvägd bedömning

Sammanfattningsvis anser SSM att SKB:s säkerhetsanalys är rimlig och liknar det tillvägagångssätt som används i liknande program för slutförvaring av radioaktivt avfall i andra länder. Den är baserad på antagandet att en omfattande projektspecifik FEP-lista kan härledas från etablerade FEP-listor och sedan användas för att utveckla modeller, scenarier och beräkningsfall för tillämpning i säkerhetsanalysen.

SSM anser att SKB:s tiostegsmetod, som bygger på SKB:s tidigare säkerhetsanalys för SFR, SAR 08 (SKB R-08-12), men även på säkerhetsanalyserna SR-Can (SKB TR-06-09), och SR-Site (SKB TR-11-01) för det planerade slutförvaret för använt kärnbränsle, är ändamålsenlig.

Övergripande bedömer SSM att redovisningen av förhållanden, händelser och processer (FEP) i analysen av SFR-förvaret är ändamålsenlig och relevant för att demonstrera dess långsiktiga strålsäkerhet. FEP-katalogen innehåller i stort den nödvändiga information som möjliggör den fortsatta FEP-hanteringen med att identifiera särskilt betydelsefulla FEP samt att välja relevanta scenarier i SR-PSU.

Generellt anser SSM att tillämpandet av säkerhetsfunktioner är en lämplig metodik och att metodiken tydliggör grunden för ett bredare spektrum av scenarier. Detta ligger i sin tur till grund för definition av kraven för förvarskomponenter samt för en process för optimering och bästa möjliga teknik (BAT). Dock anser SSM att av SKB:s fyra definierade säkerhetsfunktioner kan endast två, retention av radionuklider och lågt flöde, betraktas som säkerhetsfunktioner i den meningen att de är direkt relaterade till utformningen av systemkomponenter. Däremot finns ett antal säkerhetsfunktionsindikatorer som har identifierats och det vore lämpligt att överväga några av dessa som säkerhetsfunktioner, såsom exempelvis mekanisk stabilitet.

SSM anser att SKB fortsättningsvis som huvudprincip bör vidareutveckla och förtydliga säkerhetsanalysen med hjälp av kvantitativa kriterier för säkerhetsfunktioner. Ett kvantitativt kriterium ger en av SKB definierad tydlig gräns för vilka osäkerheter beaktas inom säkerhetsanalysens huvudscenario, respektive i mindre sannolika scenarier för fall där en specifik indikator inte är uppfylld.

Avslutningsvis anser SSM att SKB:s övergripande strategi och metodiken för hantering av osäkerheter är i linje med internationell vägledning (IAEA, 2004) och den metodik som oftast används i andra program för slutförvaring av radioaktivt avfall.

3 Geosfären och platsförutsättningar

3.1 Inledning

I detta kapitel beskrivs SSM:s granskning och bedömning av SKB:s redovisningar av de geologiska, bergmekaniska, hydrogeologiska, geokemiska förhållandena samt det ytnära systemets förhållanden vid slutförvarets plats. Dessutom ingår SSM:s granskning och bedömning av SKB:s redovisning av den långsiktiga klimatutvecklingen i detta kapitel.

De ovannämnda förhållandena avspeglar ”initialtillståndet” av det intakta urberget som SKB redovisar i sin platsbeskrivande modell (SKB TR-11-04 med tillförande referenser). Utvecklingen av det ytnära systemet behandlas även i detta kapitel. Den långsiktiga klimatutvecklingen redovisas av SKB i Klimatrapporten (SKB TR-13-06 med referenser däri). Syftet med att samla ihop SKB:s redovisningar relaterade till platsens förhållanden och framtida klimatutveckling är att belysa inverkan av externa händelser på slutförvaret i ett och samma kapitel.

Avgränsningen mellan platsens initiala förhållanden som bedöms i detta kapitel och de termiska, hydrauliska, mekaniska och kemiska processer som sker i bio- och geosfären efter förslutning och som granskas och bedöms i senare kapitel i denna granskningsrapport, är inte alltid uppenbar och enkel att utföra. Fokus i detta kapitel ligger dock på karaktärisering av det idag intakta berget och dagens ytnära system samt tillhörande parametervärden. Detta ligger till grund för SKB:s referensutformning, för

parametrisering av SKB:s modeller av geosfärens skyddsförmåga samt dess utveckling under uppförande- och driftfasen samt tiden efter förslutningen.

Enligt de allmänna råden till 2 och 3 §§ i SSMFS 2008:21 kan den geologiska formationen på platsen för ett slutförvar i sig själv utgöra en naturlig barriär. Det är därför viktigt att de initiala förhållandena av geosfären karakteriseras och beskrivs på ett ändamålsenligt sätt. Dessutom utgör dessa initiala förhållanden begynnelsevillkoren för olika typer av modelleringar som tillämpas det beaktade slutförvarets strålsäkerhetsanalys.

Bilaga 1 till SSMFS 2008:21, avseende analysmetoder, kräver att det i säkerhetsredovisningen ska redovisas en klar bild av de förhållanden, händelser och processer ("features, events and processes, FEP") som kan påverka barriärernas funktioner samt de inbördes kopplingarna mellan dessa FEP. Relevanta scenarier för händelseförlopp och förhållanden som kan påverka den framtida utvecklingen av slutförvaret bör också beskrivas. SSM:s granskning och bedömning i detta kapitel kommer att ge underlag för SSM:s bedömning av förutsättning för uppfyllelse av dessa krav.

3.2 Långsiktig klimatutveckling

På tidskalor omfattande hela säkerhetsanalysen SR-PSU, som sträcker sig 100 000 år fram i tiden efter förslutningen, är klimatförändringar och klimatrelaterade förändringar de viktigaste externa faktorerna som påverkar förvaret. Klimatförändringar och klimatrelaterade processer styr utvecklingen av förvarsplatsens landskap och ytnära ekosystem. Klimatutvecklingen är därför betydelsefull för biosfärens utveckling och konsekvensen av utsläpp av radionuklider i tänkbara framtida miljöer. Flera klimatrelaterade processer är av stor vikt för förvarets utveckling över tid och kan påverka barriärernas funktioner. Ett långvarigt tempererat klimat med temperaturer liknande nutidens klimat eller varmare kan leda till en flera tusen år lång marin transgression med inträngning av salt grundvatten vilken följs av en längre period med infiltrationen av mindre salt meteoriskt vatten. Ett kallare klimat leder till lägre temperaturer på förvarsdjup med en möjlig risk för frysning av barriärerna i SFR. Tillväxten och avsmältningen av en inlandsis över förvarsområdet påverkar det hydrostatiska trycket, bergspänningar och grundvattenflöden samt grundvattenkemin på förvarsdjup. För att förstå förvarssystemets utveckling i ett långt tidsperspektiv ingår i SKB:s redovisning därför en detaljerad analys och bedömning av möjliga framtida klimatutvecklingar under de kommande 100 000 åren.

SKB:s klimatrelaterade underlag till säkerhetsanalysen SR-PSU baseras i hög utsträckning på den tidigare redovisningen till SKB:s säkerhetsanalys SR-Site (SKB, 2011). Underlaget till SR-Site har granskats utförligt och fokus i detta avsnitt ligger främst på att belysa de nya klimatrelaterade studier som SKB utfört till säkerhetsanalysen SR-PSU samt vilka ändringar som skett jämfört med tidigare säkerhetsanalyser.

3.2.1 Allmänt om klimatutvecklingen de kommande 100 000 åren

Beskrivning av SKB:s underlag

SKB:s redovisning av framtida klimatförändringar i Forsmark beskrivs i klimatrapporten (SKB TR-13-05) med en kort sammanfattning i huvudrapporten för säkerhetsanalysen SR-PSU (SKB 2015, avsnitt 3.5.1 och i avsnitt 6.2). Klimatrapporten baseras i hög utsträckning på den tidigare klimatrapporten till SKB:s säkerhetsanalys SR-Site (SKB, 2011).

SKB:s övergripande strategi vid hanteringen av den framtida klimatutvecklingen i säkerhetsanalysen SR-PSU är densamma som för de föregående säkerhetsanalyserna för använt kärnbränsle (SR-Site, SKB, 2011 och SR-Can, SKB TR-06-09) och för låg- och medelaktivt avfall (SAR-08, SKB R-08-130). I dessa säkerhetsanalyser gör SKB bedömningen att på en tidsskala av 100 000 år är den framtida klimatutvecklingen i Forsmark behäftad med så stora osäkerheter att det inte går att förutsäga en specifik framtida klimatutveckling med den tillförlitlighet som krävs för analysen av förvarets långsiktiga säkerhet. Tidsperioden för säkerhetsanalysen är 100 000 år för låg- och medelaktivt avfall, vilket kan jämföras med 1 000 000 (1 miljon) år för använt kärnbränsle. Detta innebär att SR-PSU hanterar en specifik 100 000-årsperiod, under vilken effekterna av mänskliga aktiviteter väntas vara stor (SKB TR-13-05, avsnitt 1.3.2). I motsats till detta hanterar säkerhetsanalyser för slutförvar för använt kärnbränsle en typisk 100 000-årsperiod som representerar naturliga klimatvariationer som finns registrerade i geologiska arkiv under de senaste 700 000 åren. SKB anser att deras vetenskapliga förståelse av effekterna av människans aktiviteter på den långsiktiga klimatutvecklingen har förbättrats under de senaste årtiondena. De kommande 100 000 åren väntas kännetecknas av en förlängd interglacial som varar i 50 000, eller till och med 100 000, år till följd av de höga koncentrationerna av koldioxid i atmosfären, i kombination med små variationer i inkommande solstrålning (SKB, 2015, avsnitt 1.3.2). SKB har i SR-PSU valt framtida klimatutvecklingar i enlighet med den strategi som använts i de tidigare säkerhetsanalyserna. I de tidigare säkerhetsanalysernas beskrivning av den framtida klimatutvecklingen använde SKB en rekonstruktion av den senaste istidens (Weichsel) klimatutveckling, tillsammans med en uppsättning andra klimatutvecklingar för att representera osäkerheten i framtida klimatutveckling (SKB TR-13-05, avsnitt 1.3.2). Dessa utvecklingar definierades baserat på:

- kunskapen om det historiska klimatet
- modelleringar av det framtida klimatet
- kunskapen om vilka processer som är av vikt för den långsiktiga strålsäkerheten för det förvarskoncept som analyseras.

Vidare betonade SKB att användningen av en rekonstruktion av Weichselglaciationscykeln för att beskriva det framtida klimatet inte skulle ses som att framtida glaciala- och periglaciala förhållanden gavs en större sannolikhet att inträffa än tempererade förhållanden utan den faktiska framtida klimatutvecklingen förväntades hamna någonstans mellan de framtagna klimatfallen (Näslund m. fl., 2013).

Eftersom radioaktiviteten hos avfallet i SFR avtar till låga nivåer inom de första 10 000 åren efter förslutning samt att förvarsdjupet ligger på ca 60-140 m djup fokuserar SKB på de inledande tiotusentals åren av klimatutvecklingen efter förslutningen av SFR (SKB, 2015, avsnitt 3.5.1). En klimatrelaterad process av stor vikt för SFR:s strålsäkerhet under de första tiotusentals åren är den första möjliga tidpunkten när periglaciala förhållanden kan infalla med risk för permafrosttillväxt. Om permafrosten når tillräckligt djupt kan det, genom att inneslutet vatten fryser, påverka de tekniska barriärernas beständighet. Vid definieringen av relevanta framtida klimatutvecklingar har SKB även beaktat klimatrelaterade processer som påverkar: i) denudationen; ii) strandlinjeförskjutning; iii) grundvattnets jonstyrka; iv) det hydrostatiska trycket på förvarsdjup. Givet den förbättrade vetenskapliga förståelsen om vilken effekt de antropogena utsläppen av koldioxid har på den långsiktiga klimatutvecklingen samt vilka klimatrelaterade processer som är av vikt för SFR har SKB definierat fyra exempel på möjliga klimatutvecklingar för säkerhetsanalysen SR-PSU (SKB TR-13-05, figur 1-4):

- Klimatutvecklingen med glaciala och postglaciala förhållanden ska belysa en istids påverkan på förvaret. Den baseras på en rekonstruktion av den senaste istiden och motsvarar referensutvecklingen i SAR-08 samt SR-Site.”.
- Klimatutvecklingen global uppvärmning representerar en rimlig framtida klimatutveckling under antagande om medelhöga växthusgasutsläpp (SKB TR-13-05 avsnitt 4.1).
- Fallet med tidigt periglacialt klimat är en variant av fallet global uppvärmning i vilken koncentrationen av koldioxid avtar tillräckligt snabbt för att en period av periglaciala förhållanden med permafrosttillväxt inträffar runt 17 000 år efter förslutningen.
- Utvecklingen med förlängd global uppvärmning antar att högre antropogena utsläpp av växthusgaser leder till att hela analysperiodens 100 000 år utgörs av tempererade förhållanden.

Av dessa klimatfall utgör de tre sista klimatfallen, vilka i varierande grad är påverkade av människans påverkan på den långsiktiga klimatutvecklingen, ett viktigt underlag till beskrivningen av referensutvecklingen (SKB 2015, avsnitt 6). Dessa fall tar även hänsyn till att den framtida variationen i solstrålningen kommer ha en lägre amplitud än under den föregående 100 000 års-perioden (Berger och Loutre, 2002 och referenser däri). Av referensutvecklingens klimatfall ingår inte fallet med förlängd global uppvärmning i huvudscenariot utan det kategoriseras som ett restscenario med syftet att analysera bl.a. vilken påverkan grundvattenbildningen av meteoriskt vatten under lång tid har på förvarets säkerhetsfunktioner (SKB, 2015, avsnitt 7.7.5). Klimatfallet glaciationscykeln Weichsel ges mindre fokus i säkerhetsanalysen SR-PSU än i den tidigare säkerhetsanalysen (SAR-08) och den kategoriseras i SR-PSU som ett restscenario med syftet att analysera effekten av glacialt inducerad påverkan på förvarets säkerhetsfunktioner. SKB betonar att detta fall inte använts vid analysen av när och hur omfattande den första perioden med permafrosttillväxt blir i anslutning till SFR utan den analysen ingår i huvudscenariot i fallet med tidiga periglaciala förhållanden. Hanteringen av den framtida klimatutvecklingen har enligt SKB stöd i det nuvarande vetenskapliga kunskapsläget (SKB TR-13-05). De refererade studierna indikerar att det antropogena utsläppet av koldioxid förlänger den nuvarande interglacialen avsevärt, vilket enligt SKB stöder framtagandet av klimatfall relevanta för säkerhetsanalysen.

Remissinstansers synpunkter

Nils-Axel Mörner

Remissinstansen har efter kungörelsen inkommit med synpunkter på ansökan (SSM2017-5439-9). Dessa synpunkter ingår även som bilaga till yttrandet från Milkas. Mörners synpunkter som berör klimatet ingår inte i Milkas yrkande, varför SSM finner skäl att redovisa dem separat.

Om nästa glaciationscykel har samma förlopp som Weichsel kan Forsmark redan om ca 10 000 åren täckas av en inlandsis. Man skulle då kunna förvänta sig en framryckande landis som orsakade en ökad landhöjning på grund av ”forebulge uplift”, tundra klimat med eventuell permafrost (till djup överstigande SFR-lagrens djup) och en glacial eustatisk havsyttesänkning (blottande mer land ur havet). Det borde vara en grundförutsättning att dessa frågor utreds på ett tillfredställande sätt, och av experter som inte är knutna till den ansökande organisationen (SKB).

SSM:s beaktande av remissynpunkt

Att nästa glaciationscykel liknar den föregående, den sk. Weichsel glaciationen, förefaller i dagens kunskapsläge osannolikt. Skälet till detta är att den framtida

solinstrålningensvariationen på nordliga breddgrader skiljer sig åt från dess variation under Weichsel, samt att atmosfärens koldioxidnivåer avsevärt förlänger den nuvarande interglacialen. Det finns därför inget skäl att förvänta sig den klimatutvecklingen som remissinstansen framhåller. Permafrost är en av de viktigaste externa faktorerna som kan påverka SFR och SSM har begärt kompletteringar vilka ska illustrera vilken effekt tidig permafrost har på SFR (SSM, 2019, del III, avsnitt 3.2). Kompletteringarna visar att även för ett hypotetiskt fall med tidig frysning kommer doser motsvarande riskkriteriet inte att överskridas. SSM noterar även att SKB har låtit oberoende experter inom klimatforskning granska klimatdelarna i SR-PSU.

SSM:s bedömning

Vid granskning av SKB:s hantering av den framtida klimatutvecklingen i säkerhetsanalysen SR-Site, vilken klimatanalysen för SR-PSU till stora delar baseras på, bedömde SSM sammanfattningsvis att SKB:s klimatrelaterade studier är väl beskrivna och av god kvalitet. Vidare bedömde SSM att SKB:s övergripande strategi med uppställningen av flera möjliga klimatfall centrerat kring rekonstruktionen av Weichselnedisningen, var ett utmärkt tillvägagångssätt för att belysa inom vilka gränser ett framtida klimat kan variera inom den närmaste årsmiljonen. SSM konstaterar att SKB vid framtagandet av relevanta klimatfall för SR-PSU i högre utsträckning än vid den föregående säkerhetsanalysen för låg- och medelaktivt avfall (SKB R-08-130) beaktat dagens vetenskapliga förståelse av det framtida klimatet, avfallets karaktär samt det analyserade förvarskonceptet. Mot bakgrund av de osäkerheter som förknippas med förutsägelser av det framtida klimatet bedömer SSM att denna strategi inte fullt ut beaktar myndighetens rekommendationer vid framtagandet av klimatutvecklingar som underlag till scenarioanalysen (allmänna råden till 9§ 2008:21 och till 5-7§§ SSMFS 2008:37). SSM har därför begärt en komplettering i frågan dels gällande de framtagna klimat scenarierna (SSM2015-725-9) dels gällande betongbarriärernas tålighet mot framtida kallt klimat (SSM2015-725-44). Efter granskning av SKB:s kompletteringar (SKBdoc 1541317, SKB dokID 1550211, SKB dokID 1564242 och SKB dokID 1572377) anser SSM att SKB:s hantering av klimatutvecklingen under de kommande 100 000 åren är adekvat.

Flera studier visar, vilket SKB på ett förtjänstfullt sätt redovisat, att nästa glacial kan inledas under de kommande tusentals åren under förutsättning att koldioxidnivåerna är på förindustriella nivåer eller lägre. SKB bedömer att så låga koldioxidnivåer inte kan uteslutas om ca 12 000 efter förslutningen, men är avhängigt det osannolika scenariot att den antropogena påverkan på atmosfärens koldioxidkoncentration inom en snar framtid helt upphör (SKB TR-13-04 avsnitt 2.3.2). Den framtida utvecklingen av atmosfärens koldioxidnivåer är behäftad med stora osäkerheter, inte minst med tanke på att den i hög grad är beroende på framtida mänskliga beteenden vad gäller utsläpp, utveckling av geologisk koldioxidlagring, markanvändning, etc. SSM anser därför att det inte går att utesluta att mänskligheten i framtiden agerar på ett sådant sätt att vår påverkan på klimatsystemet minimeras. SSM framhåller även att analysen av den långsiktiga strålsäkerheten efter förslutningen bör beakta att modelleringarna av framtida klimat är behäftade med betydande osäkerheter. Ett tidigt periglacialt klimat förefaller i dagens kunskapsläge osannolikt, men kan ha betydelse för förvarets säkerhetsfunktioner och därmed skyddsförmåga. Av de allmänna råden till 9§ SSMFS 2008:21 framgår det att restsценарier bör omfatta händelseförlopp och förhållanden som väljs och studeras oberoende av sannolikheter bl.a. för att belysa betydelsen av enskilda barriärer och barriärfunktioner. Med anledning av detta har SSM begärt en komplettering av SKB gällande effekter av tidig permafrostpåverkan (SSM2015-725-44). SKB:s svar innehåller ett nytt beräkningsfall benämnt *hypotetisk permafrost* vilken antar att redan vid 12 000-17 000 år efter förslutningen inträffar periglaciala förhållanden med sönderfrysning av barriärer (SKB dokID 1564242 och SKB dokID 1572377). SSM bedömer att detta

beräkningsfall på ett ändamålsenligt sätt visar på förvarets robusthet mot ett tidigt, periglacialt klimat. I Del III, avsnitt 3.2.2 liksom i Del III, kapitel 7 redovisar SSM sin bedömning av denna komplettering i mer detalj.

SSM har begärt förtydligande av SKB varför scenariot med glaciation behandlas som ett restskenario och därmed inte ingår i riskutvärderingen (SSM2015-725-9). I sitt svar (SKB dokID 1541317) uppger SKB att de fyra olika klimatfallen borde ha ingått i huvudscenariot. SKB bedömer dock att detta inte har någon inverkan på riskutvärderingen (SKB dokID 1541317, tabell 1). SSM ser positivt på att SKB:s bedömning att restskenariot med glaciation bör ingå i riskutvärderingen. Däremot bedömer SSM att fallet inte behöver ingå i huvudscenariot, utan det rimligaste är att hantera fallet med glaciation som ett mindre sannolikt scenario. På samma sätt bör även restskenariot *förlängd global uppvärmning* hanteras. Detta för att betona att dessa utvecklingar, baserat på expertbedömningar, har en sannolikhet lägre än ett, dvs. bör inte ingå i huvudscenariot, men att de ska ingå i bedömningen för den totala risken för förvaret. Gällande den totala risken för förvaret delar SSM bedömningen att de inte har någon inverkan på riskutvärderingen (SKB 2015, avsnitt 9.4.5 och 9.4.8).

3.2.2 Klimatrelaterade processer

Beskrivning av SKB:s underlag

SKB:s redovisning av klimatrelaterade egenskaper, händelser och processer ("Features, Events, Processes, FEP") av vikt för säkerhetsanalysen SR-PSU sammanfattas i FEP rapporten (SKB TR-14-07, tabell 5-13). De klimatrelaterade FEP har motsvarigheter i säkerhetsanalysen SR-Site och beskrivningarna av de klimatrelaterade FEP ges i klimatrapporten (SKB TR-13-05, avsnitt 2). SKB har inom ramen för säkerhetsanalysen SR-PSU publicerat tre nya rapporter. En av dessa omfattar simuleringar av det framtida klimatet med syftet att öka förståelsen för när den första perioden med periglaciala förhållanden kan inträffa efter förslutningen av förvaret (SKB TR-13-04). SKB har även genomfört två litteraturstudier av det historiska klimatet under övergången från den föregående interglacialen Eem till istiden Weichsel. Dessa studier bidrar bl.a. till en bättre förståelse för mekanismerna bakom övergången från relativt varma förhållanden under en interglacial, liknande den nuvarande värmeperioden, till ett kallt klimat dominerat av periglaciala processer med förutsättningar för utvecklingen av en sammanhängande och djup permafrost, s.k. kontinuerlig permafrost, i Forsmarksområdet (SKB TR-13-02; SKB TR-13-03). SKB bemöter även SSM:s efterfrågan vid granskningen av Fud-program 2010 att SKB bör jämföra den historiska informationen som erhållits från det terrestra klimatarkivet i Sokli i norra Finland med andra klimatarkiv från bl.a. den europeiska kontinenten (SKB TR-13-02). Den sistnämnda rapporten har även resulterat i en vetenskaplig publicering (Helmens, 2014).

SKB:s redovisning av klimatutvecklingen har fokuserat på de klimatrelaterade processerna som är av vikt för förvaret. Dessa processer är:

- Denudation och det maximala hydrostatiska trycket som kan uppträda på förvarsdjup
- Strandlinjeförskjutning och uppträdandet av utspätt grundvatten på förvarsdjup,
- Permafrosttillväxt

Denudationen och det maximala hydrostatiska trycket som kan uppträda under analysperioden har gemensamt att båda är beroende av framtida glaciationer i området. Båda dessa klimatprocesser omfattas därför av *klimatfallet glaciationscykeln Weichsel*.

Under kvartär, den geologiska perioden som omfattar de senaste 2,6 miljoner åren, bedöms den glaciala erosionen dominerat denudationsprocesserna i Skandinavien (SKB TR-13-05, avsnitt 2.4). Under den senaste 100 000-årsperioden uppskattar SKB, baserat bl.a. på studier av berggrundens långsiktiga morfologiska utveckling, att den totala denudationen av markytan i Forsmarksregionen är mindre än 3 m. Huvuddelen av denna denudation uppskattas av SKB utgöras av glaciala erosionsprocesser (SKB TR-13-05, avsnitt 2.4). De låga denudationshastigheterna förklaras av den låga topografiska reliefen i området, den hårda berggrunden och av att förvaret inte kommer att placeras i någon större deformationszon. Dessa kvalitativa argument finner även stöd i den vetenskapliga litteraturen (SKB TR-13-05, avsnitt 2.4 och referenser däri). Det maximala hydrostatiska trycket är avhängigt inlandsisens tjocklek. SKB:s rekonstruktion av Weichsel visar att isens mäktighet över Forsmark blir ca 2000 m och 2900 m om ca 60 000 respektive 100 000 år efter förslutningen av SFR (SKB TR-13-05, avsnitt 4.4). En framtida inlandsis kan även ha stor påverkan på vattenflödet på förvarsdjup. Särskilt om isfronten under deglaciationen står stilla, eller oscillerar, över ett förvar. Baserat på bl.a. daterade israndlägen i Skandinavien bedömer dock SKB att det är liten sannolikhet att isfronten står stilla eller oscillerar kring platsen (SKB TR-10-49, avsnitt 4.5.1). Av vikt för den glacialhydrologiska utvecklingen är inlandsisens profil. Baserat på jämförelser mellan teoretiska inlandsisprofiler och den modellerade isprofilen vid olika tidpunkter samt även med beaktande av en isprofil från det nutida grönländska istäcket har SKB tagit fram två gränssättande isprofiler, en brant och en flack. Dessa isprofiler har använts för vidare modellering av exempelvis vattenflöden, hydraulisk spräckning och bergspänningsutvecklingen under glaciala förhållanden (SKB TR-10-49, avsnitt A2). SKB framhåller att det inom ramen för SR-PSU inte är meningsfullt att utreda glaciationens effekt på förvaret men däremot att det behöver analyseras vad en kollaps av barriärerna kan få för effekter efter glaciationen (SKB TR-13-05, avsnitt 4.4).

Strandlinjeförskjutning är en av de viktigaste klimatrelaterade processerna för förvarets säkerhet i det tempererade klimattillståndet (SKB 2015, avsnitt 6.2.2). Främst gäller det längre perioder när Forsmark befinner sig ovanför havsnivån då infiltrationen av meteoriskt vatten kan nå förvarsdjup. Sett över hela analysperioden domineras strandlinjeutvecklingen av glacial isostatiska rörelser, vilket för referensutvecklingens klimatfall utgörs av en ca 30 000 år lång period av långsamt avtagande landhöjning pga. återhämtningen från den föregående istidens nedpressning av landmassan i Forsmarksområdet (SKB 2015 avsnitt 6.2.2). Av detta skäl kommer den pågående regressionen i Forsmarksområdet att fortgå och grundvatten av meteoriskt ursprung och låg jonstyrka kommer att dominera den framtida grundvattenbildningen i referensutvecklingen. Osäkerheterna associerade med uppskattningen av den framtida landhöjningen och eustatiska förändringen (globala förändringar av havsytans nivå) innebär att Forsmark kan genomgå en inledande period med vattentäckta förhållanden innan den isostatiska återhämtningen helt dominerar strandlinjeutvecklingen (SKB TR-13-05, avsnitt 4.3). Hur långvarig en framtida eustatisk transgression kan bli exemplifierar SKB med klimatfallet förlängd global uppvärmning där en inledande fas med vattentäckta förhållanden pågår ca 1800 år (SKB TR-13-05, avsnitt 4.3).

SKB:s klimatrelaterade studier har inriktats på analys av den första möjliga tidpunkten för permafrosttillväxt och frysning av barriärerna i SFR (SKB TR-13-04). SKB bedömer att detta är den mest kritiska klimatrelaterade aspekten givet det relativt grunda förvarsdjupet, avfallsets radioaktivitet och SFR-barriärernas egenskaper (SKB 2015, avsnitt S1). Baserat på kunskapen om den framtida solinstrålningsvariationen (SKB TR-13-04, figur 1-3) och dess minimum fokuserar SKB på den kommande 60 000-årsperioden, vilket inkluderar det

kraftigaste minimumet under hela analysperioden. SKB har modellerat temperaturutvecklingen under kommande 60 000 år med hjälp av två olika klimatmodeller, dels med en förenklad klimatmodell (Loveclim) och dels med en klimatmodell i forskningsfronten (CCSM4) (SKB TR-13-04 och referenser däri). Den förenklade modellen kördes dels med konstanta drivningsvillkor (jämviktssimuleringar) dels med varierande drivningsvillkor (transienta simuleringar). Jämviktssimuleringarna genomfördes med koldioxidnivåer mellan 180-400 ppmv och konstant solstrålning vid 17 000 år respektive 54 000 år efter förslutningen, vilket motsvarar kommande minimum i sommarsolinstrålning på höga nordliga latituder. De transienta simuleringarna genomfördes med konstanta koldioxidkoncentrationer på 200 ppmv respektive 400 ppmv där den inkommande solstrålningen varierade i tiden under modellkörningarna (ca 60 000 år) i enlighet med den beräknade sommarsolinstrålningen på höga nordliga latituder utifrån framtida variationer i de astronomiska parametrarna. Syftet med de transienta modellkörningarna var att testa antagandet att det kallaste framtida klimatet i Forsmarksområdet de kommande ca 60 000 åren sammanfaller med minimum i sommarsolinstrålning på höga nordliga latituder (SKB TR-13-04, avsnitt 2.4.2). Två jämviktssimuleringar gjordes även med den mer komplexa klimatmodellen (CCSM4) med koldioxidnivåer på 200 ppmv och 180 ppmv med solinstrålning motsvarande solinstrålningsminimum vid 17 000 år respektive 54 000 år efter förslutningen. Syftet med dessa modelleringar var att utvärdera skillnaden mellan studiens klimatmodeller. SKB jämförde även denna skillnad med liknande modellutvärderingar i den vetenskapliga litteraturen. Ytterligare modellkörningar med de olika klimatmodellerna gjordes för att utvärdera systematiska fel (bias) vilket ligger till grund för bias-korrigerad av den konstruerade framtida temperaturutvecklingen (SKB TR-13-04, avsnitt 2.8).

Temperatursimuleringen av den framtida temperaturen i Forsmark som gav det kallaste klimatet har vidare använts som temperaturunderlag för simuleringen av bergets temperatur under kommande 60 000 år med hjälp av en förbättrad version av permafrostmodellen som användes för SR-Site (SKB TR-13-04, avsnitt 3.4). Vid permafrostmodelleringen gjordes flera pessimistiska antaganden gällande bl.a. markförhållandena som är gynnsamma för permafrosttillväxt. SKB har även genomfört känslighetsanalyser av hur mycket den modellerade framtida lufttemperaturen måste sjunka, och hur lång tid det tar, för att 0, -3, och -5°C isotermer ska nå ca 60 m och ca 110 m ner i berggrunden vilket är förvarsdjupet för den befintliga anläggningen respektive det planerade djupet för planerade utbyggnaden (SKB TR-13-04, avsnitt 3.4.3). Känslighetsanalyserna har utförts för den tid under de kommande 60 000 åren när förhållandena är som mest gynnsamma för ett kallt klimat, dvs vis det framtida solinstrålningsminimumet om ca 54 000 år. Enligt SKB:s studier av vattenmättade betongprover från befintligt SFR börjar betongen brytas pga. frostsprängning vid -3°C (SKB P-13-07). Resultaten från SKB:s permafrostmodellering visar att ett fryskriterium på -3°C sannolikt kan nås tidigast vid solinstrålningsminimumet 54 000 år efter förslutningen av SFR. Detta under förutsättning att koldioxidkoncentrationerna sjunkit från dagens nivå till ca 250 ppmv eller mindre. Att fryskriteriet med stor sannolikhet inte nås under föregående solinstrålningsminimum (17 000 år AP) förklarar SKB med att det inte är sannolikt att koldioxidnivåerna har sjunkit till ca 200 ppmv vilket enligt modelleringarna krävs för att -3° isotermer ska nå förvarsdjupet för den befintliga anläggningen.

SKB lyfter fram osäkerheterna vid modelleringarna av det framtida klimatet samt redogör för relevanta studier som finns att tillgå i den vetenskapliga litteraturen (SKB TR-13-04 avsnitt 3.3 respektive 1.1.3). SKB pekar dock på att det finns omfattande kunskap och projektioner av framtida klimatutveckling som ger värdefull information och ett spann av framtida klimatutvecklingar. För innevarande århundrade kan nuvarande kunskapsläge

sammanfattas i enlighet med IPCC:s rapportering, dvs att den globala årsmedeltemperaturen vid jordytan förväntas att öka under innevarande århundrade på grund av ökande koncentration av växthusgaser i atmosfären (Meehl et al. 2007). I de studier som SKB hänvisar till har utvecklingen under de kommande 10 000 till 100 000 åren uppskattats med utgångspunkt från kända framtida variationer i solinstrålning (Berger och Loutre 1991) och antagna koncentrationer av koldioxid i atmosfären. Samtliga studier som SKB redogör för visar att uppbyggnad av inlandsisar på norra halvklotet inte sker förrän tidigast om ca 50 000 år givet dagens höga koldioxidkoncentration. Även under det realistiska antagandet att atmosfärens koldioxidkoncentration snabbt skulle återgå till den förindustriella koncentrationen 280 ppmv, pekar en majoritet av dessa studier på att uppbyggnad av inlandsisar på norra halvklotet inte sker förrän tidigast om ca 50 000 år. Det krävs koldioxidnivåer under eller lägre än ca 210 ppmv för att -3°C isotermen ska nå ner till ca 60 meters djup i berggrunden (SKB TR-13-04 kapitel 4). SKB bedömer att det inte kan uteslutas att den atmosfäriska koldioxidkoncentrationen skulle kunna ha nått förindustriella koncentrationen 280 ppmv om ca 10 000 år. Detta förutsätter dock det osannolika scenariot att den antropogena påverkan på atmosfärens koldioxidkoncentration inom en snar framtid helt upphör. Under mer realistiska scenarier för framtida utsläpp av växthusgaser skulle dock den atmosfäriska koldioxidkoncentrationen vara 300 ppmv eller högre om 10 000 år (Archer m fl 2009, SKB TR-13-05, avsnitt 3.3.1). Jämfört med koldioxidvariationen från den föregående interglacialens (Eem) övergång till Weichsel visar även att det krävs en betydligt snabbare naturligare minskning för att förindustriella koldioxidnivåer ska nås redan om ca 10 000 år (SKB TR-13-05, avsnitt 3.3.1).

SSM:s bedömning

SSM bedömer att SKB:s klimatrelaterade studier till stöd för säkerhetsanalysen SR-PSU är av god kvalitet. Gällande den totala denudationen anser SSM att SKB:s redovisning är tillräcklig då analysperioden omfattar enbart en glaciationscykel. Därmed bedömer SSM att den förväntade denudationen är så pass liten att den inte kan förväntas leda till negativa konsekvenser på förvaret och därmed inte behöver beaktas i den vidare analysen. Skälet till detta är att den kristallina berggrunden är motståndskraftig mot denudationen samt att markytans låga relief och strandnära läge begränsar denudationens förmåga att påverka förvaret. Inte ens en tiofaldig ökning av den glaciala denudationen, vilket motsvarar den nutida glaciala erosionshastigheten på ca 1 mm/år i den Skandinaviska fjällkedjan (SSM 2012:60 och referenser däri), bedömer SSM kommer påverka förvaret nämnvärt. Dessutom, baserat på den senaste glaciationscykelns händelseförlopp bedömer SSM att den maximala erosionen under en kommande glaciationscykel inträffar vid eller strax efter analysperiodens slut, varför den saknar betydelse för säkerhetsanalysen.

Gällande inlandsisen tjocklek vid en upprepning av Weichselglaciationen och den framtida strandförskjutningen står SSM fast vid sin bedömning som gjordes vid granskningen av säkerhetsanalysen SR-Site. SSM:s samlade bedömning av SKB:s ismodellering vid granskningen av säkerhetsanalysen SR-Site är att den är rimligt tillförlitlig och att valideringen genom rekonstruktion av Weichsels glaciala utveckling med hjälp av bl.a. kvartärgeologiska studier utgör ett lämpligt angreppssätt. Eftersom säkerhetsanalysen SR-PSU hanterar en specifik 100 000 års period bedömer SSM vidare att SKB:s redovisning av dessa frågeställningar är tillräckliga. Inför kommande steg i programmet behöver SKB främst fortsätta att bevaka kunskapsläget gällande den historiska och framtida klimatutvecklingen.

Studier av det framtida klimatet indikerar att koldioxidnivåerna har en central betydelse för klimatutvecklingen, där förindustriella nivåer eller lägre är en förutsättning för att avsluta den nuvarande interglacialen (Ganopolski m.fl, 2016; SKB TR-13-04 tabell 3-8). SSM instämmer därför med SKB att det nuvarande kunskapsläget tyder på att den

nuvarande interglacialen sannolikt kommer att fortgå under de närmaste tio tusentals åren eller t.o.m. hela tidsperioden som säkerhetsanalysen omfattar. Med anledning av detta bedömer SSM att SKB:s säkerhetsanalys beaktat klimatutvecklingar som omfattar en mycket lång period med tempererade klimatförhållanden.

Gällande SKB:s klimatfall med periglaciala klimatförhållanden och tillväxt av permafrost delar SSM SKB:s bedömning att det i dagens kunskapsläge förefaller osannolikt att frysning av förvaret kan ske under de första 20 000 åren efter förslutning. SSM har dock begärt kompletterade information från SKB för att belysa hur tåligt förvaret är mot kalla klimat och permafrost (SSM2015-725-44). Detta för att undersöka hur betongens barriärfunktion kan påverkas av frysning. Specifikt önskar SSM att följande frågor ska belysas:

- Förvarets tålighet mot eventuell frysning under de första 10-15 000 åren, konsekvent med en upprepnings av Weichsel-glaciationen, samt vilka effekter en frysning under denna tidsperiod har på slutförvarets skyddsförmåga.
- Förtydligande av hur betongdegraderingen som antas i huvudscenariot och scenariot med accelererad betongdegradering påverkar temperaturen när betongen degraderar pga. av frysning.
- Hur i SKB:s scenarioanalys antaganden rörande betongdegradering förhåller sig till effekten av antaganden om en tidig frysning av förvaret.

I SKB:s svar finns en genomgång av SKB:s tidigare undersökningar av frysning av icke lakad betong, både teoretiska undersökningar och empiriska undersökningar av betongkärnor tagna från 1BMA, samt nyare studier av frysning av betong som åldrats genom lakning (SKB dokID 1572377, kapitel 3). SKB visar att det existerade fryskriteriet på -3°C är mycket konservativt. En studie med en porösare betong (högre vatten-cement-kvot) än den som finns i 1BMA, och därmed mer lik en lakad betong, har genomförts. Studien visar att inga större skador av betongen kan påvisas vid nedfrysning av proverna till minst -10°C , men mikrosprickor kan ha bildats i betongen (Pålbrink och Rydman, 2013). SKB har även studerat betongens frysegenskaper i lakad betong jämfört med icke lakad betong. Studierna visar att porstrukturen ändras vid lakning och mängden frysbart vatten ökar vid lakning (Babaahmadi, 2015). Vidare, studier vid Lunds tekniska högskola visar att en frysning av lakad betong ner till -10°C inte leder till stora förändringar på betongens integritet (Karlsson, 2017), vilket verifierar studien av Pålbrink och Rydman (2013). Sammantaget gör SKB därför bedömningen att frysning av degraderad betong inte leder till omfattande skador förenligt med de antagna hydrauliska konduktiviteter som uppgivet i SR-PSU i samband med en eventuell framtida permafrost i SFR.

SKB illustrerar även en hypotetisk klimatutveckling, oavsett dess sannolikhet att inträffa, med tidig permafrost 10 000-15 000 år efter förslutning som orsakar sönderfrysning av betongbarriärerna. SKB:s beräkningar visar att doskonsekvenserna för detta hypotetiska fall inte överstiger $14\mu\text{Sv}/\text{år}$ och ligger därför under dos motsvarande riskkriteriet.

Baserat på dessa argument bedömer SSM att SKB:s komplettering visar att det valda fryskriteriet är pessimistiskt. Därmed gör SSM bedömningen att risken för att betongbarriärerna ska frysa sönder redan vid solinstrålningsminimumet om runt 20 000 år som mycket liten. Vidare noterar SSM att även om betongbarriärerna skulle degradera tidigare så som uppgivet i det hypotetiska permafrostfallet är doskonsekvenserna under riskkriteriet (SKB dokID 1572377). SSM bedömer därför att SKB:s kompletterande information gällande permafrost (SKB dokID 1572377) ger svar på de punkter som SSM efterfrågade i sin kompletteringsbegäran (SSM2015-725-44).

Sammantaget bedömer SSM att SKB:s redovisning av den framtida klimatutvecklingen och klimatrelaterade processer, så som framtida permafrost och frysning av barriärerna är en lämplig utgångspunkt för beräkningarna i säkerhetsanalyserna. Vidare anser SSM att SKB:s redovisning visar att valet av förläggningsdjup med avseende på permafrost är lämpligt.

3.3 Geologi

En god kunskap om berggrundens sammansättning och geologiska strukturer är av vikt vid karaktäriseringen av berggrundens mekaniska, hydrologiska och hydrogeokemiska egenskaper. SKB:s förståelse av geologin och den geologiska utvecklingen i norra Uppland baseras på platsundersökningarna som SKB gjorde i samband med ansökan om att bygga ett slutförvar för använt kärnbränsle. Inga nya data eller tolkningar av Forsmarksområdets geologiska utveckling, inkluderande den paleoseismiska aktiviteten under kvartär, har tillförts som ändrar SKB:s regionala geologiska beskrivning. En mer detaljerad beskrivning av SKB:s geologiska karaktärisering av den regionala geologin, områdets malmpotential och sen- till postglaciala förkastningsrörelser under kvartär samt SSM:s bedömning av denna, ges i SSM:s beredning inför regeringens prövning Slutförvaring av använt kärnbränsle (se granskningsrapport Strålsäkerhet efter slutförvarets förslutning, SSM Rapport 2018:07). Fokus i detta avsnitt ligger på den platsbeskrivande modellen för SFR-området, SDM-PSU, med avseende på berggrundens struktur, litologiska enheter och närvaro av spröda deformationszoner.

Beskrivning av SKB:s underlag

Vid byggnationen av befintligt SFR fanns planer på en utbyggnad av anläggningen mot nordväst och nordost. Inför platsundersökningarna gjorde SKB bedömningen att området sydost om den befintliga anläggningen är mest lämpligt som förläggningsplats för utbyggnaden. SKB:s motivering till detta var att en förläggning av utbyggnaden norrut innebär att två deformationszoner (ZFMNW0805A och ZFMNNE869) med ställvis höga vattenflöden måste passeras. Ett annat skäl är av praktisk-ekonomisk karaktär: vid en utbyggnad mot sydost kommer dels driften störas minimalt dels kan borrhningarna utföras från piren (SKB R-08-67). Platsundersökningarna för utbyggnaden av SFR genomfördes mellan 2008-2010. Inför etableringen och under uppförandet av SFR-anläggningen insamlades, baserat på bl.a. kärnborrhningar och kartering av undermarksutrymmen, en mängd data om områdets geologi (SKB R-10-49, bilaga 1). Inga nya berggrunds-geologiska data av målområdets markyta har producerats sen SKB:s platsundersökningar för att finna en lämplig plats för djupförvaret av använt kärnbränsle. Vidare finns det inga exponerade berggrundsytor i den lokala modellen och den regionala modellen omfattar ett fåtal hällobservationer huvudsakligen i det sydvästra hörnet (SKB-R-10-49, bild 3-1). Likaså har inga nya geofysiska markmätningar utförts. SKB:s platsbeskrivande modell har utvecklats i fyra steg: version 0 (SKB R-08-67); version 0.1 (SKB-P-09-48); version 0.2 (SKB R-10-03); version 1.0 SKB-R-10-49). Modellversionen 0.1 levererade en regional deformationsmodell där zonerna har en undre storleksbegränsning på 1000 m (SKB-P-09-48). Version 0.1 baserades huvudsakligen på data erhållna under byggnationen av den nuvarande anläggningen SFR, vilket omfattar tunnelkartering och en omfattande borrhkampanj som resulterade i 60 borrhkärnor, av vilka 43 finns tillgängliga (SKB P-09-48, tabell 3-1). Dokumentationen från dessa kärnor innefattar dock inte bilder tagna av borrhålsväggen ("Borehole Image Processing System, BIPS") vilket innebär att inga absoluta orienteringar av geologiska strukturer finns tillgängliga. Vidare är det endast i ett fåtal av borrhålen som geofysiska mätningar utfördes. I tillägg till detta har en annan metod använts vid definiering av möjliga deformationszoner samt att det finns vissa oklarheter gällande den litologiska klassificeringen (SKB P-08-02; P-09-32). Med

anledning av detta genomförde SKB som stöd till modellversion 0.1 en förnyad geologisk översiktskartering (SKB P-08-02) och en geologisk enhålstolkning (SKB P-09-32) av 11 borrhäror, lokaliserade i en plastisk deformationszon. Den senaste platsbeskrivande modellversionen (1.0) inkluderade den lokala modellvolymens deformations- och bergdomänmodell (SKB R-10-49). Den inkluderar en genomgång av ytterligare 32 borrhäror från den tidigare borrhäkampanjen (SKB P-10-07), och omkartering av den nedre byggtunneln. Utöver genomgången av befintliga data omfattade platsundersökningarna för SFR-utbyggnaden ett borrhäkprogram vilket resulterade i åtta nya kärnborrhål, varav ett är en förlängning av ett befintligt kärnborrhål, samt fyra nya hammarborrhål lokaliserade syd till sydväst om den befintliga anläggningen. Den sista borrhäkampanjen omfattade geologisk kartering av borrhäror och kaxprover, kartering av bilder tagna av kärn- och hammarborrhålsväggen (BIPS) och borrhålsloggning. Ytterligare information har erhållits från platsundersökningarna för Kärnbränsleförvaret där ett kärnborrhål och två hammarborrhål borrades i eller i anslutning till Singözonen. Modellversion 1.0 levererade förutom den regionala modellen även en lokal deformationszonsmodell, vars zoner har en undre storleksbegränsning på 300 m. En sammanfattning av genomförda platsundersökningar, områdets geologiska utveckling och berggrundsgeologi redovisas i den platsbeskrivande modellen SDM ("Site Descriptive Model"; SKB TR-11-04, kapitel 2, 3, 5). SKB diskuterar även vilka nyckelosäkerheter som återstår i den geologiska modellen (SKB TR-11-04, kapitel, 5.5). SKB:s geologiska modeller beskriver berggrundens:

- bergdomäner som är en litologisk uppdelning av berggrunden
- placering av deterministiska deformationszoner ≥ 1000 m, representerad av en deterministisk regional deformationsmodell, respektive ≥ 300 m, representerad av en lokal deformationsmodell.

Till skillnad från SR-Site omfattar inte SR-PSU en detaljerad analys av sprickfördelningen utanför deformationszonerna, dvs. ingen modellering av sprickdomäner eller geologisk DFN-modellering innefattades i det geologiska modelleringsarbetet. En hydrologisk DFN-modell togs fram i den platsbeskrivande modellen version 1.0 vilken diskuteras i del III, avsnitt 3.5, hydrogeologiska förhållanden.

SKB:s bergartsnomenklatur och bergarternas egenskaper etablerades tidigt under platsundersökningarna för SR-Site. Alla primära geologiska och geofysiska data är kvalitetsgranskade och lagrade i SKB:s databaser SICADA och GIS (SKB TR-11-04). De geologiska och geofysiska data som borrhäkampanjen för SFR-Site genererade följer nomenklaturen väl men den generellt högre deformationsgraden i kandidatområdet för den planerade utbyggnaden av SFR motiverade en uppgradering av bergarternas egenskaper (SKB-R-10-49, tabell 4-4). Det finns dock relativt få petrofysiska laboratedata från kandidatområdet, och beskrivningen av de dominerande bergarternas fysiska egenskaper baseras därför på borrhålsloggningen från den utförda borrhäkampanjen (SKB TR-11-04, avsnitt 5.2.3). Eftersom mycket få hällobservationer finns att tillgå har information insamlad från enskilda borrhål, s.k. enhålstolkning (single hole interpretation, SHI) och tunnelkartering i den befintliga anläggningen SFR tillsammans med högupplösta magnetiska markmätningar varit av stor vikt vid identifieringen av bergdomänerna och deras tredimensionella fördelning i modellvolymen. Berggrundsvolymen vid SFR har delats in i fyra domäner, RFR01-RFR04. Av dessa är bergartssammansättningen i RFR03 och RFR04 mer osäker eftersom den enbart baseras på tolkningen av magnetiska mätningar (SKB R-10-498, tabell 6-1). SKB bedömer dock att domänerna RFR03 och RFR04 är av mindre betydelse eftersom de ligger i utkanten av den lokala modellvolymen. Förutom transporttunnlarna som ligger i bergdomän RFR01 ligger den största delen av befintligt SFR och den planerade utbyggnaden av SFR i domän RFR02. Gränsen mellan

domänerna RFR01-02 baseras på fyra borrhålsskärningar och fem tunnelskärningar fördelade på ett djup mellan 71-205 m. Modelleringen av gränsen mellan dessa nio fixpunkter stöds av högupplösta magnetiska markmätningar. Med anledning av detta bedömer SKB att osäkerheten gällande gränsen mellan RFR01 och RFR02 är liten. Bergdomän RFR01 modelleras som en storskalig veckstruktur bestående huvudsakligen av pegmatitisk granit till pegmatit och finkornig till fint medelkornig metagranodiorit-metagranit (SKB R-10-49, tabell 6-2). De pegmatitiska bergarterna är yngre och relativt odeformerade; linjära strukturer dominerar över planära parallellstrukturer. Bergdomän RFR02 är litologiskt sett mer heterogen och med ett högre inslag av metavulkanit och amfibolit (SKB R-10-49, tabell 6-2, figur A2-2). De äldre bergarterna är starkt deformerade, vilket gör att metavulkaniterna är svåra att skilja från finkornig metagranodiorit-metagranit. Därmed är den exakta proportionen av metavulkaniter svår att avgöra (SKB R-10-49, tabell 6-2). Strukturella data från de plastiskt deformerade bergarterna från det senaste borrhålsprogrammet kärnborrhål och kartering av befintligt SFR, dels från uppförandet av anläggningen och den uppdaterade karteringen av den nedre byggtunneln, visar en strukturell variabilitet. Det strukturella konceptet som tillämpats i den tektoniska linsen där kärnbränsleföraret är planerat att placeras inkluderande bildningen av storskaliga veck, sk ”sheath folds”, är således inte tillämpligt fullt ut i SFR-området. Med anledning av detta har en detaljerad strukturell analys av berggrunden inte kunnat genomföras som stöd för modelleringsarbetet. Strukturella mätningar från exponerade berghällar, bergdomän RFR21 metavulkaniter, utanför den lokala modellen som gjordes under platsundersökningarna för kärnbränsleförvaret har en mindre variabilitet; linjära strukturers strykning, veckaxlar och utsträckta mineral, är konsekvent med en varierande lutning mot sydost. Denna skillnad kan bero på en reologisk skillnad mellan de olika granitoiderna i domän RFR02. Även den begränsade observationsskalan, borrhål- och tunnelskala, kan bidra till en sämre strukturell kontroll på mätningarna från kandidatområdet (SKB R-10-49, avsnitt 4.4). Denna strukturella osäkerhet innebär att bergdomänernas rumsliga fördelning i den regionala och lokala modellvolymen i hög utsträckning baseras på borrhåls- och tunnelskärningar samt magnetiska anomalier. SKB betonar att där skärningar av berggrunden saknas som kan stödja bergdomänernas rumsliga fördelning på djupet gör att modelleringen är behäftad med hög osäkerhet (SKB R-10-49, avsnitt 6.2).

Bergartsomvandlingar kan ha en stark påverkan på bergarters egenskaper. De vanligaste bergartsomvandlingarna i Forsmark är hematitdisseminering (oxidering) och muskovit-omvandling. Omvandlingarna är vanligtvis associerade till deformationszoner. Detta gäller dock inte muskovit-omvandling och albitisering vilket indikerar att dessa omvandlingar inte har ett samband med den spröda deformationen (SKB R-10-49, tabell 4-5). Betydligt mindre vanligt är episyenitbildning, upplösning och borttransport av kvarts i granitiska bergarter. Liksom hematitdisseminering är episyenitbildning starkt associerad med modellerade deformationszoner, men det finns även enstaka förekomster av episyenit på andra plaster i berggrunden (SKB R-10-49, tabell 4-5). Dock, SKB lyfter fram att hydrotermala omvandlingar i sig, tillsammans med förhöjd sprickfrekvens, antas vara ett kännetecken för en deformationszon.

Metodik för att karakterisera en spröd deformationszon har ändrat fokus sen uppförandet av befintligt SFR. Tidigare var huvudsyftet att kunna ge ett underlag till ingenjörsmässiga beslut. Identifieringen och tjockleken av deformationszonerna baserades överlag på en signifikant ökning av andelen öppna sprickor och ställvis även av en ökad hydraulisk konduktivitet (TR-11-04 avsnitt 5.2.1). Vid platsundersökningarna för den planerade utbyggnaden av SFR har SKB tillämpat samma metodik som vid platsundersökningarna för kärnbränsleförvaret vid identifieringen av spröda deformationszoner. För

identifieringen av skadezonen, dess kärna och eventuella förgreningar har SKB bedömt graden av hydrotermal omvandling, frekvens av fyllda sprickor, borrhålsloggning och sprickornas karaktär. De olika metoderna har dock inte påverkat deformationszonernas orientering, lägen och antal. Däremot har den nyare metodiken resulterat i en betydande ökning angående zonernas tjocklek. Den modellerade deformationszonens tjocklek antas motsvara den längsta borrhålskärningen. Detta är lite mer konservativt än för SR-Site där medelvärdet av borrhålskärningarnas sträckning togs som den modellerade zontjockleken (SKB R-10-49, avsnitt 5.2.2). Flertalet modellerade zoner skärs dock bara av ett borrhål. För zoner som identifierats enbart med indirekta metoder (geofysik och fjärranalys) antar SKB att tjockleken motsvarar 1 % av den geofysiska eller topografiska anomalins längd. Vilken konfidens som tillsätts en deformationszons existens baseras på vilka olika typer av information som ligger till grund för dess identifiering. Hög konfidens ges till direkta metoder som borrhåls- eller tunnelsekärningar. Ingen skillnad av konfidens görs dock om en zon stöds av bara en borrhålskärning eller flera borrhålskärningar och av stödjande indirekta data. Medelkonfidens ges för zoner som identifieras enbart med indirekta metoder där det på sannolika skäl kan antas att den geofysiska eller topografiska anomalin indikerar en deformationszon. Låg konfidens ges till indirekta metoder där anomalin är mer svårtolkad, som en djupt liggande seismisk reflektor. En zons orientering baseras på dess skärning av markytan och stupningen baseras på antingen borrhålskärningen på djupet eller på modelleringar på anomalin. Deformationszoner som skär markytan, men information om deras utsträckning på djupet saknas, antas vara vertikala (SKB R-10-49, avsnitt 5.2.2). Fyrtio deformationszoner, inklusive förgreningar, har modellerats, av vilka 37 är brant stupande (SKB-R-10-49, bilaga 11). Deformationsstrukturernas strykning i kandidatområdet faller inom samma grupper som identifierats vid platsundersökningarna för kärnbränsleförvaret, det vill säga NNO till ONO; VNV till NV; NNV till NS. Tre av deformationszonerna är flackt stupande strukturer som inte skär markytan. Av dessa är en (ZFM871) modellerad i den lokala modellvolymen med hög konfidens (SKB R-10-49, figur 5-23). ZFM871 är tolkad att ligga under den befintliga anläggningen och frånvaron av större zoner dels i Silon, som ligger på ca 60-140 m djup i berggrunden dels i borrhålskärningar, ger hög konfidens till bedömningen att inga flacka, större deformationszoner ligger i den lokala modellvolymen. Förvarsvolymen omgärdas i sydväst och nordost av brant stupande regionala deformationszoner. Det sydliga bältet utgörs av den s.k. Singözonen (ZFMWNW0001) och dess förgreningar, vilken har en total längd på ca 30 km. Det nordliga bältet (ZFMNW0805A) är kortare, ca 3-4 km långt, och troligtvis en förgrening av Singözonen. Dessa regionala deformationszoner stryker VNV-NV och uppvisar en plastisk deformation som överlagras av en spröd deformation. Innanför det sydliga och nordliga deformationsbältet har SKB sydost om anläggningen modellerat sex spröda deformationszoner med en längd på ca 500 -1 000 m längd, varav fyra har hög konfidens. Zonerna har samma riktning som Singözonen (VNV-NV), men inga av de mindre strukturerna skär den nuvarande anläggningen utan SKB bedömer att de avslutas mot brant stupande spröda strukturer med ONO- till NO-riktning. Däremot modelleras zonerna att skära den planerade utbyggnaden (SKB R-10-49, figur 5-28). Det finns flera brantstående strukturer som skär befintligt SFR varav fyra möjligtvis kan extrapoleras till gruppen av VNV-NV-strykande deformationszoner sydost om anläggningen. Eftersom borrhålsdata inte stöder extrapolering av dessa tunnelsekärnande strukturer bedömer SKB att en korrelation med deformationszonerna söderut inte är sannolik. Anläggningen skärs av en NNV-strykande brantstående spröd struktur (ZFMNNV1209) med en spårlängd på markytan av ca 340 m. Strukturen domineras av flera parallella, diskontinuerliga och läkta sprickor med en sammanlagd maximal tjocklek på 18 m. Flera brantstående zoner, med en NNO- till ONO-strykning, har modellerats inom den lokala modellvolymen avslutandes mot de regionala deformationszonerna, dvs. mot Singözonen och dess förgreningar, vilket begränsar deras längd till som mest ca 1700 m. Tre av dessa zoner skär den befintliga

anläggningen varav en (ZFMNNE869) är upp till 60 m bred. Flertalet av de smalare zonerna skär dock den planerande utbyggnaden.

Deformationsmodellen är behäftad med samma osäkerheter som modelleringen för kärnbränsleförvaret när det gäller tolkningen av deformationszonernas orientering, placering och korrelationen mellan geologiska- och geofysiska data. Ytterligare en gemensam osäkerhet avser orientering och storlek av möjliga deformationszoner i borrhål som inte kan korreleras med lågmagnetiska lineament eller seismiska reflektorer. Gällande osäkerheten för möjliga deformationszoner bedömer SKB att dessa strukturer antingen är mindre deformationszoner, vilket stöds av att de vanligtvis förekommer längs med korta borrhålsintervall, eller förgreningar från intilliggande redan modellerade deformationszoner. En grundläggande skillnad mellan den planerade anläggningen för kärnbränsleförvaret och utbyggnaden för SFR är dock att berggrunden runt SFR är mer heterogen och det existerande förvaret försvårar tolkningen av magnetiska lineament. SKB bedömer dock att alla deformationszoner ≥ 1000 m har identifierats. Kvarvarande osäkerheter i den deterministiska modelleringen gäller dels storleken på de modellerade flacka deformationszonerna dels förekomsten av flacka strukturer < 300 m och hur de växelverkar med subhorisontella ytnära sprickor, s.k. bankningsplan, som potentiellt sett kan ha höga vattenflöden. SKB hanterar de kvarvarande osäkerheterna genom att extrapolera de flacka zonerna till närmaste brant stupande deformationszon, men det finns alternativa tolkningar. Gällande de mindre flacka strukturerna och deras växelverkan med bankningsplan är de svåra att modellera deterministiskt och deras närvaro och frekvens bör hanteras via hydrologiska undersökningar och stokastiska modelleringar (SKB R-10-49, avsnitt 5.6).

Remissinstansers synpunkter

Miljörörelsens kärnavfallssekreteriat

Miljörörelsens kärnavfallssekreteriat (Milkas) anser (SSM2017-5439-7) att det inte är lämpligt att placera det radioaktiva avfallet under vatten i en aktiv tektonisk zon, och att synpunkterna nedan inte har fått adekvat utredning. Milkas sammanfattar sina synpunkter till tre områden vilka berör val av plats och metod. Till stöd för sitt yttrande har Milkas bifogat skrivelser av Docent Nils-Axel Mörner och Docent Herbert Henkel. Nils-Axel Mörner har även skickat in samma skrivelse till SSM som remissynpunkter under eget namn. Svaren som ges nedan beaktar därför även Nils-Axel Mörners eget remissyttrande.

Samordning med regeringens hantering av KBS-3 ärendet önskas

Milkas yrkar för att domstolen avvaktar regeringens beslut i KBS-3-målet, särskilt med tanke på att frågor som rör platsen för KBS-3 också gäller för SFR, t.ex. geologisk stabilitet och kustnära eller inlandsplacering, och att hanteringen av det långsiktiga ansvaret är under utredning.

Redovisning av alternativa metoder saknas

En fullgod redovisning av alternativ metod har inte gjorts av SKB. Man har t.ex. inte redovisat om de sönderdelade reaktortankarna kan vara i en storlek som gör det möjligt att lägga avfallet i djupa borrhål flera km under ytan. Dessutom har inte SKB redovisat inverkan på att ha flera mindre förvar långt ifrån varandra geografiskt jämfört med enbart ett stort förvar för allt avfall. Med anledning av detta yrkar Milkas för att SKB föreläggs att göra en detaljerad redovisning av alternativa metoder.

Beskrivning och analys av platsen är bristfällig

Föreningarna anser att SKB inte på ett heltäckande och korrekt sätt har beskrivit den geologiska stabiliteten av den föreslagna platsen vid Forsmark. Geologisk stabilitet är av

avgörande betydelse med hänsyn till att geologiska processer som jordbävningar, landhöjning och glaciationer bestämmer om och i vilken omfattning det farliga materialet och särskilt det radioaktiva materialet i förvaret kan nå omgivningen. Andra påverkansprocesser är naturliga elektriska strömmar samt de som skapats av människor. Tungmetaller och kemikalier är andra komponenter som kan ha en negativ inverkan på människor, flora och fauna. Yrkanden på kompletteringar:

- en detaljerad redovisning av alternativa platser, särskilt en inlandsplacering.
- utredning av de pågående geodynamiska processerna (istället för att envisas med att det inte har hänt något i området sedan över en miljard år).
- ett underlag baserat på en kombinerad höjd- och batymetrisk karta, sammansättning av land och sjödata och en kombinerad tektonisk analys av dessa data inklusive de existerande flyggeofysiska mätningarna i kustområdet mellan Gävle och Norrtälje. Utan den analysen kan man inte förstå sammanhanget i de mycket detaljerade undersökningarna av närområdet. En beskrivning av det regionala tektoniska sammanhanget saknas. Man har med andra ord i nuläget inte ett heltäckande.

SSM:s beaktande av remissynpunkt

SSM delar inte Milkas synpunkt att domstolen ska avvakta regeringens beslut i KBS-3 målet. Visserligen ligger den östra delen av det planerade kärnbränsleförvaret och den planerade utbyggnaden av SFR relativt nära varandra, ca 1.5 km, men de är av vitt skilda slag. Denna olikhet innebär att frågor som är av betydelse för den ena anläggningen inte nödvändigtvis är av samma betydelse för den andra anläggningen. Vidare, till skillnad från slutförvaret för använt kärnbränsle, omfattar analysperioden för utbyggnaden av SFR enbart en glaciationscykel. Detta har stor betydelse för bedömningen av den möjliga risken för ökad seismisk aktivitet i samband med avsmältningen av framtida inlandsisar över SFR. I detta avseende vill SSM påpeka att den nuvarande interglacialen bedöms pågå under ovanligt lång tid (SSM, 2019, del III, avsnitt 3.2). Sannolikt inträffar nästa glaciation så lång in i framtiden att betongbarriärerna redan är fullständigt degraderade vid tidpunkten när post-glaciala skalv kan inträffa (SSM, 2019, del III, avsnitt 7). SSM bedömer därför att frågan om post-glaciala skalv har olika dignitet för de olika anläggningarna. Det innebär dock inte att SSM bortser från den seismiska risken och SSM bedömer utifrån sin granskning att SKB behöver motivera och underbygga sitt ställningstagande att jordbävning är att betrakta som en restrisk. Vidare bedömer SSM att SKB inför ansökan om uppförande av anläggningen behöver tydliggöra sin bedömning gällande konsekvenser av en jordbävning samt tydliggöra sin värdering av att avståndet till den regionala förkastningszonen Singölinjen (ZFMWNW0001) endast är 230 m (SSM 2019, del II avsnitt 3.1 och 3.2). Vidare finns det vissa osäkerheter gällande i vilken utsträckning den termiska lasten från ett slutförvar för använt kärnbränsle kan påverka SFR med avseende på hydrogeologiska och mekaniska förhållanden (SSM2016:12 del 3). SSM bedömer dock att den termiska lasten i första hand är relevant för det planerade kärnbränsleförvaret, men SSM avser bevaka frågan hur den termiska lasten kan påverka en utbyggnad av SFR.

SSM:s bedömning av platsvalet görs i Del IV av SSM:s granskningsrapport (SSM, 2019). Vid denna bedömning vägs flera olika aspekter in som påverkar den långsiktiga strålsäkerheten så som att minska risken för påverkan från framtida mänskliga aktiviteter, den förmodade framtida seismiska aktiviteten samt att tillhandhålla en fördelaktig miljö för de tekniska barriärerna. SSM har begärt in kompletterande information från SKB för att kunna ta ställning till SKB:s val av plats jämfört med andra platser med avseende på platsernas skyddsförmåga och andra relevanta faktorer. I sammanhanget är det av vikt att

även hänsyn tas till avfallets avklingning. Jämfört med en inlandsplacering bedömer SSM att förläggningen av förvaret under Östersjön är en mer fördelaktig placering under de inledande 1000 åren när avfallet är som mest radioaktivt. Vidare bedömer SSM att fördelarna med en inlandslokalisering i exempelvis den tektoniska linsen jämfört med en samförläggning under Östersjön är så pass små för tiden efter 1000 år, att samordningsfördelarna vid valet av plats bör ges företräde (SSM, 2019, del IV avsnitt 2.2).

Konceptet djupa borrhål har främst förts fram som ett alternativ till KBS-3 metoden för det använda kärnbränslet. SSM står fast vid den bedömning som myndigheten gjorde vid granskningen av SKB:s ansökan för slutförvaring av använt kärnbränsle. Det är därför inte rimligt att avvakta ytterligare, omfattande utvecklingsarbete om djupa borrhål för att det ska utgöra ett alternativ till den föreslagna förvarsmetoden för utbyggnaden av SFR. Därutöver, med avseende på avfallets aktivitet och egenskaper, bedömer SSM att konceptet djupa borrhål inte kan anses vara ett rimligt alternativ till den av SKB föreslagna utformningen.

SSM bedömer vidare att remissinstansens förslag med geografiskt sett spridda, mindre förvar inte är ett rimligt alternativ. Det skulle exempelvis ge en betydande kostnadsökning, ökad miljöpåverkan, samt en utdragen platsvalsprocess som skulle avsevärt fördröja en slutförvaring av det avfallet som prövningen omfattar. SSM:s bedömning av alternativ metod/utformning för slutförvaret görs i Del IV avsnitt 2.3.

Gällande platsens lämplighet med avseende på nuvarande och framtida seismicitet har liknande synpunkter förts fram av flera remissinstanser på SKB:s ansökningar enligt kärntekniklagen om anläggningar för slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle (se SSM 2018:03). De svar som SSM gav vid remissammanställningen gäller även för SSM:s beaktande av remissynpunkterna på platsvalets geologiska stabilitet för området vid SFR, se exempelvis SSM:s svar till Herbert Henkel och Nils-Axel Mörner i SSM 2018:03. Dock, som SSM påpekade i inledningen till myndighetens kommentarer till Milkas remissvar, så bedöms risken för och konsekvenserna av post-glaciala skalv för SFR vara betydligt mindre än för det planerade förvaret för använt kärnbränsle.

SSM:s bedömning

SSM bedömer i likhet med sina externa konsulter (SSM 2016:12, del 3 avsnitt 3.2.6) att SKB har genomfört ett ambitiöst och omfattande platskaraktiseringsprogram. SKB:s metodik vid platskaraktiseringen följer de föregående undersökningarna i Forsmarksområdet inför etableringen av ett förvar för använt kärnbränsle. Värt att notera är att SSM vid granskningen av ansökan om förvar för använt kärnbränsle ansåg att SKB har genomfört ett mycket omfattande platskaraktiseringsprogram av hög internationell standard. Denna bedömning står SSM fast vid. En svårighet jämfört med kärnbränsleförvaret är dock förvarets placering under havsytan. En sådan placering har flera fördelar men sett ur ett berggrundskaraktiseringsperspektiv innebär en sådan placering vissa utmaningar eftersom karakteriseringen måste förlita sig på borrhålsundersökningar och tunnelkarteringar, vilket ger vissa begränsningar gällande observationsskalan och hur observationerna kan länkas samman. SSM:s externa konsulter noterar (SSM 2016:8, del 2 avsnitt 1) att av den ursprungliga dokumentationen från uppförandet av befintligt SFR har en del förlorats och detta på en tidskala av några få decennier. Med anledning av detta bedömer SSM att det är nödvändigt att SKB klargör sin strategi för hur informations- och kunskapsbevarande till framtida generationer ska ske (del III kapitel 8).

SKB:s undersökning omfattar nya borrhälar och en genomgång av tidigare data insamlade i samband med platskaraktiseringen för SR-Site och vid planeringen och

uppförandet av befintligt SFR. Detta arbete har resulterat i stora mängder geologiska och geofysiska data som har sammanställts i ett flertal rapporter.

SSM bedömer att SKB:s platsundersökningar resulterat i en trovärdig berggrundmodell av de vanligaste bergarterna i den föreslagna förvarsvolymen. Det finns vissa osäkerheter på grund av den strukturella variabiliteten men SSM anser att dessa är hanterbara. Av SKB:s redovisning framgår det att den valda platsen för SFR 3 är belägen i en mycket anisotrop, och litologiskt varierande bergvolym med stark plastisk deformation och med hög frekvens av förkastningar > 500 m. Den valda platsen omsluts även av en regional deformationszon, Singözonen och en trolig förgrening av denna (ZFMNW0805A), vilket tillhör ett långsträckt, brett bälte av kraftigt deformationerade bergarter. Med anledning av detta bedömer SSM:s externa experter att den valda platsen inte är optimal som förläggningsplats för utbyggnaden. Emellertid, uppförandet och stabiliteten i den befintliga anläggningen, vilken ligger i samma bergdomän som den planerade utbyggnaden, visar att även om platsvalet inte är optimalt med avseende på bergkvaliteten från en ingenjörsmässig synpunkt så är en utbyggnad sydost om förvaret fullt möjlig (SSM 2016:12, del 3 avsnitt 2.3). SSM delar även SKB:s redovisade praktiska-ekonomiska skäl till en lokalisering av utbyggnaden sydost om det befintliga förvaret. SSM ser positivt på att SKB uppdaterat bergarternas fysiska egenskaper, men bedömer att karakteriseringen av bergarternas fysiska egenskaper är ofullständig, vilket diskuteras mer utförligt i Del III, avsnitt 3.4 i denna rapport.

Gällande SKB:s deterministiska modellering av deformationszoner baseras den i stor utsträckning på de geofysiska undersökningar som gjordes i samband med SR-Site. Som stöd i tolkningen av deformationszonernas rumsliga fördelning i modellvolymerna har SKB utfört nya borrhningar och en bearbetning av äldre geologiska data. SSM bedömer att den befintliga modellen är tillförlitlig gällande dels antalet deformationszoner ≥ 1000 m dels zonernas rumsliga placering i målområdet. Liksom den deterministiska modelleringen för SR-Site finns det dock vissa osäkerheter gällande deformationszonernas tjocklek, lokalisering, strykning och stupning (SSM 2018:07, del 2, avsnitt 3.1.2). Det relativt grunda djupet för den planerade utbyggnaden av SFR jämfört med det planerade djupet för kärnbränsleförvaret gör dock att den kumulativa osäkerheten för den planerade utbyggnaden av SFR är mindre jämfört med kärnbränsleförvaret. Gällande flacka deformationszoner delar SSM SKB:s uppfattning att frånvaron av större zoner dels i Silon, som ligger på ca 60-140 m djup i berggrunden, dels i borrhärdar, ger hög konfidens till bedömningen att inga flacka, större deformationszoner ligger i den lokala modellvolymen. Det finns även vissa osäkerheter gällande karakteriseringen av deras interna struktur och längd. SSM noterar att deformationszon ZFMWNW0835, vilken modellerats skära den planerade förvarsvolymen, ställvis har höga vattenflöden (10^{-6} m/s) där de högsta sammanfaller med förekomsten av episyenit (SKB R-10-49, bilaga 11). Episyenitiseringen har en stor inverkan på bergmassans termiska och hydrologiska egenskaper. SSM är därför angelägen om att SKB:s detaljerade undersökningar inför en eventuell projektering säkerställer att SKB på ett tidigt stadium kan upptäcka och undvika områden av dålig bergkvalitet.

SSM:s externa experter bedömer att förekomsten av bankningsplan och deras hydrologiska och mekaniska egenskaper är de mest osäkra komponenterna i den lokala och regionala modellen för utbyggnad av SFR (SSM 2016:12, del 2 avsnitt 3.2.6). SSM delar denna bedömning (del III, avsnitt 3.5). Förekomsten av dessa spröda strukturer i närheten av bergsalarnas tak är av betydelse för geometrin och stabiliteten av bergsalarnas tak. SSM anser dock att osäkerheterna gällande förekomsten av bankningsplanen kan minskas om SKB genomför ytterligare forskning och karaktärisering av förvarsvolymen under en

uppförandefas. Sådana insatser bör sedan ligga till grund för kontinuerliga uppdateringar av den deterministiska modellen.

3.4 Bergmekanik

Detta avsnitt redovisar berggrundens mekaniska egenskaper för den planerade förvarsvolymen. Fokus ligger på karaktäriseringen av det intakta berget och spröda strukturers parametervärden vilka ligger till grund för SKB:s referensutformning samt parametrering av SKB:s modeller av den bergmekaniska utvecklingen under uppförande- och driftfasen samt tiden efter förslutningen. SSM:s bedömning av SKB:s referensutformning och bergmekaniska modellering ges i del III, avsnitt 4.5 respektive avsnitt 5.5 samt kapitel 7.

Beskrivning av SKB:s underlag

Syftet med SKB:s geovetenskapliga undersökningar inom planerat område för utbyggnad av SFR har varit att bl.a. lokalisera och karaktärisera kraftigt vattenförande zoner och att ta fram bergmekaniska parametrar för bergteknisk dimensionering av bergutrymmen. Följande frågeställningar har varit centrala (SKB R-08-67) för de bergmekaniska undersökningarna:

- hållfasthets- och deformationsegenskaper hos de dominerande bergarterna, samt om dessa skiljer sig jämfört med bergarterna inom befintlig SFR-anläggning,
- bergmekaniska sprickegenskaper, samt om dessa skiljer sig jämfört med befintlig SFR-anläggning,
- bergmassans kvalitet utifrån bergmekanisk enhålstolkning av nyborrade borrhål,
- bergspänningsförhållandena,
- förutsättningarna för stabila bergsalar.

Kvantifiering av hållfasthets- och deformationsegenskaper för berggrunden vid SFR utgör grunden för projektering och dimensionering av utbyggnadsdelen. SKB har tillgång till en mängd bergmekaniska data som insamlades under uppförande och drift av den befintliga delen av anläggningen (SKB R-07-10). SKB har genomfört en undersökningskampanj (se SKB R-08-67) för att karaktärisera berggrunden vid utbyggnadsdelen men inga ytterligare data har tillförts till den bergmekaniska databasen (t.ex. laborietestresultat om enaxlig tryckhållfasthet, bergspänningsmätningar på plats; se SKB TR-11-04). En geologisk kartering av blottlagda ytor i Nedre Byggtunneln (NBT) har också genomförts av SKB (SKB P-09-74) i samband med de geovetenskapliga undersökningarna till utbyggnad av SFR.

Hållfasthets- och deformationsegenskaper för platsen för SFR-utbyggnad härleds från data från undersökningarna vid platsen för kärnbränsleförvaret (SR-Site, se t.ex. SKB TR-08-05 och R-08-66), data från uppbyggnad av befintliga SFR (se t.ex. Hagkonsult, 1982; SKB SFR 87-03; SKB SFR 85-05; SSPB, 1982) samt data från uppförande av kärnkraftverken vid Forsmark (t.ex. referenser i SKB R-05-35 och SKB R-07-26). Vissa geologiska data från platsundersökningarna till SFR-utbyggnad har också använts såsom optisk borrhålsväggbildtagning (BIPS) och akustisk televiewer (se t.ex. SKB P-09-16).

SKB kvantifierar hållfasthets- och deformationsegenskaper för representativa bergartsprover för det intakta berget. SKB har även undersökt bergmassans och enskilda sprickors mekaniska egenskaper samt bergspänningar vid platsen för SFR-utbyggnad (SKB TR 11-04, avsnitt 6). För det intakta berget har SKB identifierat två bergartsgrupper med

markanta skillnader i hållfasthetsegenskaper: i) granit och granodiorit med högre hållfasthet; ii) metavulkanit, amfibolit och pegmatit med lägre hållfasthet. Deformationsegenskaperna för alla bergarter är dock ganska lika.

För bergsprickor har friktion, kohesion, normal- och skjuvstyvhet karaktäriserats (SKB 2015, tabell 4-8). Vid bedömningen av enskilda sprickors bergmekaniska egenskaper delar SKB in sprickorna i två kategorier: i) subhorisontella ytliga sprickor ner till 50 meters djup; ii) övriga sprickor (SKB 2015, tabell 4-9). De subhorisontella, ytliga sprickorna visar högre skjuvstyvhet och friktionsvinkel än övriga sprickor pga. dess råhet och större sprickvidd. För bergsprickor har SKB även kvantifierat den hydrauliska styvheten kontra den mekaniska styvheten, och som bör användas i hydrogeologiska beräkningar och tar hänsyn till normalspänningsnivån (SKB TR-11-04, avsnitt 6.2.2).

Data gällande bergdomäner och deformationszoner har hämtats från studier av befintligt SFR (se SKB R-07-10) samt från platsundersökningarna för kärnbränsleförvaret (bergdomän FFM02 och Singölinjen). De empiriska bergkaraktäriseringssystemen Q och RMR har använts för att klassificera berget efter den ingenjörsgelogiska kvaliteten och för att härleda berggrundens mekaniska egenskaper. Huvuddelen av bergmassan infaller i klasserna ”god” och ”mycket god” bergkvalitet, dessutom stämmer gamla och nya data bra överens. Fokus har också lagts på mekaniska egenskaper av bergmassan i deformationszoner, där en ”övergångszon” och en ”kärna” har karaktäriserats, där det sistnämnda har lägst hållfasthet och högst deformabilitet. Stor vikt har lagts på karaktärisering av borrhål KFM11A, vilket skär genom Singölinjen och som ingick i platsundersökningarna för kärnbränsleförvaret (SKB R-08-66).

Gällande bergspänningsmätningar finns överborrningsresultat från uppförandet av befintligt SFR (fyra borrhål; se t.ex. Ljunggren och Persson, 1995) samt data från uppförandet av Forsmarks kärnkraftverk (SKB R-05-35). Bergspänningsmätningar för kandidatområdet till SFR-utbyggnad har utförts i fyra borrhål. Generellt sett visar bergspänningsmätningarna för de översta 150 m i berggrunden en stor spridning, med den största och mellersta huvudspänningen i horisontell riktning och den minsta huvudspänningen i vertikal riktning. Vid 60 m djup är huvudspänningarna måttligt höga, i storleksordning 9,4 och 1,6 MPa. Riktningen för den största huvudspänningen är ca 142° mot norr vilket stämmer väl både med den mittatlantiska ryggens tektoniska tryck samt med observationer av spänningsskador på ett djup av 353 m längs väggarna för borrhål KFR27 vid det befintliga SFR.

SKB för en diskussion om osäkerheter i de bergmekaniska parametervärdena ovan och kommer fram till att för bergdomän RFR02 där utbyggnaden planeras att ligga är det snarare rymdvariationen hos parametrarna som är osäker. Den mest betydande osäkerheten är placeringen, storleken och egenskaperna hos flacka strukturer i berggrunden närmast markytan (SKB TR-11-04). Emellertid används ganska breda parameterintervall för att kompensera för dessa osäkerheter. Avsaknaden av direkta bergspänningsmätningar från bergdomän RFR02 utgör också en osäkerhet i bergspänningsmodellen men SKB bedömer denna osäkerhet vara av måttlig betydelse.

SSM:s bedömning

SSM bedömer att nuvarande kunskap om berggrundens hållfasthets- och deformationsegenskaper är tillräcklig för detta steg i prövningen av en utbyggnad av SFR. SSM gör denna bedömning trots att huvuddelen av bestämningen av hållfasthets- och deformationsegenskaperna är baserad på prover som kommer utanför kandidatområdet för utbyggnaden eftersom SSM anser att de förekommande bergarterna i kandidatområdet är jämförbara med de undersökta bergartsproverna. Vidare bedömer SSM att SKB har en bra kännedom

om bergarterna och bergartsfördelningen i kandidatområdet. Denna bedömning gäller för egenskaperna för det intakta berget, bergsprickorna samt bergmassan.

SKB väljer även att skilja materialegenskaper för flacka sprickor ovanför ett djup på ca 50 m från övriga sprickor, pga. förekomsten av bankningsplan. Detta bedömer SSM är en rimlig kategorisering med hänsyn till observationer i SFR-tunnlarna samt i borrhålen.

SKB har i samband med det geovetenskapliga undersökningsprogrammet för utbyggnad av SFR (SKB R-08-67) genomfört flera kärnbörningar med insamling av data om bergarter, sprickfrekvens, sprickorienteringar samt förekomsten av krosszoner m.m. Dessa data utgör underlaget till bergmassans klassificering enligt något av systemen Q, RQD eller RMR. Dessa klassificeringar är relativt enkla att tillämpa även baserat på preliminära eller bristfälliga observationer av berggrundsegenskaperna från en plats. De empiriska bergkaraktäriseringssystemen är kraftiga verktyg för att studera den rumsliga fördelningen i undersökningsvolymen av bergmassans kvalitet från byggbarhetssynpunkt. SSM anser att det är en brist att SKB inte har gjort denna insats på kandidatområdet bergvolym. En sådan insats skulle ha kunnat generera den första platspecifika bergmekaniska data för bergdomänen RFR02 vilket i sådana fall skulle ha tillåtit en kvalitativ möjlighet att bekräfta tillämpbarheten av kvalitetsklassningarna från det befintliga SFR och från platsundersökningarna för slutförvaret för använt kärnbränsle. Trots detta bedömer SSM att de använda kvalitetsparametrarna samt predikerade mekaniska egenskaper hos bergmassan kommer från ett tillräckligt jämförbart närområde för att kunna användas som utgångspunkt till layoutbestämning och preliminär dimensionering av bergutrymmen vid utbyggt SFR.

Gällande bergspänningarna vid platsen för den planerade utbyggnaden av SFR råder det osäkerheter pga. att det är oklart hur stor inverkan bankningsplanen har på bergspänningarna. Emellertid bedömer SSM att den stora variationen av bergspänningarna i den grundaste bergmassan inte bör påverka utbyggnaden negativt eftersom den planeras ligga på ett djup av ca 130 m. Även de nya tillfartstunnlarna till utbyggnaden planeras uppföras på ett djup större än 60 m (för layouten utan reaktortaktunneln).

SSM vill påpeka att integreringen av nya data inte förefaller vara heltäckande. Ett exempel på detta är de olika bergspänningsdata som angivits i SKB TR-11-04 och SKB R-13-53. Den angivna huvudspänningen i SKB TR-11-04 (tabell 6-11) har en annan orientering och spänning än den som används för analys av långsiktig stabilitet för bergsalarna BMA och BLA i den befintliga anläggningen (R-13-53). Denna skillnad förefaller bero på att äldre data verkar ha använts vid studien av långsiktig stabilitet i befintligt SFR jämfört med de data som presenteras i huvudrapporten (SKB, 2015). En sådan diskrepans bör rättas till i senare steg (se även SSM 2016:12 del III, avsnitt 3.9.3).

3.5 Hydrogeologiska förhållanden

Detta avsnitt fokuserar på SKB:s hydrogeologiska platsbeskrivande modell, och dess kompletterande mätningar och analyser, som ger underlag för modelleringarna i säkerhetsanalysen SR-PSU. De hydrogeologiska utredningarna i samband med SR-PSU behandlas huvudsakligen i avsnitten om slutförvarets utveckling över tid (del III, kapitel 5 – 7).

Beskrivning av SKB:s underlag

Grundvattenflödet vid SFR sker i vattenförande sprickor i det kristallina berget. Bergets hydrauliska konduktivitet styrs av sprickornas geometriska och hydrauliska egenskaper.

De hydrogeologiska förhållandena beskrivs i den platsbeskrivande modellen (SKB TR-11-04, avsnitt 7) som huvudsakligen sammanfattar de underliggande utredningarna (SKB R-11-03, SKB R-11-10). I huvudrapporten redogörs kortfattat för de viktigaste aspekterna av de hydrogeologiska förhållandena (SKB, 2015, avsnitt 4.7).

SKB har baserat den hydrogeologiska platsbeskrivande modellen på data som kan delas in i tre kategorier. Dessa är data som togs fram i samband med uppförandet av den befintliga anläggningen under åren 1980 till 1986, data från platsundersökningarna för kärnbränsleförvaret och data från de 12 hål som har borrats inom ramen för utbyggnaden av SFR. Eftersom SKB har utvecklat metoderna och kvaliteten på undersökningarna sedan uppförandet av SFR är nya data av bättre kvalitet och är mer ändamålsenliga för modellering som baseras på diskreta spricknätverk. Äldre data har därför framförallt använts för den konceptuella förståelsen och parametrisering av zoner i närheten av befintliga SFR. Den platsbeskrivande modellen har huvudsakligen baserats på observationer från befintliga SFR (SKB TR-11-04, avsnitt 7.2.1 – 2), interferenstester (SKB TR-11-04, avsnitt 7.2.3), hydrokemiska data från befintliga SFR och nya borrhål (SKB TR-11-04, avsnitt 7.2.4), orientering och frekvens av öppna sprickor (SKB TR-11-04, avsnitt 7.2.5) samt olika former av hydrogeologiska enkelhålstester i äldre och nya borrhål (SKB R-11-04, avsnitt 7.2.6).

De hydrokemiska undersökningarna visar att de mest genomsläppliga vertikala zonerna är viktiga vägar för flöde mellan det ytliga och det djupare grundvattnet under geologiska tidsskalor (SKB TR-11-04, avsnitt 7.2.4). Utanför dessa zoner detekteras framförallt gammalt och mer isolerat vatten av icke-marint ursprung som kan betecknas bräckt glacialt grundvatten. Flödet till befintliga SFR går via brant stupande deformationszoner och sedan lateralt via flackt stupande strukturer och sprickor (SKB TR-11-04, figur 7-19). Vattnets sammansättning påverkas av interaktionen mellan grundvattnet och berget. Förekomsten av äldre vatten i bergmassan trots flödet mot befintliga anläggningen pekar på begränsad sprickkonnektivitet eller spricksystem som är sammanlänkade endast i avskilda delar av berget och därmed kan sakna kontakt till andra närliggande i sig sammanlänkade spricksystem (*"compartmentalised fracture systems"*). I många delar av berget förekommer vatten som är en blandning av olika vattentyper vilket innebär att det finns begränsade möjligheter till att generalisera den rumsliga fördelningen av olika grundvattentyper. Dränagevattnet i befintliga SFR pekar på att andelen Littorinavatten avtar och att andelen vatten som har sitt ursprung i Östersjön tilltar.

Utifrån tillgängliga data och erhållen förståelse för systemet har SKB skapat en konceptuell modell av hydrogeologin på en lokal skala runt förvaret. Bergmassan har delats in i sex olika hydrologiska enheter. Dessa utgörs av:

- de huvudsakliga tektoniska enheterna med centrala blocket, nordliga och sydliga avgränsande bältena,
- de hydrauliska ledardomänerna (HCD) som utgörs av deterministiskt modellerade deformationszoner,
- ytliga berggrundsstrukturer (SBA) som hanteras deterministiskt,
- stokastiskt hanterade potentiella deformationszoner (PDZ),
- hydrauliska bergdomäner (HRD) som hanteras med stokastiska spricknätverk för tre djupintervall: grund; förvar; djup (SKB, 2015, figur 4-41),
- sediment och jordlager (HSD; TR-11-04, figur 7-36).

SKB noterar att för bergmassan i den lokala modellvolymen ner till 200 m djup är de subhorisontella sprickorna mellan de brant stupande, deterministiskt modellerade

deformationszonerna de mest vattenförande. På 100 –150 m djup är frekvensen av flacka vattenförande sprickor mindre än ovanför och under detta djup. De hydrogeologiska enheternas geometri och hydrauliska egenskaper har parametriserats utifrån tillgängliga data (SKB TR-11-04, avsnitt 7.3, appendix 3, 5, 6).

Deformationszonerna har modellerats med djupavtagande transmissivitet och med en metodik som liknar den som tillämpades inom SDM-Site (SKB TR-11-04, avsnitt 7.4.1; SKB TR-08-05). SBA strukturerna parametreras utifrån geometriska och hydrauliska data. Transmissivitetfördelningen över sprickplanen interpoleras utifrån hydrauliska data i borrhålsintercepten (SKB R-11-03, appendix B). De potentiella deformationzonernas geometri genererades stokastiskt utifrån fördelningar som baseras på tillgänglig geologisk information (SKB R-11-03, appendix A) och transmissiviteterna parametreras utifrån PFL-f mätningar (SKB R-11-03 tabell A-2). DFN nätverken för de tre djupintervallen har parametriserats utifrån tillgängliga geometriska sprickdata och en konnektivitetsanalys som utgår ifrån att transmissiviteten är korrelerad till sprickstorleken (TR-11-04, avsnitt 7.4.2, appendix 5; SKB R-10-03, avsnitt 2.3).

Den konceptuella modellen har implementerats i DarcyTools (SKB R-11-10). Ett antal modellövningar används för att testa modellens förmåga att återskapa det nuvarande inflödet till det befintliga SFR. SKB:s slutsats är att parameterosäkerheterna bäst hanteras med ett flertal stokastiska realiseringar av det underliggande diskreta spricknätverket. Därutöver modelleras hydrauliska interferenstester som har genomförts i området. Responserna till pumptesterna i en borrhålssektion tolkas som en indikation på sektionens förbindelse till SFR området eller på kopplingen till Östersjön. Med tanke på begränsningar i tolkningen av testerna i modellen var målet huvudsakligen att undersöka hur viktiga de olika deterministiska zonerna är i det modellerade området. Modelleringen gav rimlig god överensstämmelse med data och gav information som kunde användas för att uppdatera modellen. SKB föreslår ett hydrogeologiskt basfall samt ett antal modellvarianter för att undersöka och beakta effekten av kvarvarande osäkerheter (SKB TR-11-04).

SKB drar slutsatsen att den huvudsakliga kvarvarande osäkerheten i den hydrogeologiska platsbeskrivande modellen gäller förekomsten och egenskaperna av potentiella subhorisontella till flackt stupande zoner i bergets översta del. Denna kvarvarande osäkerhet hanteras inom säkerhetsanalysen (SKB TR-11-04, avsnitt 10). Därutöver listar SKB ett antal andra osäkerheter som inverkar på modellens tillförlitlighet (SKB TR-11-04, avsnitt 7.6.2).

SKB har inom ramen för ansökansberedningen inlämnat följande kompletterande information utifrån SSM:s begäran (SSM2015-725-40):

- SKB dokID 1572244, 2017. Svar till SSM på begäran om komplettering av ansökan om utökad verksamhet vid SFR – hydrogeologi, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB dokID 1564134, 2017. Vattenflöde genom 2BMA - känslighet för parametrering av bergets egenskaper, bilaga till SKB dokID 1572244. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB dokID 1578373, 2017. TD15 Complementary simulation cases in support of SR-PSU, Svensk Kärnbränslehantering AB. (hänvisas till från SKB dokID 1572244, 2017).

SSM:s bedömning

SSM anser att SKB:s redovisning av den hydrogeologiska platsbeskrivande modellen är välstrukturerad och transparent. Modelleringen är välbeskriven och de olika modellerade fallen är tydligt definierade. Data och antaganden kan generellt spåras till sina källor (se även bedömningen i SSM 2016:08 del 1). SSM bedömer att SKB har presenterat en heltäckande hydrogeologisk platsbeskrivande modell (SSM 2016:08 del 2). SSM:s externa experter bedömer att de presenterade data är tillräckliga för att utveckla och ge tillit till den platsbeskrivande modellen för ändamålet att underbygga en tillståndsansökan (SSM 2016:08 del 2). Samtidigt framförs i den inledande granskningsfasen att den platsbeskrivande modellen inte anses vara tillräckligt mogen i förhållande till vad som skulle kunna förväntas inom ramen av en säkerhetsanalys (SSM 2016:08 del 1). Huvudsakliga argument som framförs är delvis avsaknad av analys av äldre data som uppvisar skillnader till de nyare data och att laterala trender inte har utvärderats lika långt som vertikala. Det konstateras att delarna av modellen nära den nordliga avgränsningen inte är väl underbyggd med data. Behandlingen av stokastiska osäkerheterna bedöms vara begränsad och modellen för den ytliga bergrundsakvifären anses vara av illustrativ karaktär snarare än systematiskt underbyggd. Därutöver anses att en kvantitativ bedömning av de olika förklaringarna till det avtagande tunnelinflödet till det befintliga SFR saknas.

Utifrån dessa bedömningar begärde SSM kompletterande information av SKB för att få en bättre bild av frågornas påverkan på den platsbeskrivande modellen (SSM2015-725-40). SKB har besvarat begäran (SKB dokID 1572244) och SSM utgår i sina bedömningar från det kompletterande materialet. Baserat på slutsatserna av SSM:s externa utvärdering av SKB:s hydrologiska platsbeskrivande modell (SSM 2016:08 del 1-3; SSM 2017:28, del 1) har SSM även låtit en extern expert (SSM 2017:28, del 2) utföra en oberoende kvantifiering av osäkerheterna i SKB:s hydrogeologiska platsbeskrivande modell. Den oberoende kvantifiering baseras på 1-D simuleringar och gränssättande beräkningar av flödet i närzonen och andra faktorer av vikt som påverkar beräkningar av radionuklidtransport och dos.

SKB har bland annat genomfört kompletterande mätningar av transmissiviteten i två borrhål (SKB dokID 1578373, appendix C) för att bedöma skillnaden mellan så kallade packertester och Posiva flow log tester. Detta i ett led att bedöma förekomsten av hydrauliska flaskhalsar i berget ("*hydraulic chokes*") och att förklara skillnaderna mellan de äldre och de nyare hydrauliska testerna.

En av SKB:s slutsatser är att transmissiviteten i det centrala blocket förefaller vara något underskattad i SDM-PSU. Den låga andelen kompartmentaliserade mätningar pekar på att den huvudsakliga skillnaden mellan äldre och nyare data inte utgörs av kompartmentaliserade flöden. Det är dock oklart om äldre data härrör från områden i vilka mer kompartmentalisering förekommer.

SKB har genomfört modellstudier där effekten av en högre transmissivitet i de berörda zonerna analyseras. Resultatet är att parametreringen av zonerna endast har liten betydelse för flödet genom bergsalarna (SKB dokID 1572244). Därmed bedömer SSM att osäkerheterna kring testerna som utfördes i samband med byggnation av befintlig anläggning inte är avgörande för den platsbeskrivande modellen. Detta styrks även av beräkningar med en alternativ, relativt enkel, modell som har genomförts av SSM:s externa expert (SSM 2017:28 del 2, avsnitt 3.4.2).

SKB har i samband med kompletteringen utfört beräkningar för att kvantitativt utvärdera det avtagande inflödet till befintligt SFR utifrån antagandet att det föreligger ett trögt hydrauliskt system som inte har nått jämvikt än. Trögheten i systemet kvantifierar SKB

baserat på den skenbara magasinskoefficienten ("*apparent specific storage*") som sammantaget representerar akvifärens materialegenskaper och systemets konnektivitet. SKB:s slutsats är att koefficienten som i beräkningarna krävs för att återskapa de uppmätta inflödena är alltför stor för att kunna anses vara realistisk (SKB dokID 1578373, avsnitt 4.3). Bästa passningen till tryckförhållandena utanför anläggningen ger betydligt lägre värden (SKB dokID 1578373, avsnitt 3.7). Därmed pekar resultaten på att ett långsamt dränerande system inte kan vara den enda orsaken till avtagande flödet. Snarare bedömer SKB att det avtagande inflödet är en kombination av olika orsaker, vilka beskrivs i SKB:s ursprungliga utredning (SKB R-11-03, avsnitt 4.1.3). SSM bedömer att utvärderingen av akvifärens magasinering har bidragit till en ökad förståelse för systemet med hänsyn till att andra effekter sannolikt är av betydelse. SSM instämmer i SKB:s redogörelse att det är svårt att i detalj skilja mellan olika möjliga orsaker pga. att de kan ge liknande effekter på inflödena. När det gäller den övergripande frågan om flödesminskningen är kopplad till reversibla processer blir därför slutsatsen att vissa av processerna är reversibla, medan andra inte kan förväntas vara det. Således bedömer SSM att det är troligt att systemet inte fullt ut går tillbaka till det ursprungliga tillståndet som initialt gav de höga inflödena. SSM bedömer därför att SKB:s ansats att utgå från borrhålsundersökningarna och använda inflödesdata som ett underlag för att testa modellerna är lämplig. SSM bedömer att en fortsatt övervakning och kombinerad modellering är nödvändig för att förbättra förståelsen för inflödesobservationerna.

När det gäller laterala trender i vattengenomsläppligheten har SKB i den kompletterande informationen undersökt frågan, dels genom att analysera effekten av olika mätmetoder på skattningarna av transmissivitet för att utvärdera möjliga orsaker till skillnaderna mellan äldre packertester och nyare PFL-tester, dels genom modellering med olika antaganden av transmissiviteten i deformationszonerna (SKB dokID 1572244 svar fråga 5; SKB dokID 1578373). SKB:s slutsats är att tillämpningen av de äldre data leder till försumbara skillnader för vattenflödena genom förvarssalarna. SSM anser att modelleringen belyser betydelsen av äldre data och den därtill kopplade variabiliteten på ett godtagbart sätt.

För att förbättra förståelsen för SBA strukturernas roll har SKB genomfört ytterligare interferenstester (SKB dokID 1572244 svar fråga 6; SKB dokID 1578373). Därutöver har SKB genomfört ytterligare modelleringar. SKB:s modellering pekar på att SBA strukturerna endast har en mindre effekt på flödet genom förvarssalarna. SKB har dock inte modellerat SBA strukturer med större utbredning för att adressera frågan om osäkerheter till lokaliseringen i områden som har ett mindre dataunderlag framförallt nära den nordliga avgränsningen av modellen. SSM:s externa expert drar dock slutsatsen utifrån den modellering som SKB har gjort att dessa osäkerheter sannolikt inte leder till signifikant större flöden genom förvarssalarna än de som resulterar ur SKB:s kompletterande modellering (SSM 2017:28 del 2, avsnitt 3.3). Experten framhåller att osäkerheterna inte bör leda till mer än 30 procents ökning av flödena.

Ytterligare en osäkerhet är de hydrauliska egenskaperna och utbredningen av PDZ. SSM:s externa expert har med en förenklad modell försökt gränssätta effekterna av PDZ och kommer fram till att om flödet går via en zon som har en transmissivitet som motsvarar den högsta uppmätta och skär förvarssalen så leder det till en ökning av flödet genom förvarssalen med ca en faktor 3 för befintliga SFR och ca en faktor 2 för den delen som ska byggas ut jämfört med modellens basfall (SSM 2017:28 del 2, avsnitt 2.4). Resultaten ligger även under SKB:s medianvärden, vilket är jämförbart med SKB:s hydrogeologiska basfall (SKB P-14-04, avsnitt 6.2.3), för alla 17 berggrundsfall i SR-PSU med det mer realistiska antagandet att vattenflödet sker parallellt genom bergsalarna (2017:28, errata figur 3.1). Detta föranleder SSM till bedömningen att SKB:s föreslagna hydrogeologiska

basfall som indata till SR-PSU är tillämplig. Ytterligare diskussioner och bedömningar av SKB:s hantering av flödesdata som ingår i SR-PSU återfinns i denna rapport i del III avsnitt 5.6 och 6.6 samt kapitel 7. SSM bedömer att valet av maximal transmissivitet gör att denna ökning av flödet är mycket osannolik och därför kan betraktas som gräns-sättande för effekten av osäkerheterna i PDZ. Ett mer realistiskt fall kan fås genom att grundvattenströmningen till förvaret:

- sker från en deterministiskt bestämd vertikal deformationszon via en stokastisk, subhorisontell deformationszon (PDZ) med en transmissivitet som slumpmässigt väljs från tabell A-1 och A-2 (SKB-R-11-03);
- baseras på slumpmässigt val av den hydrauliska konduktiviteten erhållen från SKB:s konnektivitetsanalys, dvs. värden på den hydrauliska konduktiviteten från SKB:s DFN modell i SR-PSU.

SSM:s externa expert har, baserat på dessa antaganden, genomfört 10 000 realiseringar med en egen modell (SSM2018-811-5). De resulterade maximala vattenflödena i förvarsutrymmena är jämförbara med de som tidigare erhållits med det mycket konservativa antagandet av maximala transmissivitet som gjordes i SSM rapporten 2017:28 (del 2, avsnitt 2.4). De erhållna resultaten är mer lämpliga som indata till övriga beräkningar i SR-PSU, men även dessa är sannolikt mycket konservativa.

SKB har utfört modelleringar för att undersöka osäkerheter i den stokastiskt modellerade bergmassan på förvarsdjup (SKB TR-11-04, avsnitt 7.4.2, appendix 5; SKB R-10-03, avsnitt 2.3). Dessa undersökningar fokuserar på betydelsen av sambandet mellan sprickstorlek och transmissivitet och adresserar inte osäkerheter som tillkommer som följd av att antalet stokastiska realiseringar har begränsats. SSM:s externa expert har uppskattat osäkerheterna genom att generera ytterligare tre realiseringar av DFN nätverket dels för den DFN konceptualisering som SKB har räknat med, dels för en konceptualisering som SKB tog fram men valde att inte gå vidare med i beräkningarna (SSM rapport 2017:28 del 2, avsnitt 2.6). Baserat på dessa realiseringar har sedan ekvivalenta hydrauliska konduktiviteter beräknats för block på en 50 meter sidolängd för 1200 block på förvarsdjup. Beräkningarna visar att de båda DFN konceptualiseringarnas fördelning av ekvivalenta hydrauliska konduktiviteter är mycket lika med avseende på den totala spridningen av värden. När antalet realiseringar ökar från tre till tio för varje DFN koncept minskar skillnaderna ytterligare (Geir m fl., 2018). Variationen av ekvivalent hydrauliska konduktivitet på en 50 m blockskala sträcker sig över ca tre storleksordningar, från 2×10^{-9} m/s till 1×10^{-6} m/s (SSM 2017:28 del 2, figur 2-15). Från den resulterande fördelningen har sedan konduktiviteter samplats och använts i en relativt enkel modell för beräkning av flöden genom förvarssalarna. Den enkla modellen har körts med 100 olika samplings. I de realiseringar som ger högst flöde ökar flödet genom förvarssalarna ca en faktor två för utbyggnaden och ca en faktor tre för befintligt SFR i förhållande till basfallet (SSM 2017:28 del 2, avsnitt 2.6). Sannolikheten för att extremvärdet faller ut bedömer SSM som låg. SKB:s resultat från konnektivitetsanalysen, dvs. för modelleringarna med den alternativa kvantifieringen av sambandet mellan sprickstorlek och transmissivitet, täcks in av variabiliteten som den enkla modellen pekar på med hänsyn till de extrema realiseringarna (SSM 2017:28 del 2, avsnitt 2.6).

SKB har genomfört ytterligare analyser av Östersjösedimentens och jordlagrens betydelse för flödet genom förvarssalarna (SKB dokID 1572244 svar fråga 4; SKB dokID 1578373 avsnitt 3.1). Känslighetsanalyserna pekar på att påverkan av sedimentens och jordlagrens egenskaper har en begränsad påverkan på tunnelflödena. SSM:s externa experts

beräkningar bekräftar att sedimenten och jordlagren har en begränsad betydelse på flödet genom förvarssalarna (SSM 2017:28, del 2, avsnitt 2.3).

Sammantaget bedömer SSM att SKB:s platsbeskrivande hydrogeologiska modell med de kompletterande mätningar och analyserna är en lämplig utgångspunkt för beräkningarna i säkerhetsanalyserna. De ytterligare osäkerheter som har identifierats och bedömts i granskningen av den platsbeskrivande hydrogeologiska modellen bedömer SSM inte är särskilt stora men att de bör beaktas i bedömningen av säkerhetsanalysens resultat. En bedömning av platsens förutsättningar jämfört med andra tänkbara, lokaliseringar görs i avsnittet om platsvalet (del IV i denna granskningsrapport).

3.6 Geokemiska förhållanden

Detta avsnitt behandlar de geokemiska aspekterna av SKB:s platsbeskrivande modell som ger underlag för modelleringen i säkerhetsanalysen SR-PSU. Notera att ytnära grundvatten ej beaktas i detta avsnitt. Fokus ligger på beskrivningen av berggrundens grundvatten.

Beskrivning av SKB:s underlag

En kortfattad sammanfattning av de viktigaste aspekterna av de nuvarande grundvattenkemiska förhållandena i berggrunden redogörs för i huvudrapporten (SKB, 2015, avsnitt 4.8).

Grundvattenkemisk data presenteras mer utförligt i den platsbeskrivande modellen (SKB TR-11-04) och i (SKB R-11-06). Den kemiska sammansättningen som tillämpas i initialtillståndet redovisas i (SKB, 2015, tabell 4-14) som härrör från underlagsrapporten (SKB R-13-16). Den hydrokemiska provtagning som ligger till grund för den platsbeskrivande modellen har resulterat i data från totalt femton borrhålssektioner i fem kärnborrhål och tre hammarborrhål. Även data från 18 äldre kärnborrhål från befintliga SFR, liksom viss data från den platsbeskrivande modellen för slutförvaret för använt kärnbränsle (Laaksoharju m.fl. 2008) tillgodoräknas av SKB. Sprickmineralogi beskrivs utförligt i (SKB P-11-01) och (SKB P-11-41) medan modellering av berg-vatteninteraktioner och blandningsförhållanden redovisas i (SKB P-11-25). En uppföljningsstudie till (SKB P-11-01) utfördes för att utröna förekomsten av Fe(III)hydroxid i mineraldata från sprickdatasetet som tillämpades i den platsbeskrivande modellen (SKB R-12-11). Dessa underlagsrapporter ligger till grund för beskrivning av de geokemiska förhållanden som råder och hur utvecklingen sker över analysperioden i säkerhetsanalysen.

SKB har inom ramen för ansökansberedningen inlämnat följande kompletterande information avseende geokemiska förhållanden vid SFR utifrån SSM:s begäran (SSM2015-725-40):

- SKB dokID 1581237, 2017. Svar till SSM på begäran om komplettering av ansökan om utbyggnad av SFR avseende geokemi. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB dokID 1594812, 2017. On the PCA methodology of mixing calculation and correlated variables for SKB:s hydrogeochemical evaluations and interpretations of groundwater conditions, bilaga till SKB dokID 1581237. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB dokID 1594783, 2017. Further clarification and guidance to the discussion about redox conditions and related processes in the geosphere, bilaga till SKB dokID 1581237. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB har observerat mindre kloridhaltsvariationer (1500-5500 mg/L) hos grundvattnet i SFR jämfört med de vid platsundersökningen för ett slutförvar för använt kärnbränsle i Forsmark i den s.k. Forsmarkslinsen (50-16000 mg/L). Dessutom har stora variationer i marina indikatorer noterats vilket har tolkats som ett resultat av förekomst av grundvatten med olika ursprung. I ovan nämnda studier har fyra grundvattentyper i SFR identifierats:

1. Lokalt Östersjövatten
2. Littorinavatten med en glacial komponent
3. Bräckt-glacialvatten
4. Blandat-bräckt vatten

En utförlig redovisning av typernas ursprung och sammansättning finns redovisad i (SKB, 2015, tabell 4-13). Fördelningen av dessa grundvattentyper visar att blandning skett över långa geologiska tidsperioder genom att några deformationszoner fungerat som flödesvägar medan andra spricksystem isolerats på grund av rådande tryckförhållanden. Dessa förhållanden förklarar förekomsten av grundvatten med en betydande glacial komponent. Östersjövatten bedöms ha trängt in som ett resultat av byggnationen av SFR. Indelning i grundvattentyper har baserats på en uppsättning kemiska variabler: klorid, magnesium och δO^{18} , där de två sistnämnda varierar beroende på om grundvattnet har marint eller glacialt ursprung. I SKB:s principalkomponentsanalys (PCA) tillämpas dock fyra korrelerade variabler (Cl^- , SO_4^{2-} , δH^2 och δO^{18}). I SKB:s blandningsmodellering, utförd med M3-koden (SKB TR-06-27), för att fastställa sammansättningen av de olika grundvattentyperna i SFR har inga perfekta blandningsförhållanden erhållits (SKB TR-11-04, avsnitt 8.1.3). SSM begärde i en komplettering till SKB en utförligare redovisning av hur man utfört sin PCA och bestämt de blandningsproportioner man redovisar (SKB dokID 1531237, SKB dokID 1594812). SKB har, efter tester med olika uppsättningar av variabler (SKB P-11-25), valt konservativa element vid bestämning av blandningsförhållanden för att minimera osäkerheter kopplade till, exempelvis, förändring av jonförhållanden på grund av kemiska reaktioner.

Svagt reducerande förhållanden som indikeras av redoxpotentialen (Eh) konstateras (-140 mV < Eh < -190 mV) i undersökta grundvatten även om SKB nämner att positiva Eh har uppmätts under år 2000 (SKB, 2015, avsnitt 4.8.3). SKB gör bedömningen att positiva Eh troligtvis är en följd av ett öppet förvar (SKB dokID 1594783). Senare mätningar visar dock åter på reducerande redoxförhållanden. Dessa värden stämmer även överens med de värden som uppmätts vid platsundersökningen vid Forsmark (SKB dokID 1594783). Redoxkapaciteten hos mineraler i vattenledande sprickor kommer främst från Fe(II) i klorit och lermineraler och till viss del även pyrit (SKB TR-11-04). I (SKB TR-14-05) beskrivs däremot biotit, vilket är ett skiktsilikat, som det viktigaste reducerande mineralet i bergmatrisen i SFR. SSM begärde ett förtydligande av SKB avseende beskrivningen av redox i grundvattnen vid SFR med betoning på kopplingen mellan uppmätta redoxpotentialer och närvaron av redoxkänsliga mineraler i vattenförande bergsprickor. I SKB:s svar (SKB dokID 1581237) understryker man sin tolkning att de mest troliga dominerande redoxparen är $Fe^{2+}/Fe(OH)_3$ och Fe^{3+} -lermineral/ Fe^{2+} -lermineral vilket stöds av förekomsten av lermineral och klorit i de vattenförande sprickor man analyserat i (SKB R-12-11). SKB betonar att koncentrationen av grundvattnets huvudkomponenter påverkas i högre grad av blandning av olika grundvattentyper än av heterogena kemiska reaktioner.

Förekomst av sulfat i SFR:s grundvatten är enligt SKB:s analys ett resultat av inträngning av Littorinavatten och nutida Östersjövatten som blandats med befintligt grundvatten. SKB beskriver vidare att den mikrobiella aktiviteten i grundvattnet är låg vilket baseras på

tillgänglig isotopdata. I fall där grundvattnet har en stor andel av nutida Östersjövatten kan dock sulfatreducerande mikrobiella processer förekomma, om än i låg grad. Med förändringar i flöde kan förutsättningarna för sulfatreduktion dock förändras. SKB betonar att mikrobiella sulfatreducerande processer är gynnsamma för att upprätthålla reducerande förhållanden (SKB dokID 1581237).

Grundvattnets salinitet har en stor påverkan på hastighet och omfattning av degraderingsprocesserna för de tekniska barriärerna i SFR. Högst salinitet noteras vid intermediära djup (100-200 m) och domineras av bräckt marint Littorinavatten. SKB har, efter öppnandet av det befintliga SFR år 1986, observerat en kontinuerlig sänkning av kloridkoncentration (SKB TR-11-04) fram till år 2000 varefter koncentrationen befunnit sig stabilt på likvärdiga nivåer. Porvatten i bergmatrisen har inte provtagits i SFR (utan endast i Forsmarkslinsen).

SKB bedömer att kalcit har den mest betydande påverkan på pH i SFR:s grundvatten (SKB P-11-25, avsnitt 4.1), även om kloritmineral också nämns som vanligt förekommande sprickmineral som påverkar pH förhållanden. Klorit är dock mindre reaktivt. SKB nämner även inverkan av koldioxids partialtryck ($p\text{CO}_2$) som en viktig parameter för att förklara uppmätta pH-värden. Mätningar visar att partialtrycket är högre ($\log p\text{CO}_{2,\text{bars}} = -2.0$) än halterna i atmosfären ($\log p\text{CO}_{2,\text{bars}} = -3.5$) (SKB P-11-25).

Avseende sprickmineralogin beskriver SKB att den i många avseenden liknar den som observerats i Forsmarkslinsens berggrund. Exempelvis nämns baryt och uranmineraler som mer vanligt förekommande i SFR-sprickor än i Forsmarkslinsen. Även förekomst av bariumzeoliter har identifierats i borrhål (SKB R-11-06).

SSM:s bedömning

SSM:s anser att SKB:s beskrivning av de geokemiska aspekterna i den platsbeskrivande modellen på en övergripande nivå är godtagbar. Den generella förståelsen för de geokemiska förutsättningarna bedöms vara tillräcklig för att kunna uppskatta den geokemiska utvecklingen med rimlig noggrannhet. I kommande steg anser myndigheten att SKB bör utföra provtagning av porvatten för att bättre förstå variation och utveckling av salinitet. Den senare kommentaren diskuteras mer utförligt nedan. SSM anser vidare att det finns vissa otydligheter i SKB:s analys och lämnar nedan utförligare kommentarer rörande dessa.

Som ett led av SSM:s granskning av SR-PSU har myndigheten låtit externa experter granska innehållet i SKB:s ansökan. Avseende geokemiska aspekter har en initial, översiktlig granskning utförts av Savage Earth Associates (SSM 2016:8 del 4). Kommentarer i denna har varit SSM behjälplig i sin bedömning av geokemiska förhållanden i SFR.

SKB nämner genomgående att blandning av olika grundvattentyper är den huvudsakliga orsaken till befintlig grundvattensammansättning vid SFR. SSM anser dock att bergvattenreaktioner spelar en viktig roll i olika geokemiska sammanhang, vilket exempelvis visas av att produkter från dessa typer av reaktioner (karbonater, leror och zeoliter) har identifierats som sprickmineraler i SFR. SSM bedömer således att det finns otydligheter i SKB:s redovisning. Ett exempel på en sådan otydlighet rör tillämpning av Mg^{2+} som marin indikator i sin blandningsmodellering, trots att man i underlagsrapporten (SKB R-11-06, avsnitt 3.3.1) bekräftar att jonbytarreaktioner orsakar en reduktion av Mg^{2+} -koncentration i grundvattnet. SSM:s externa expert lyfter fram studier (Sayles, 1979, Savage *m.fl.* 1993) som visar på att magnesium är förhållandevis reaktivt i liknande system och kan bilda exempelvis illit (SSM 2016:08, del 4). Denna frågeställning, liksom

liknande resonemang avseende vikten av berg-vattenreaktioner för att beskriva grundvattensammansättningen och dess utveckling vid SFR har beaktats av SKB på en övergripande nivå i ett svar på en kompletteringsbegäran. Denna begäran avsåg blandningsmodellering och relativ vikt av berg-vattenreaktioner i förhållande till blandning av grundvattentyper (SKB dokID 1594783, avsnitt 3.3). Dock anser SSM att det finns kvarstående frågor avseende bergvattenreaktioner, i synnerhet avseende de experiment SKB lutar sig på i sin bedömning av relativ betydelse av berg-vattenreaktioner vid uppskattning av redox-förhållanden.

I SKB:s principalkomponentsanalys tillämpas, som nämns i beskrivning av SKB:s underlag, endast fyra korrelerade variabler (nio ursprungliga komponenter). Även om mineraler som kan tolkas som produkter från berg-vatten-reaktioner, såsom karbonater, leror och zeoliter, påvisas i hydrauliskt aktiva sprickor (SKB P-11-01, SKB P-11-41) tolkar SSM SKB:s redovisning som att blandning av grundvatten av olika ursprung är viktigast för att beskriva sammansättningen i de delar av berget där dynamiska hydrogeologiska förhållanden råder (SKB R-11-06). SSM begärde en komplettering avseende SKB:s PCA-modellering (SKB dokID 1594812) för att erhålla en tydligare bild av omfattningen på SKB:s förarbete i bestämningen av ursprung till grundvattensammansättning. SSM anser att SKB:s tillvägagångssätt med ursprungligen nio komponenter är adekvat för att beskriva den blandning av grundvattentyper som SKB:s beskrivning av grundvattenförhållanden har baserats på. Angreppssättet bedöms dock inte vara tillräckligt för att få en förståelse för hur bidrag från heterogena reaktioner påverkar grundvattnets sammansättning och dess långsiktiga variationer. För detta skulle fler komponenter och flera analyser behöva beaktas.

Avseende redox har SKB förtydligat sin redovisning kring den relativa betydelsen av blandning i jämförelse med heterogena reaktioner i (SKB dokID 1594783, exempelvis avsnitt 3.3). SKB hänvisar exempelvis till (Banwart, 1999) för att visa att betydelsen av heterogena reaktioner är förhållandevis liten i jämförelse med blandning. SSM konstaterar dock att en tidsskala på ca 1000 dagar för genomförda experiment är kort i jämförelse med tidsskalan för SFR:s utveckling och att resultaten därför måste tolkas med försiktighet. Det bör dock framhållas att studier av påverkan av sprickmineraler på redox i grundvatten pågår, vilket SSM ser positivt på. Därmed finns förutsättningar att erhålla en fördjupad förståelse för betydelsen av mineralreaktioner i sammanhanget kontroll av redoxbetingelser.

SSM anser att man bör vara medveten om att Eh-värden som erhålls genom exempelvis potentiometriska mätningar är inte speglar kemisk jämvikt med samtliga redoxpar och därför inte ensam utgör tillräckligt underlag för förståelse för redoxreaktioner i grundvatten. Information har dock betydelse för att identifiera redoxpar nära kemisk jämvikt. SSM noterar dock att SKB inte enbart förlitar sig på potentiometriska mätningar vid uppskattningen av redox i grundvattnet utan tillämpar ett integrerat tillvägagångssätt (SKB dokID 1594783) där dessa mätningar endast utgör en komponent för att bedöma och uppskatta dominerande redoxpar, vilket SSM bedömer vara ändamålsenligt.

Avseende pH-förhållanden konstaterar SSM att inverkan av silikater påverkar bergvattensystemets pH-buffringsförmåga. Ett antal studier visar på att aluminosilikater har högre buffringskapacitet än fasta karbonater (Savage *m.fl.* 1999a, 1999b). Dessa mineraler har generell långsammare upplösningskinetik i jämförelse med kalcit, som SKB lyfter fram som huvudsaklig pH-kontroll, men de förväntas ändå långsiktigt ha en betydelse. SSM anser därför att SKB framledes bör redovisa inverkan av aluminosilikater med avseende på deras påverkan på pH-förhållanden och andra geokemiska variabler i grundvattensystemet.

SSM anser att provtagning på porvatten bör utföras av SKB i kommande steg för att minska osäkerheter rörande salinitet i grundvattnet vid SFR. För berggrunden vid Forsmarkslinsen finns utförliga studier gjorda på porvattensammansättningen och dess ursprung (SKB R-08-105). På ett liknande sätt bör porvattnet i SFR kartläggas för en tillförlitligare uppskattning av variationer och utveckling av salinitet.

3.7 Ytnära systemet

3.7.1 Dagens ytsystem

Beskrivning av SKB:s underlag

SKB beskriver ytsystemen i huvudrapporten till SR-PSU (SKB, 2015, avsnitt 4.5). Beskrivningen av Forsmarksområdets topografi baseras på en höjdmödel, DEM - ”digital elevation model”, som beskrivs i (SKB R-12-03). De terrestra delarna av Forsmark har överlag nivåskillnader som underskrider 20 m. Regoliten bildades till stora delar under kvartärperioden. En utförlig beskrivning av regolitens egenskaper fordras för att kunna modellera ythydrologi samt transport av radioaktiva ämnen från geosfär till biosfär liksom inom biosfären. Den rumsliga fördelningen av regoliten beskrivs utifrån den digitala höjdmödeln, jordartkartor samt data som inhämtats från borrhningar och geofysiska undersökningar (SKB R-13-22; SKB R-04-08). Regoliten kategoriseras som omogen i Forsmarkområdet som förhållandevis nyligen höjts över strandlinjen. Jorden innehåller höga halter av kalciumkarbonat vilket påverkar regolitens kemiska egenskaper (SKB, 2015, avsnitt 4.5.1). Den modell som tillämpas för att beskriva områdets regolitdjup beskrivs i (SKB R-13-22).

Ytsystemets initialtillstånd med avseende på lufttemperatur och nederbörd har baserats på SMHI:s normalperiod 1961-1990 under vilken årlig genomsnittlig lufttemperatur var 5,5 °C och årlig nederbörd var 560 mm. Totalt 25 sjöcentrerade avrinningsområden har avgränsats inom det beaktade området i säkerhetsanalysen (SKB, 2015, figur 4-34). Grundvattenbildningen i regoliten domineras av nederbörd och snösmältning. Moränen som dominerar områdets regolit är anisotrop vilket i detta fall innebär att den horisontella hydrauliska konduktiviteten är omkring en faktor 30 större än den vertikala.

De höga halterna av kalciumkarbonat i jorden påverkar ythydrokemin och det ytliga grundvattnet har ett pH 7-8. Dessa halter av kalciumkarbonat bidrar till utveckling av kalkrika, näringsfattiga sjöar i området. Konsekvensen av höga kalciumhalter är även att jordbildningen och det terrestra ekosystemets utveckling påverkas (SKB, 2015, avsnitt 4.5.2).

Vilken typ av ekosystem som finns i ett landskap påverkar transport och ackumulation av radionuklider. I radionuklidmodelleringen behöver hänsyn tas till processer som styr utvecklingen av landskapet; ändring av berggrundsyntans lokalisering, havsnivå ändringar, terrestialisering och utvecklingen av trösklar mellan vattenområden. De här processerna bestämmer vilka ekosystem som kommer att finnas vid platsen för det planerade utbyggda SFR, t.ex. terrestert, limniskt eller marint (TR-10-01). Modellering av kolbudgetar visar att det advektiva flödet (vattenomsättningen) ofta är viktigare för transport och ackumulation i marina ekosystem än biotiska flöden inom systemet.

Transport och ackumulation av ämnen i marina och limniska ekosystem påverkas av både abiotiska och biotiska processer. För det marina ekosystemet är det ofta det advektiva flödet (vattenomsättningen) som är den dominerande faktorn för transport och

ackumulation av ämnen. För det limniska systemet är det ämnens kemiska egenskaper, i kombination med sjöstorlek och sjöns läge i avrinningsområdet som påverkar transport och ackumulation av ämnen i ett sjösystem. I större sjöar (t.ex. Bolundsfjärden och Eckarfjärden i Forsmarksområdet) sker en relativt stor ackumulation i sediment, vilket kan utgöra en permanent sänka för radionuklider och andra ämnen.

Genom modellering av koldynamik för två barrskogar (vilket är den dominerande vegetationstypen i Forsmarksområdet) och en skogsbevuxen våtmark visar SKB att det största kolflödet i terrestra ekosystem är upptaget av kol genom primärproducenter och att vegetationen på alla undersökta ställen fungerar som en kolsänka. SKB menar att denna nettoprimärproduktion sätter en övre gräns för möjligt upptag av olika ämnen i biomassan, vilket i sin tur begränsar omfattningen av hur ämnen propageras vidare upp i näringskedjan. När biomassan som producerats når jordlagret som förna frigörs upptagna ämnen. Balansen mellan förnaproduktion och heterotrof respiration bestämmer i vilken grad organiskt material (och inkorporerade ämne) kan ackumuleras i jorden. SKB menar också att dynamisk vegetationsmodellering visar att andra typer av vegetation, t.ex. lövträd, ängar och åkermark, fungerar som kolsänkor (SKB, 2015, avsnitt 4.5.5). En mer detaljerad beskrivning av de terrestra ekosystemen återges i SKB TR-10-01.

Grundvatten är källan till samtliga offentliga vattentäkter i Forsmarksområdet (SKB, 2015, avsnitt 4.5.6). I dagsläget finns inget behov av framtida offentliga vattentäkter i närheten av befintliga SFR. I området nära SFR (400 km²) varierar brunnsdensiteten mellan 0,2 och 0,9 brunnar per km². Brunnar och hantering av vattenresurser beskrivs i (SKB, 2015, avsnitt 4.5.6).

SSM:s bedömning

SSM anser att SKB:s långsiktiga arbete med att detaljerat beskriva dagens ytsystem i Forsmarksområdet är väsentligt för att kunna analysera konsekvenserna av utsläpp av radioaktiva ämnen från den planerade utbyggda SFR anläggningen.

SSM har låtit externa experter granska hur SKB har använt beskrivningen av dagens ytsystem och utvecklingen av landskapet i dosmodelleringen (SSM 2017:33 del 1). En slutsats från granskningen är att det omfattande materialet från beskrivningen av dagens ytsystem starkt påverkar utformningen och funktionen av dosmodelleringen. På så sätt att beskrivningen av landskapets utveckling blir mer förutbestämd, t.ex. genom användningen av en modell för utvecklingen av regolitsjöar och en uppsättning utsläppspunkter för att definiera morfologin hos dosmodellobjekten och då också deras hydrologi. SSM:s externa experter (SSM 2017:33 del 1) menar att denna alltför förutbestämda syn på framtida landskap härrör från att SKB låtit den detaljerade platsbeskrivande modelleringen bestämma vad de ska ta hänsyn till vid dosmodelleringen. Istället menar SSM:s externa experter att SKB borde utgå från dosmodelleringen och hur den kan förbättras med hjälp av platsbeskrivande modellering. Men de anser att SKB:s arbete med detta förbättrats jämfört med säkerhetsredovisningen för det planerade slutförvaret för använt kärnbränsle, SR-Site. SSM anser att om SKB har en alltför förutbestämd syn på hur framtida landskap utvecklas kan det påverka dosmodelleringen. SSM vill att SKB ska fortsätta förbättra dosmodelleringen med hjälp av platsmodellering och redovisa detta i kommande säkerhetsredovisningar för den planerade utbyggda SFR anläggningen. Ytterligare beskrivning av SSM:s granskning av SKB:s dosmodellering finns i Del III, avsnitt 10.4 i denna granskningsrapport.

3.7.2 Ytssystemets utveckling efter förslutning

Beskrivning av SKB:s underlag

SKB beskriver ytssystemets utveckling efter slutförvarets förslutning i huvudrapporten till SR-PSU (SKB, 2015, avsnitt 6.3.1, 6.4.1, 6.5.1 samt 7.4.4). I och med strandlinjeförskjutningen kommer havsbotten att höjas ovan vågbasen och marina ekosystem övergå successivt till sjöekosystem och/eller till våtmarksekosystem. I och med att havsbotten höjs över havsnivån kommer vittring av kalkrika avlagringar att ske. Således blir påverkan av den kalkrika regoliten på de terrestra och limniska ekosystemen successivt mindre. Men ekosystemen kommer att påverkas av Ca^{2+} under de första 1000 åren, exempelvis resulterande i oligotrofa kalkrika sjöar vilket beskrivs i (SKB TR-10-02). Strandlinjeförskjutningen innebär en vertikal nivåförändring på 6 mm/år, vilket innebär att platsen ovanför SFR-förvaret beräknas vara ovan land omkring 1000 år efter förslutning (SKB, 2015, figur 6-4). För att kunna dikas och brukas, krävs att en plats har höjts tillräckligt mycket ovanför strandlinjen för att förhindra saltvattenintrång. SKB bedömer att endast mindre arealer av den nybildade marken kommer att kunna brukas för odling under de första 1000 åren efter förslutning. Under denna tid bedöms inte heller området ovanför förvaret vara tillämpligt för jordbruksändamål på grund av regolitens geologiska sammansättning (SKB R-13-22). Brunnar förväntas inte borrar så nära strandlinjen (SGU, 2011).

Efter 1000 år och fram till 3000 år efter förslutning utvecklas en skärgård öster om förvaret och sjöar bildas successivt. Salthalten i dessa sjöar, eller marina bassänger, förväntas minska efter omkring 4000 år efter förslutning. Detta innebär att antalet marina arter minskar och fler sötvattenarter utvecklas. I takt med att kalciumhalten minskar som följd av vittring kommer sjöarna att övergå till att bli mer dystrofa (lågt pH, brunvatten). Under perioden från 1000 till 10 000 år efter förslutning kommer den nybildade marken till stor del att vara olämplig för jordbruk pga. block- och stenrika avlagringar, men stora områden i centrala Öresundsgrepen har finkornigt sediment som kan brukas (SKB TR-10-05). En detaljerad redovisning av SKB:s beskrivning av ytssystemets utveckling görs i Biosfärens syntesrapport (SKB TR-14-06).

Vid ca 10 000 år efter förslutning har strandlinjeförskjutningen medfört att havet försvinner från modellområdet vilket innebär att ytssystemets utveckling efter denna tid enbart beror på klimatförändringar. Vid denna tidpunkt har de geohydrologiska vattenflödena stabiliserats och alla sjöar som kan motta radioaktiva ämnen har blivit terrestra områden såsom våtmark, skogar eller jordbruksmark.

Under den initiala perioden efter förslutning domineras utvecklingen av ekosystemen i hög grad av strandlinjeförskjutningen. Allt eftersom sjöar växer igen blir klimatvariation viktigare för att beskriva ytssystemet. Exempelvis kan framtida periglaciala klimat (antas tidigast ske 15 500 år efter förslutning) medföra förekomst av talikar vilket påverkar hydrologiska flöden. SKB:s redovisning om detta beskrivs mer utförligt i kapitel 7 i denna granskningsrapport.

Transport av radioaktiva ämnen till ytssystemet sker genom utströmningsområden, vilka representeras av så kallade biosfärsobjekt i radionuklidtransportmodelleringen i säkerhetsanalysen. Inom ytekosystemen sker transporten till stor del genom massflöden av vatten men transporten är även kopplad till flöden av gas och fast materia, till övergångar mellan organisk och oorganisk form samt till diffusion i porvattnet i jorden. För att kunna beskriva hur radioaktiva ämnen transporteras till och inom ytssystemet fordras utförlig information bland annat om hur ekosystem i utströmningsområdet förändras med tiden och tillhörande ekosystems specifika parametrar, hur regolitens fördelning ser ut, vilka djur

som finns i området och hur radioaktiva ämnen sorberar. Denna information beskrivs av SKB i Biosfärens syntesrapport (SKB TR-14-06). SSM ger en mer utförlig beskrivning och bedömning av radionuklidtransporten i biosfären liksom av data för biosfären i kapitel 10 i denna granskningsrapport.

Remissinstansers synpunkter

Kungliga vetenskapsakademien

Remissinstansen bedömer (SSM2015-1640-29) att SKB:s biosfärsarbete i det stora hela är mycket väl genomarbetat och övertygande. Remissinstansen anser vidare att forskningsprogrammet avseende utgångspunkter för beskrivning och modellering av ytnära ekosystem allmänt sett uppvisar hög vetenskaplig kvalitet.

SSM:s beaktande av remissynpunkter

SSM konstaterar att remissinstansens synpunkter är i linje med SSM:s bedömning av SKB:s arbete med att detaljerat beskriva dagens ytsystem i Forsmarksområdet.

SSM:s bedömning

SSM anser att SKB:s beskrivning av ytsystemets utveckling efter slutförvarets förslutning är ändamålsenlig.

Ovan redovisas slutsatser från den granskning som SSM:s externa experter har gjort av SKB:s redovisning av dagens ekosystem och ekosystemets utveckling efter förslutning (SSM 2017:33 del 1). Vad gäller utvecklingen av regolit-sjöar menar SSM:s externa experter att SKB borde redovisa flera möjliga tolkningar. De jämför den detaljerade beskrivningen av ytsystemet som kan tolkas på många sätt, med att endast en modell-tolkning av regolit-sjöns utveckling (SKB R-13-27) används i platsbeskrivningen som dosuppskattningsmodellen baseras på. SSM anser att SKB borde fortsätta arbetet med modellering av hur framtida regolit-sjöar kan utvecklas.

Ytterligare beskrivning av SSM:s granskning av SKB:s dosmodellering finns i Del III, avsnitt 10.4 i denna granskningsrapport.

3.8 Sammanfattande bedömning

Nedan följer en sammanfattning av SSM:s bedömningar av SKB:s beskrivning av geosfären samt den långsiktiga klimatutvecklingen. SKB:s beskrivning av geosfären utgår från den platsbeskrivande modellen och presenterar de egenskaper och förutsättningar som ligger till grund för urbergets initialtillstånd. SSM:s bedömningar avseende detta kan delas upp i följande områden: geologi, bergmekanik, hydrogeologiska förhållanden samt geokemiska förhållanden. Detta kapitel innehåller även SSM:s bedömning avseende det ytnära systemet och dess utveckling samt långsiktig klimatutveckling.

Långsiktig klimatutveckling

Avseende SKB:s redovisning av klimatutveckling bedömer SSM att SKB:s klimatrelaterade studier är väl beskrivna och av god kvalitet. SSM konstaterar att SKB vid framtagandet av relevanta klimatfall för SR-PSU i högre utsträckning än vid den föregående säkerhetsanalysen för låg- och medelaktivt avfall beaktat dagens vetenskapliga förståelse av det framtida klimatet, avfallets karaktär samt det analyserade förvarskonceptet. Utifrån SKB:s redovisning under kompletteringsförfarandet anser SSM att SKB:s hantering av klimatutvecklingen under de kommande 100 000 åren är adekvat med hänsyn även tagen till de osäkerheter som förknippas med förutsägelser av det framtida

klimatet. SSM bedömer att beaktandet av glaciala och postglaciala förhållanden inom ramen för huvudscenariot hade varit önskvärd ur ett fullständighetsperspektiv.

SSM bedömer att SKB:s klimatrelaterade studier till stöd för säkerhetsanalysen SR-PSU är av god kvalitet. Gällande den totala denudationen anser SSM att SKB:s redovisning är tillräcklig då analysperioden omfattar enbart en glaciationscykel. Därmed bedömer SSM att den förväntade denudationen är så pass liten att den inte kan förväntas leda till negativa konsekvenser på förvaret och därmed inte behöver beaktas i den vidare analysen. Dessutom, baserat på den senaste glaciationscykelns händelseförlopp bedömer SSM att den maximala glaciala erosionen under en kommande glaciationscykel inträffar vid eller strax efter analysperiodens slut, varför den saknar betydelse för säkerhetsanalysen.

Gällande SKB:s klimatfall med periglaciala klimatförhållanden och tillväxt av permafrost delar SSM SKB:s bedömning att det i dagens kunskapsläge förefaller osannolikt att frysning av förvaret kan ske under de första 20 000 åren efter förslutning. Efter att ha granskat SKB:s kompletterande information bedömer SSM att SKB:s redovisning av framtida permafrost och frysning av barriärerna är en lämplig utgångspunkt för beräkningarna i säkerhetsanalyserna. Vidare anser SSM att SKB:s redovisning visar att valet av förläggningsdjup med avseende på permafrost är lämpligt.

Geosfär

SSM anser att SKB har genomfört ett ambitiöst och omfattande platskaraktiseringsprogram. SKB:s metodik vid platskaraktiseringen följer de föregående undersökningarna i Forsmarksområdet inför etableringen av ett förvar för använt kärnbränsle. Värt att notera är att SSM vid granskningen av ansökan om ett slutförvar för använt kärnbränsle ansåg att SKB har genomfört ett mycket omfattande platskaraktiseringsprogram av hög internationell standard. Denna bedömning kvarstår. SSM bedömer att SKB:s platsundersökningar resulterat i en trovärdig berggrundsmodell av de vanligaste bergarterna i den föreslagna förvarsvolymen. Det finns vissa osäkerheter på grund av den strukturella variabiliteten men SSM anser att dessa är hanterbara. Gällande SKB:s deterministiska modellering av deformationszoner baseras den i stor utsträckning på de geofysiska undersökningar som gjordes i samband med SR-Site. Som stöd i tolkningen av deformationszonernas rumsliga fördelning i modellvolymerna har SKB utfört nya borrhningar och en bearbetning av äldre geologiska data. SSM bedömer att den befintliga modellen är tillförlitlig gällande dels antalet deformationszoner ≥ 1000 m dels zonernas rumsliga placering i målområdet.

SSM bedömer att nuvarande kunskap om berggrundens hållfasthets- och deformationsegenskaper är tillräcklig för detta steg i prövningen av en utbyggnad av SFR. SSM gör denna bedömning trots att huvuddelen av bestämningen av hållfasthets- och deformationsegenskaperna är baserad på prover som kommer utanför kandidatområdet för utbyggnaden eftersom SSM anser att de förekommande bergarterna i kandidatområdet är jämförbara med de undersökta bergartsproverna. Vidare bedömer SSM att SKB har en bra kännedom om bergarterna och bergartsfördelningen i kandidatområdet. Denna bedömning gäller för egenskaperna för det intakta berget, bergssprickorna samt bergmassan. Gällande bergspänningarna vid platsen för den planerade utbyggnaden av SFR råder det osäkerheter pga. att det är oklart hur stor inverkan bankningsplanen har på bergspänningarna. Emellertid bedömer SSM att den stora variationen av bergspänningarna i den grundaste bergmassan inte bör påverka utbyggnaden negativt eftersom den planeras ligga på ett djup av ca 130 m. Även de nya tillfartstunnlarna till utbyggnaden planeras uppföras på ett djup större än 60 m (för layouten utan reaktortaktunneln).

Gällande den hydrogeologiska platsbeskrivande modellen anser SSM att SKB:s redovisning är välstrukturerad, transparent och heltäckande. Modelleringen är välbeskriven och de olika modellerade fallen är tydligt definierade. Data och antaganden kan generellt spåras till sina källor. SSM bedömer i likhet med sina externa experter att de presenterade data är tillräckliga för att utveckla och ge tillit till den platsbeskrivande modellen för ändamålet att underbygga en tillståndsansökan. Efter att ha granskat SKB:s hantering av olika osäkerheter bedömer SSM att SKB:s föreslagna hydrogeologiska basfall som indata till SR-PSU är tillämplig. SSM anser att valet av maximal transmissivitet gör att ökning av flödet i stokastiskt hanterade potentiella deformationszoner (PDZ) är mycket osannolik och därför kan betraktas som gränssättande för effekten av osäkerheterna i PDZ.

Beträffande SKB:s redovisning av de geokemiska förhållandena i försvarsplatsen bedömer SSM att SKB:s beskrivning av de geokemiska aspekterna i den platsbeskrivande modellen på en övergripande nivå är godtagbar. Den generella förståelsen för de geokemiska förutsättningarna bedöms vara tillräcklig för att kunna uppskatta den geokemiska utvecklingen med rimlig noggrannhet.

I kommande steg anser SSM att SKB bör utföra provtagning av porvatten i bergmatrisen för att bättre förstå variation och utveckling av salinitet. För berggrunden vid Forsmarks-linsen finns utförliga studier gjorda på porvattensammansättningen och dess ursprung (SKB R-08-105). På ett liknande sätt bör porvattnet i SFR kartläggas för en tillförlitligare uppskattning av variationer och utveckling av salinitet.

Ytnära systemet

SSM anser att SKB:s långsiktiga arbete med att detaljerat beskriva dagens ytsystem i Forsmarksområdet är väsentligt för att kunna analysera konsekvenserna av utsläpp av radioaktiva ämnen från den planerade utbyggda SFR anläggningen.

Avseende beskrivningen av dagens ytsystem och utvecklingen av landskapet i dosmodelleringen anser SSM att om SKB har en alltför förutbestämd syn på hur framtida landskap utvecklas kan det påverka dosmodelleringen. SSM vill att SKB ska fortsätta förbättra dosmodelleringen med hjälp av platsmodellering och redovisa detta i kommande säkerhetsredovisningar för den planerade utbyggda SFR anläggningen.

SSM anser att SKB:s beskrivning av ytsystemets utveckling efter slutförvarets förslutning är ändamålsenlig.

4 Slutförvarets initialtillstånd

4.1 Inledning

I detta kapitel beskrivs och bedöms SKB:s redovisning av förvarets initiala tillstånd. SKB definierar initialtillståndet som det förväntade tillståndet direkt efter förslutning (SKB TR-14-02) och uppskattar tidpunkten för slutlig förslutning av hela SFR-förvaret till år 2075.

För den befintliga delen av förvaret baseras initialtillståndet för avfall och förvaret i hög grad på kontrollerade och dokumenterade egenskaper hos det deponerade avfallet, de upprättade försvarskomponenterna samt de uppförda bergsutrymmena. Dessutom tas hänsyn till prognosen av det ytterligare avfall som kommer att deponeras i den befintliga delen av förvaret samt bedömningen av eventuella förändringar av egenskaperna hos

denna del av förvaret under tiden fram till förslutning. För den del av förvaret som utgörs av den planerade utbyggnaden har initialtillståndet i huvudsak baserats på referensutformningar av de tillkommande försvarsdelarna, samt nuvarande prognos för det framtida avfall som ska deponeras i den utbyggda delen av förvaret. SSM konstaterar att referensutformningen för vissa delar av utbyggnaden har uppdaterats under myndighetens beredning av tillståndsansökan. Dessa uppdateringar kommenteras i det här kapitlet. Beskrivningen av initialtillståndet för avfall och förvaret har sammanställts i Initialtillståndsrapporten (SKB TR-14-02).

Initialtillståndet för förvarets omgivning definieras i huvudsak utifrån dagens förhållanden. SKB:s beskrivning av initialtillståndet för förvarets omgivning framgår främst av den platsbeskrivande modellen SDM-PSU (SKB TR-11-04), Biosfärens syntesrapport (SKB TR-14-06) och Klimatrapporten (SKB TR-13-05).

Initialtillståndet, som beskrivs och bedöms i detta kapitel, avgränsas från förvarets utveckling efter förslutning, vilken beskrivs och bedöms i efterföljande kapitel i denna granskningsrapport (kapitel 5, 6 och 7). Denna avgränsning utgörs av en skarp tidpunkt, den slutliga förslutning av slutförvaret, som skiljer förvarets initiala tillstånd från dess senare utveckling. Vissa processer har dock stor bäring på bedömningen av initialtillståndet även om processerna huvudsakligen sker efter förvarets förslutning. Ett exempel på en sådan process är bildning av komplexbindande ämnen. Förståelsen av denna process är avgörande för framtagandet av avfallets acceptanskriterier och bedöms delvis i detta kapitel. I vissa fall bedöms endast motivering, relevans och fullständighet i val av processer i detta kapitel, medan själva processernas utveckling bedöms annorstädes, såsom det görs för konceptualisering av betongbarriärens utveckling i Del III, avsnitt 4.3.2 i denna granskningsrapport.

Detaljerade driftsfrågor så som specifika typbeskrivningar, utformning av enskilda avfallskollin, hantering av udda avfallstyper, styrning av avfallsströmmar till olika försvarsdelar m.m. hanteras inom ramen för myndighetens pågående tillsyn av driften, snarare än inom ramen för den aktuella tillståndsprövningen. Dessa frågor hanteras i stort sett inte i detta kapitel annat än att kortfattat återges som underlag för diskussionen av initialtillståndet. Det finns dock vissa hanteringsmoment under drift av förvaret som mer ingående diskuteras även i föreliggande kapitel då dessa moment oftast utgör nödvändigt underlag för bedömningen av initialtillståndet. Framtagandet av avfallsacceptanskriterier är ett av sådana moment och granskas och bedöms även i detta kapitel.

Att precisera initialtillståndet för ett slutförvar har betydelse för flera aspekter av förvarets strålsäkerhet. Initialtillståndet för ett slutförvar utgör den verkliga utgångspunkten för den efterföljande utvecklingen av förvaret och avgör till viss del hur robust förvaret kommer att vara under påverkan av externa förhållanden efter slutlig förslutning av förvaret. På grund av detta antas initialtillståndet som begynnelsevillkor i analys av förvarets långsiktiga strålsäkerhet. SSM:s föreskrifter kräver att förvarets säkerhetsredovisning ska avspegla anläggningen som den är byggd, analyserad och verifierad (4 kap. 2§ i SSMFS 2008:1). I initialtillståndet brukar förvarets referensutformning förtydligas och referensutformningen utgör målet som förvarets uppförande och drift ofta siktar på. En tydlig beskrivning av barriärsystemets initialtillstånd i referensutformningen, tillsammans med beskrivning av systemets senare utveckling, vilket granskas och bedöms i kapitel 5, 6 och 7 i denna granskningsrapport, ligger till grund för bedömningen av uppfyllelse av föreskriftskrav på barriärsystemets tålighet (5§ i SSMFS 2008:21) samt användning av bästa möjliga teknik vid konstruktion och utförande av barriärsystemet (6§ i SSMFS 2008:21 samt 3 § i SSMFS 2008:37). En ändamålsenlig redovisning av initialtillståndet för den plats där förvaret kommer att vara beläget utgör en viktig del av det underlag för val av

scenarier och framtagande av framtida förhållanden, händelser och processer (FEP) i förvarets omgivning, vilket krävs enligt bilaga 1 i SSMFS 2008:21.

4.2 Avfallskollin och –matris

4.2.1 Avfallets uppkomst och hantering innan deponering

I nuvarande förvarsutrymmen vid SFR slutförvaras avfall som uppstår vid drift av de svenska kärnkraftverken samt visst avfall som hanteras vid Studsviks anläggningar. Att avfall från avvecklingen av kärnkraftverken inte får slutförvaras i anläggningen följer av regeringens beslut enligt 136a § byggnadslagen och enligt atomenergilagen (1983-06-22, FI 999/82; 1983-06-22, 1034/83, 1099/83, 1110/83, 1189/83 Dossié 2611). Huvudsakligen består driftavfallet av filter från vattenreningssystemen (i form av jonbytarmassor) samt av sopor och annat låg- och medelaktivt avfall som uppstått under driften. Innehållet av gammastrålande radionuklider i avfallet bestäms genom mätningar hos avfallsproducenterna där också avfallet behandlas och förpackas. Vid SFR slutförvaras även visst radioaktivt avfall som härstammar från sjukhus, forskning och industri. Detta avfall har behandlats och förpackats vid Studsviks anläggningar innan transport till SFR.

SKB har ansökt om tillstånd att utöka anläggningen och i denna också slutförvara rivningsavfall från flertalet av de svenska kärntekniska anläggningarna (BKAB, OKG, FKA, RAB, Clab/Clink, SNAB och SVAFO). I fråga om rivningsavfall tillkommer avfall från rivningen av kärnvärmeverket vid Ågesta till de listade kärntekniska anläggningarna.

SKB:s redovisning

I detta avsnitt sammanfattas SKB:s redovisning med avseende på:

- Avfallets uppkomst och mängd
- Konditionering och paketering av avfallet
- Fördelning av avfallet mellan olika förvarsdelar
- Typbeskrivningar och avfallstyper

Driftavfallet uppkommer i huvudsak från reningen av reaktorvatten i form av exempelvis använda jonbytarmassor, mekanisk filtermassa, eller fällningsslam. Radioaktiva ämnen i avfallet uppkommer dels till följd av neutronaktivering av bl.a. korrosionsprodukter i närheten av reaktorhärden, dels som en följd av kontamination vid bränsleskador då fissionsprodukter och aktinider sprids i reaktorvattnet. Dessa radioaktiva ämnen samlas upp med hjälp av jonbytarmassor. Liknande reningsprocedurer tillämpas vid mellanlagring av använt kärnbränsle (CLAB) och mer begränsade mängder av sådant avfall uppkommer även här. Vissa mängder radioaktivt avfall från Studsvik forskning, industrier samt sjukvård slutförvaras också i SFR. Det rivningsavfall som planeras slutförvaras i de tillkommande delarna av SFR består till största delen av metallskrot och betong. I samband med rivning och dekontaminering uppkommer liksom vid driften i mindre omfattning förorenade jonbytarmassor. Den allra största delen i de tillkommande förvarsdelarna avser bergsalar för lågaktivt rivningsfall medan den största delen i befintliga delar avser omhändertagna jonbytarmassor.

Avfallet behandlas vanligen och placeras i kollin med syftet att dels uppnå gynnsamma egenskaper vid transport och hantering, dels optimera förutsättningarna för strålsäkerhet efter förvarets förslutning. Avfallets behandling anpassas såväl till hanteringen inför slutförvaringen som till den långsiktiga strålsäkerheten. I detta ingår hur avfallet kan

inverka på andra barriärer i slutförvaret. SKB sammanfattar de för närvarande tillämpade rutinerna (för befintliga SFR) och de planerade rutinerna för tillkommande förvarsdelar avseende rivningsavfall i initialtillståndsrapporten (SKB TR-14-02). Avfallens behandling styrs i huvudsak av innehållet av radioaktiva ämnen och dess övriga egenskaper, men beror också på vilken förvarsdel som avfallet ska slutförvaras i.

De använda jonbytmassorna konditioneras genom antingen solidifiering med cement eller solidifiering med bitumen. Avvattnade jonbytmassor som innehåller lägre aktivitet som inte konditioneras placeras i betongtankar. Solidifieringen innebär att avfallet blandas med konditioneringsmaterialet i lämpliga proportioner så att en stabil matris erhålls. Cementingjutningen medför att den lokala miljön runt avfallet blir förhållandevis tät och kemiska förhållanden stabiliseras av pH-buffringen från cementmaterialet. Bitumeningjutningen ger en förhållandevis tät matris. Förutom jonbytmassor solidifieras även slam och indunstarkoncentrat. Avvattningen sker av jonbytmassor med lägre innehåll av radioaktiva ämnen.

Sopor- och skrotavfall med ett högre aktivitetsinnehåll behandlas genom cementkringgjutning i plåt- eller betongbehållare. För sopor och skrot med lägst innehåll av radioaktiva ämnen konditioneras inte avfallet utan placeras istället i en avfallsbehållare, exempelvis i isocontainrar. Brännbart material kan även behandlas genom förbränning vid anläggningarna i Studsvik.

SKB använder sig för närvarande av följande avfallsbehållare i befintliga SFR:

- Betongkokiller
- Plåtkokiller
- Plåtfat
- Betongtankar
- Isocontainrar

För rivningsavfallet planeras även (två- eller) fyrkokiller att användas.

SKB har, tillsammans med avfallsproducenterna, tagit fram ett system för omhändertagandet av avfallet där det kategoriseras i s.k. typbeskrivningar. Avfallet kategoriseras med avseende på avfallsproducent, avfallskategori, avfallens behandling och typ av avfallsbehållare och till vilken förvarsdel som avfall ska deponeras.

I förvarsdelarna för medelaktivt avfall (Silo och 1-2BMA) deponeras i huvudsak behandlade jonbytmassor i betong- och plåtkokiller eller i plåtfat. I Silo deponeras även vissa mängder sopor och skrotavfall som cementkringgjutits. Det är till allra största delen frågan om cementkonditionerat avfall. Cirka 12 % av avfallskollina förväntas vara konditionerade i bitumen (SKB TR-14-02, figur 3-10). I 1BMA deponeras ungefär samma avfallskategorier som i Silo, men andelen bitumenkonditionerade jonbytmassor i plåtkokiller eller plåtfat är högre. I 1BTF domineras avfallet av plåtfat med cementkringgjutna askor, samt betongtankar med avvattnade jonbytmassor och slam. Ett mindre antal betongkokiller har också placerats i 1BTF. I 2BTF förekommer nästan uteslutande betongtankar med avvattnade jonbytmassor och slam. 1BLA deponeras allt avfall i isocontainrar, i huvudsak sopor och skrot. Avfallet består dels av icke-konditionerat avfall, men också av avfall placerat i plåtfat med olika typer av konditionering.

SKB har även specificerat en planerad fördelning av avfallskategorier för de tillkommande förvarsdelarna i SFR (2BMA, 2-5BLA, BRT). I dessa förvarsdelar avser SKB till allra största delen deponera rivningsavfall men även i viss mån tillkommande

driftsavfall från förlängd drift vid kärnkraftverken. 2BMA domineras av cementingjutna sopor och skrot i fyrkokill, betongkokill, plåtfat eller stålkokiller. Dessutom inkluderas betongavfall och i mindre utsträckning driftsavfall i form av jonbytarmassor, indunstar-koncentrat och slam i stål- eller betongkokiller. 2-5BLA domineras av containrar med sopor, skrot, grus, sand, asfalt, jord och betongavfall från rivning av kärnkraftverken. BRT består av en bergsal för reaktortankar från samtliga nio kokvattenreaktorer i Sverige. I den ursprungliga ansökan var tanken att reaktortankarna skulle deponeras hela i bergsalen men senare uppdateringar avser istället deponering av delar från segmentering av reaktortankarna och deponering i kokiller.

Remissinstansers synpunkter

Kungliga vetenskapsakademin

Remissinstansen anför följande kopplat till frågan om avfallets inventarium av radioaktiva ämnen (SSM2015-1640-29):

”Det anges att accepterade mängder av långlivade radionuklider i det låg- och medelaktiva avfallet ”bör bestämmas av SSM”. Det är därmed av fundamental vikt vilka mängder som myndigheten tillstyrker, och att den förväntade genereringen av avfall under driftsperioden inte överskrider tillåten mängd. Här ligger en osäkerhet i ansökan – en dialog måste ske mellan SKB och myndigheten i frågan.”

” Definieringen av kortlivat låg- och medelaktivt avfall som avfall innehållande radionuklider med halveringstider under 31 år är givetvis genomtänkt och motiverad. Därigenom inkluderas Sr-90 och Cs-137. Aktiviteten i förvaret från dessa kanske dominerande nuklider kommer att reduceras med en faktor $>10^6$ under de första 600 åren efter förslutningen. Dock skulle det vara värdefullt att även i toppdokumentet, och inte bara i bilagor, ge en förteckning över vilka nuklider med längre halveringstider som kan finnas bland det låg- och medelaktiva avfallet (förväntade maximala aktiviteter och ursprung).”

” En dominerande dosnuklid är Mo-93 i flertalet av modellberäkningarna, trots detta är dess inventarieuppskattning relativt osäker. Beräkningsmetoden har en låg osäkerhet (0,2) medan dess korrelationsfaktor mot Co-60 är behäftad med avsevärt större osäkerhet (20). På grund av nuklidens dosdominans är det viktigt att försöka minska osäkerheten i dess inventarieuppskattning, såväl som fördelning i SFR.

En annan viktig nuklid från dossynpunkt är Ni-59, vilken kan beräknas genom korrelation mot Co-60 eller mot Ni-63, vilken uppges utgöra ca 80 % av hela inventariet i SFR och har en relativt hög radiotoxicitet. Även detta inventarium kan beräknas genom korrelation mot Co-60 eller genom direkta mätningar på aktuellt processvatten (sker sedan ett antal år tillbaka). Beskrivningen av hur nickel-inventarierna har beräknats är otydlig och svår att följa.

Den generella korrelationsfaktorn mot Co-60 har en relativt stor osäkerhet, och då tillförlitligheten i dagens Ni-63 -mätningar utvärderats bör man istället överväga om den nya så kallade ”specifika korrelationen” istället kan användas på historiska data för att minska osäkerheten. De direkta mätningar av Ni-63 som påbörjats på verken är därför viktiga för att ge en mer korrekt inventarieuppskattning av såväl Ni-63 som Ni-59.

Metoden för uppskattning av C-14 inventariet anges ha en exceptionellt låg osäkerhet (0,2). Antalet mätningar är stort, och det bör vara rimligt att spridningen i dessa resultat kan ligga kring 20 %. Det är märkligt att inga ytterligare osäkerheter tillkommer vid

uppskattningen av det totala inventariet i SFR där både historiskt och prognostiserat avfall ingår.

Att applicera korrelationsfaktorer på avfall från andra sektorer än kärnkraftområdet (SVAFO-/SNAB-avfall med mycket varierande innehåll och dessutom inblandning av avfall från sjukvård- och högskolor) bör vara förknippat med relativt stora osäkerheter (anges även i Bilaga D). För att kunna bedöma vilken betydelse detta skulle kunna ha för den totala inventarieuppskattningen hade en tabell med aktivitetsfördelning per avfallsleverantör varit av värde. Som exempel kan nämnas C-14, som rimligtvis bör utgöra ett signifikant inslag i sjukvårdsavfall, både idag och historiskt, men där ansatsen att korrelera mot Co-60 helt saknar rimlig grund. Att utgå från data om inköpta mängder C-14-substanser hade sannolikt givit en mer rättvis bild än korrelation mot Co-60. SNAB-avfallet bör även kunna innehålla uttjänta/oanvända slutna strålkällor från exempelvis sjukhus. Aktivitetsinnehållet bör här vara tämligen väldefinierat.

Bestämning av osäkerheten i respektive korrelationsfaktor har skett utgående från spridningen i tillgänglig data. Detta säger ju dock inget om osäkerheten i att applicera korrelationsfaktorn på en anläggning vars avfall inte ingick i ”tillgänglig data”.

SSM:s beaktande av remissynpunkt

Frågan om regleringen av aktivitetsinnehållet har varit under diskussion. Hittillsvarande reglering av befintligt SFR tar fasta på att regeringen genom sitt tillstånd har meddelat ramarna för omfattningen av verksamheten, i vilket ingår tillåtlig mängd nuklidspecifik långlivad aktivitet. SSM har genom strålskyddsvillkor detaljreglerat förverkets aktivitetsinnehåll, under beaktande av de ramar som följer av regeringstillståndet. Enligt SSM har denna ordning varit ändamålsenlig. SSM delar därför inte utgångspunkterna för SKB:s förslag, att regleringen av vilket långlivat inventarium av kärnavfall enbart faller på SSM att reglera. Detta har också framförts vid flertalet möten mellan SKB och SSM.

I fråga om vilka nuklider som faller inom ramen för begreppet ”långlivade” saknar Sverige en strikt definition. Den definition som SKB tillämpar, vilken inkluderar Cs-137 inom ramen för kortlivade ämnen, skiljer sig den internationellt sett gängse tolkningen. Detta saknar dock praktisk betydelse eftersom detta inte i sig inte reglerar vilket avfall som deponeras i SFR. Detta styrs i stället av framtagna acceptanskriterier, tillämpning av principerna för optimering av skyddet och de begränsningar som följer av tillståndets begränsningar.

SSM delar synpunkten att det krävs ytterligare utveckling för att erhålla en bättre förståelse av produktionen av Mo-93 och har adresserat frågan inom ramen för granskningen.

För flera av de övriga nukliderna som diskuteras har SSM inom ramen för tillsynen utvärderat de metoder som tillämpas. SSM har ställt krav på att dessa metoder utvecklas, bl.a. genom att direkta mätningar görs av analyser av Ni-63 i reaktorvattnet på kärnkraftverken. Genom dessa analyser kan sedan förekomsten av den långlivade, och mer svåranalyserade Ni-59, bestämmas. För driftavfallet uppskattas således den totalt producerade mängden genom direkta mätningar av Ni-63. Aktivitetsinnehållet i enskilda avfallskollin baseras sedan på den relativa förekomsten av Co-60. Även om SSM inom ramen för tillsynen har bedömt att den metod som tillämpas för bestämning av flera av de svårämbara nukliderna som tillräcklig (SSI dnr 2006/6-257, beslut daterat 2008-03-19) har SSM fortsatt genomfört tillsyn inom området.

I fråga om C-14 har kunskapsläget om kärnkraftsavfallets innehåll historiskt sett varit litet, delvis beroende på att nukliden är svår att analysera, men också beroende på att förekomsten av C-14 i avfallet kan påverkas av hur avfallet lagras och behandlas. SSM har ställt krav på ett omfattande program för att utveckla förståelsen och uppskattningarna av inventariet (SSI dnr 2006/6-257, SSI beslut daterat 2008-03-19). Frågan har adresserats inom ramen för tillsynen.

SSM delar synpunkten att det finns osäkerheter gällande förekomsten av C-14 i avfall som härstammar från t.ex. sjukvården och viss forskningsverksamhet. Tidigare har myndigheten bedömt att osäkerheterna har varit otillfredsställande och stoppat deponering av sådant avfall som kan innehålla betydande mängder C-14 (SSI dnr 2006/6-257, SSI beslut daterat 2008-03-19). Frågan har adresserats inom ramen för tillsynen.

Sammanfattningsvis vill SSM understryka att det i första hand är inom ramen för tillsynen som SSM följer och värderar de metoder som avfallsproducenterna och SKB tillämpar. Tillståndsprövningen syftar i första hand till att bedöma om anläggningens lokalisering och konstruktion är ändamålsenlig för att omhänderta det nuklidspecifika aktivitetsinnehållet i det radioaktiva avfall som omfattas av ansökans yrkande.

SSM:s bedömning

System och rutiner för att hantera de olika typerna av avfall bedöms vara väl utvecklade. Genom att frågan uppmärksammades redan tidigt under driften av de svenska kärnkraftverken har en situation kunnat undvikas med alltför divergerande metoder för omhändertagande av avfallet vid de olika anläggningarna. SSM bedömer att detta i hög grad har underlättat arbetet. Dokumentationskravet har även successivt utvecklats och det är idag relativt väl känt vilken information som behöver inhämtas och analyseras för genomförandet av successiva uppdaterade säkerhetsanalyser. Det finns fortfarande utmaningar, såsom exempelvis hantering av svällningsproblematiken för bitumeningjutna jonbytar-massor (se Del III, avsnitt 6.2), och väl kända områden med potentiellt stor påverkan på den långsiktiga strålsäkerheten, såsom exempelvis deponering av cellulosa med risk för uppkomst av komplexbildande ämnen. Den höga luftfuktigheten i den befintliga anläggningen har, tillsammans med droppande salt grundvatten på avfallet också lett till korrosionsskador. Dessa problem har åtgärdats i förvarsdelarna 1BMA och Silo genom installation av tunneldukar i taket. Problemen är dock inte fullt ut åtgärdade i förvarsdelen 1BLA. Detta är av betydelse i fråga om bedömning av förutsättningarna för återtag av feldeponerat avfall, se nedan.

Enligt SSM:s uppfattning är det rimligt att detaljerade frågor kring specifika avfallstyper, utformning av enskilda avfallskollin, hantering av udda avfallstyper, styrning av avfallsströmmar till olika förvarsdelar etc. hanteras inom ramen för myndighetens pågående tillsyn av driftsituationen, snarare än inom ramen för den aktuella tillståndsprövningen. Dessa frågor har visserligen sammantaget en potentiell stor påverkan på strålsäkerheten både före och efter slutlig förslutning, men de bedöms vara hanterbara med rimliga åtgärder och mot bakgrund av detta har de ingen principiell betydelse för ett beslut kring tillstånd enligt kärntekniklagen och tillåtlighet enligt miljöbalken. Frågorna kan anses vara förknippade med en för hög detaljeringsnivå för detta prövningssteg.

SSM konstaterar att befintliga erfarenheter inte nödvändigtvis i alla avseenden är tillämpliga för de tillkommande förvarsdelarna 2BMA, 2-5BLA samt BRT. Det kommer därför krävas ytterligare omfattande utredningar och redovisning innan dessa förvarsdelar kan börja uppföras och tas i drift. Resultat av sådana kommande insatser behöver inarbetas i kommande säkerhetsanalyser PSAR och SAR. En övergripande bedömning av rivningsavfallet och de tillkommande förvarsdelarna är dock att vissa omständigheter snarare är

enklare än svårare i förhållande till förvarsdelar och avfallsströmmar för befintliga SFR. Exempel på detta är att konstruktionen av 2BMA kan baseras på erfarenheter från 1BMA, samt att avfallet i 2-5BLA förväntas innehålla en lägre andel av reaktivt organiskt material i förhållande till avfallet i befintliga BLA. SSM har inte identifierat några nya frågor av avgörande betydelse för karaktärisering och bedömning av avfall till de nya förvarsdelarna men konstaterar att förvarsdelen BRT, som planeras att inrymma segmenterade reaktortankar, saknar motsvarighet i det befintliga SFR.

4.2.2 Typbeskrivningar och acceptanskriterier för avfall

SKB:s redovisning

I det system för omhändertagande av sådant radioaktivt driftavfall som slutförvaras i SFR har ett system med avfallstyper byggts upp. Som framgår enligt ovan så kategoriseras avfallet i olika kategorier med avseende på 1) avfallsproducent, 2) avfallskategori, 3) avfallets behandling och typ av avfallsbehållare samt 4) i vilken förvarsdel i SFR avfallet ska slutförvaras. För varje avfallstyp har en typbeskrivning tagits fram. I enlighet med utfärdade villkor får inte avfall av en viss avfallstyp deponeras innan typbeskrivningen har godkänts (Uppdaterade strålskyddsvillkor för SFR 1, 2003-12-08, Statens strålskydds-institut, SSI dnr 6222/3744/03).

Styrande för framtagning av typbeskrivningarna är instruktioner som finns i SKB:s avfallshandbok för låg- och medelaktivt avfall (Avfallshandbok – låg- och medelaktivt avfall, SKB 1195328, 5.0).

Typbeskrivningar utgör också en del av det underlag, tillsammans med den kollispecifika information som lagras i avfallsregister, för att definiera det initiala tillståndet för SFR i föreliggande analys av slutförvarets långsiktiga strålsäkerhet (SKB, 2015). Informationen kring deponerade avfallskollin i SFR dokumenteras i SKB:s avfallsregister (Triumf-databasen). SKB genomför med jämna mellanrum, ungefär vart fjärde år, granskning och revision av hanterings- och konditioneringsprocedurer hos avfallsproducenterna.

För de tillkommande förvarsdelarna finns inga fastställda avfallstyper men SKB har tagit fram tre preliminära typbeskrivningar för rivningsskrot i fyrkokill, hårdkomponenter i ståltankar samt för hela BWR-reaktortankar, varav de sistnämnda är inaktuella eftersom SKB numera förordar segmentering av reaktortankar. Mellanlagring av hårdkomponenter är inte heller längre aktuellt. Någon ny preliminär typbeskrivning för de avfallskokiller som innehåller segmenterade reaktortankar har dock ännu inte tagits fram utan planeras utföras inför kommande säkerhetsanalys PSAR.

SKB har som en del av ansökan formulerat acceptanskriterier för avfall till SFR (SKB dokID 1368638). Acceptanskriterierna syftar till att säkerställa dels att avfallet får de egenskaper som krävs för en strålsäker hantering i samband med transporter och deponering, dels att gynnsamma egenskaper uppnås för att minimera spridning av radioaktiva ämnen efter förvarets slutliga förslutning. SKB:s redovisning har strukturerats som följer: först formuleras det aktuella acceptanskriteriet, sedan förklaras dess bakgrund och betydelse, och slutligen beskrivs dess verifiering.

Kraven avser olika aspekter på avfallets beskaffenhet såsom:

- Allmänna krav så som avfallskollinas i) dimensioner, ii) vikt och iii) märkning.

- Radiologiska krav som avser i) innehåll av radioaktiva ämnen, ii) ytdosrat och dosrat på ett visst avstånd, iii) ytkontamination, iv) strålningspåverkan och homogenitet.
- Kemiska och fysikaliska krav som avser i) sammansättning och struktur, ii) homogenitet, iii) hydrauliska egenskaper, iv) temperatur, v) vätskor, vi) gasutveckling, vii) brandbeständighet, viii) kemisk reaktivitet, ix) urlakning, och slutligen x) miljöfarliga ämnen.
- Den sista kategorin avser mekaniska krav så som i) hållfasthet mot yttre påverkan, ii) inre mekanisk stabilitet, iii) korrosionsbeständighet.

SSM:s bedömning

SSM konstaterar att SKB tillsammans med avfallsproducenterna under mer än 25 års drift av SFR-1 har utvecklat rutiner för att konditionera och deponera avfallet i de olika förvarsdelarna. Specifikation av krav på avfallskollin och avfallsmatriser har gradvis förtydligats. Även dokumentationskravet har successivt utvecklats och det är idag relativt väl känt vilken information som behöver inhämtas och analyseras för genomförandet av successiva uppdaterade säkerhetsanalyser. Inom ramen för tillsynen har dock SSM uppmärksammat ett behov av att de krav som SKB anger för avfallet behöver utvecklas och förtydligas. Ställda krav behövde också motiveras bättre från säkerhetsanalysen, särskilt de krav som ställs med utgångspunkt från strålsäkerheten efter förslutning. Det identifierade behovet ledde till att krav ställdes på framtagande av acceptanskriterier och infördes i Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter (SSMFS 2008:1) om säkerhet i kärntekniska anläggningar. Den första redovisningen av dessa acceptanskriterier inkom under 2012. Följt av SSM:s granskning har redovisningen successivt utvecklats. En tredje utgåva av redovisningen inlämnades under sommaren 2018 och är för närvarande under granskning.

SSM:s granskning av SKB:s acceptanskriterier genomförs i huvudsak som en del av granskningen av driften av det befintliga SFR. SSM konstaterar att kraven har utvecklats från att ge uttryck för generella målsättningar/eftersträvansvärda egenskaper till att bli mera specifika kriterier, som i högre grad är möjliga att verifiera och utvärdera på objektiva grunder.

SSM anser det dock vara naturligt och rimligt att det för närvarande finns mindre detaljerad tillgänglig information om tillkommande avfallskategorier som avser den planerade utbyggnaden av SFR.

Acceptanskriterier har bäring på frågor med stor betydelse för den långsiktiga strålsäkerheten exempelvis svällningsbenägenheten för bitumenbehandlade jonbytarmassor och indunstarkoncentrat, inverkan av komponenter i avfallet som bidrar till gasutveckling samt avfallsets innehåll av komplexbildande ämnen som potentiellt ökar rörligheten av radioaktiva ämnen i avfallet. Det finns också kriterier med svag eller indirekt bäring på den långsiktiga strålsäkerheten, men som istället har en starkare koppling till säker hantering och strålsäkra driftsförhållanden.

SKB:s ursprungliga version av acceptanskriterier granskades först av SSM inom ramen för tillsynen av det befintliga SFR (SSM tillsynsrapport SSM2012-4914-4). Slutsatsen från den granskningen var att uppdelningen i tre separata avsnitt (krav, bakgrund, verifiering) för varje kriterium var tydlig, men att redovisningen i övrigt var otydlig och överlappande och därför behövde konkretiseras och förtydligas. Acceptanskriterierna bedömdes vara vaga och därför svåra att verifiera med en bibehållen tydlighet vad gäller kopplingen till slutförvarets säkerhetsanalys. Det ansågs dessutom inte vara helt tydligt

vad som var avfallsproducentens ansvar och vad som var SKB:s ansvar med avseende på kravuppfyllelse. Som svar på ett förläggande med syfte att åtgärda dessa brister (SSM2012-4914-4) togs en uppsättning reviderade acceptanskriterier fram av SKB (SKB dokID 1558199) med en uppdelning av, där så är aktuellt, verifiering på kollinivå och verifiering på förvarsdelnivå. Avfallsproducenten svarar för kravuppfyllelse på kollinivå och SKB på förvarsdelnivå. SSM:s granskning av SKB:s reviderade acceptanskriterier för avfall till SFR resulterade i en tillsynsrapport som publicerades under slutet av 2017 (SSM2012-4914-15).

SSM konstaterar i (SSM2012-4914-15) att SKB:s redovisning har utvecklats och att SKB till stor del har åtgärdat de brister som påtalades av SSM i det tidigare förläggandet. För i stort sett samtliga krav har dock SSM identifierat vissa behov av förtydliganden och vidareutveckling inför ett godkännande. Ett viktigt syfte är att det ska vara enklare att verifiera kravuppfyllelse (SSM2012-4914-15). För de aspekter som har särskilt stor betydelse för den långsiktiga strålsäkerheten kan särskilt nämnas några frågor som diskuteras nedan.

Verifikationen av mängder av organiskt material som tillförs andra förvarsdelar än Silo utgör en viktig sådan fråga. För Silo har SKB identifierat ett tydligt gränsvärde. Även för andra komponenter som kan ha en inverkan på strålsäkerheten och som saknar riktvärde/gränsvärde krävs förtydliganden och det behöver tas fram mer information om hur verifikation för avfallskollin går till i praktiken. Det behöver framgå hur en situation hanteras där riktvärden/gränsvärden riskerar att överskridas. För krav kopplat till innehåll av komplexbildande ämnen behöver allmänna formuleringar så som ”god retention” och att halterna ”ska hållas låga” förtydligas. Dessutom kan inte 1BLA utan vidare undantas från dessa överväganden med tanke på en eventuell påverkan på andra förvarsdelar via grundvattenflödet på förvarsdjup. I synnerhet behöver SKB utförligare motivera krav med avseende på koncentrationsbegränsning för citrat, karbonat och polyakrylonitril.

Det finns andra utmaningar så som exempelvis deponering av cellulosa med risk för uppkomst av komplexbildande ämnen. Enligt SSM:s bedömning visar dock erfarenheten att nuvarande rutiner inom driften för befintliga SFR för hantering och dokumentation av uppkommet avfall är lämpliga på ett övergripande plan.

Beträffande krav på mekaniska egenskaper för avfallskollin till olika förvarsdelar så som 1-2BTF behöver verifikation av de krav som har bäring på tiden efter förslutning förtydligas. Avfallskollinas inre mekaniska stabilitet med avseende på svällning av bitumenjutfna jonbytarmassor respektive bitumen- och cementingjutfna indunstar-koncentrat bedöms ännu inte vara klarlagd. De nuvarande allmänna kraven bedöms vara för diffusa och behöver kompletteras med kvantitativa krav med avseende på svälltryck, egenskapskrav så som blandningsförhållanden i avfallsmatrisen. Kvantitativa krav behöver motiveras med experimentella data eller särskilda analyser. Frågorna kring svällningsegenskaper har en stor betydelse, i synnerhet för förvarsdelen 1BMA, och det anses inte vara klarlagt att de nuvarande kraven innebär ett försiktigt angreppssätt med tanke på kvarstående osäkerheter kring materialens svällningsegenskaper. Med tanke på att SKB har likställt inverkan från svällningen av indunstar-koncentrat med svällningen av jonbytarmassor behöver även acceptanskriteriet baseras på denna utgångspunkt. Utan ytterligare betydande nytt underlag kommer det vara svårt för SSM att kunna dra slutsatsen att svällningsproblematiken inte kan leda till betydande skador på 1BMA för tiden efter förvarets slutliga förslutning. Ytterligare forskning respektive utformning av administrativa åtgärder för att säkerställa tillräckliga svällvolymerna är exempel på åtgärder för att underbygga mera specifika acceptanskriterier för avfallets svällningsegenskaper. Svällningsvolymerna påverkar i sin tur förutsättningarna för kringgjutning av avfallet.

SKB ska inom ramen för det pågående tillsynsärendet så ta fram ytterligare underlag i frågeställningen till årsskiftet 2018/19 (SSM2012-4914-33).

Vissa ytterligare förtydliganden kopplade till korrosionsbeständighet har även efterfrågats av SSM med tanke på säkerställande av återtagbarhet från 1BLA och 1BMA. SSM analyserar och diskuterar betydelsen av kraven för tiden efter slutlig förslutning utförligare i andra delar av denna granskningsrapport.

Sammanfattningsvis har SSM granskat SKB:s acceptanskriterier och har funnit att de ses som ett betydande steg framåt och att de generellt har haft en lämplig struktur så som kategoriseringen i punktlistan ovan under SKB:s redovisning. Kraven har dock i många avseenden ansetts vara vaga och det har även ansetts förekomma behov av förtydliganden avseende ansvarsfördelning (med avseende på kravuppfyllelse), kravformulering och – motivering, samt möjligheter till verifiering (SSM2012-4914-4). En viktig fråga är huruvida kravet är tillämpligt och verifierbart med avseende på varje enskilt kolli eller om kravet snarare enbart gäller förvaret eller en förvarsdel i sin helhet. Skillnaden har en betydelse eftersom ett krav på kollinivå avser avfallsproducenten, medan krav på förvarsdelsnivå enbart avser SKB.

4.2.3 Avfallets inventarium av radioaktiva ämnen

SKB:s redovisning

SKB har inför ansökan om utbyggnad och fortsatt drift av SFR tagit fram ett uppdaterat referensinventarium som för första gången innehåller preliminär information om rivningsavfallet som främst kommer att deponeras i de tillkommande förvarsdelarna (SKB R-13-37). För driftavfallet baseras referensinventariet på antal deponerade och prognosticerade kollin av olika typer för olika förvarsdelar i SFR. Radionuklidinnehåll baseras på uppmätta/beräknade/uppskattade genomsnittliga aktiviteter för de olika kollityperna. Det totala inventariet har beräknats utifrån kollispecifik (kollibunden) och icke-kollibunden data för driftavfall samt system- eller anläggningsspecifik aktivitet för rivningsavfall. Från detta totala inventarium och med kännedom om antalet kollin har medelaktivitet per kollityp beräknats.

En särskild fråga gäller de 2844 avfallsfat från AB Svafo och Studsvik Nuclear AB (SNAB) som har deponerats i förvarsdelen BLA. Detta avfall, som deponerats enligt typbeskrivning S.14, redogörs för i avsnitt E63 i bilaga E i inventarierapporten. SKB konstaterar dock i avsnitt D.5.9 att det föreligger stora osäkerheter rörande avfallets aktivitets- och materielinnehåll. SKB anger att avfallet kan komma att återtas, men att ytterligare utredningar behöver presenteras innan detta blir aktuellt.

Driftavfall

I avsnitt 1.4 i SKB R-13-37 beskrivs schematiskt hur aktivitetsinventariet bestämts. Aktivitetsinnehållet är presenterat för tidpunkten för den planerade förslutningen av förvaret, dvs år 2075. Uppgifter hämtas från de avfallsdata som tas fram av avfallsproducenterna och som skickas till SKB inför transporten av avfallet till slutförvaret. Vid SFR förs uppgifterna från avfallsproducenten in i databasen Triumf. Från Triumf migreras årligen data om deponerade kollin till rapport- och prognosverktyget Triumf NG. För avfallsdata som inte enkelt kan kopplas till ett särskilt kolli (s.k. icke kollibunden aktivitet) kompletteras Triumf NG med uppgifter om aktivitetsdata från mätningar och beräkningar.

I bilaga A och D i SKB R-13-37 beskrivs närmare hur uppgifter om antalet avfallskolli med dess aktivitetsinnehåll tas fram för driftavfallet.

I bilaga A uppskattas antalet avfallskolli utifrån det antal som deponerats fram till 2012-12-31 tillsammans med prognoser för tillkommande kollin. Dessa prognoser baseras på de kunskaper och erfarenheter som finns om avfallshanteringen på respektive kärnteknisk anläggning. Prognosunderlag för kommande driftavfall anges ha lämnats av respektive avfallsleverantör. För uppskattning av framtida driftavfall till SFR inkluderas sådant avfall som idag klassas som SFR-avfall. Sådant avfall som idag friklassas, deponeras i markförvar eller klassas som SFL-avfall antas inte heller i framtiden omhändertas i SFR. Prognosen för driftavfall sträcker sig till och med förväntat slutår per avfallsleverantör. Avseende SNAB och AB Svafo har SKB gjort antaganden om hur länge verksamheterna kommer att producera driftavfall (SKB dokID 1705458).

I bilaga D beskrivs närmre vilka informationskällor som finns tillgängliga för att genomföra beräkningarna med rapport- och prognosverktyget Triumph NG. SKB utgår från de typbeskrivningar som har eller kommer att tas fram för olika typer av avfall från de olika avfallsproducenterna. Avfallet delas sedan bland annat in i tre kategorier – Jonbytarmassa, Sopor och skrot samt Övrigt. I avsnitt D2.1 och i tabell D2-1 beskrivs sedan vilka typer av mätningar och analyser som ligger bakom uppskattningarna av aktivitetsinnehållet. För de enkelt mätbara gammastrålande nukliderna kobolt-60 (Co-60) och cesium-137 (Cs-137) bestäms aktivitetsinnehållet genom aktivitetmätningar på de producerade avfallskollina. För de mer svårsmätbara, och ofta långlivade, radionukliderna måste istället avfallets innehåll uppskattas på annat sätt, t.ex. genom att bestämma koncentrationerna i reaktorvattnet före filtrering och upptag i jonbytarmassor. Med hjälp av uppgifter om vattnets aktivitetskoncentration och den totala mängd vatten som har filtrerats kan det totala aktivitetsinnehållet i filtret sedan bestämmas. När filtermassorna sedan omhändertas blandas de ofta med andra massor innan de slutligen avfallsbehandlas. Därför är det inte möjligt att bestämma i vilket avfallskolli som de mer svårbestämda radionukliderna faktiskt hamnar. Detta aktivitetsinnehåll (icke kollibunden aktivitet) antas sedan fördelas i slutförvaret enligt en fördelningsmetodik som grundar sig på avfallets ursprung, karaktär, samt varje kollis innehåll av jonbytarmassa eller av nyckelnukliden Co-60 eller Cs-137.

För de svårsmätbara nukliderna har vattenprover tagits för att bestämma transuraner (plutonium-238 (Pu-238), Pu-239/240, Am-241, Am-243, Cm-242, Cm-243 och Cm-244) och strontium-90 (Sr-90) sedan 1988. Även radioaktivt nickel-63 (Ni-63) bestäms sedan några år genom uttag av vattenprover. Utifrån analyser av Ni-63 kan halten av den mer svårsmätta och långlivade Ni-59 beräknas.

De radioaktiva ämnena kol-14 (C-14) och klor-36 (Cl-36) produceras i proportion till den termiska energiproduktionen (SKBdoc 1393449). För Cl-36 är produktionen också proportionell mot kloridhalten i reaktorvattnet och fukthalten i den bildade ångan. För C-14 hänvisar SKB också till de utredningar som har genomförts under senare år (SKBdoc 1393796) för att bestämma förekomsten i olika typer av avfall från kärnkraftverken liksom proportionerna av organisk respektive oorganisk C-14.

För de långlivade radionukliderna molybden-93 (Mo-93), technetium-99 (Tc-99), jod-129 (I-129) och cesium-135 (Cs-135) bestäms halterna i avfallet från kärnkraftverket, Clab och SNAB genom beräkningar som Studsvik ALARA Engineering har utfört för ansökansinventariet. Sedan 2008 inrapporteras årlig produktion för dessa nuklider och för historiskt uppkommen aktivitet har en särskild sammanställning gjorts (SKBdoc 1341356).

Sådana nuklider som inte kan bestämmas direkt genom mätningar eller beräkningar bestäms genom korrelationer där nuklider korreleras utifrån aktiviteten på nyckelnukliderna Co-60, Cs-137 eller Pu-239/240. Allmänt korreleras aktiveringsprodukter till Co-60, fissionsprodukter till Cs-139 och transuraner till summan av Pu-239 och Pu-240. Korrelationen beräknas mot aktivitetsdata för nyckelnukliderna vid kollits tillverkningsdatum.

Rivningsavfall

De informationskällor som SKB huvudsakligen har använt sig av för att bestämma aktivitetsdata är de rivningsstudier som har tagits fram för FKA, OKG, RAB och Clink. I rivningsstudierna presenteras nuklidspecifik aktivitet per system för respektive block. SKB konstaterar att då det i dag inte finns något rivningsavfall så finns det inte heller några acceptanskriterier för de radiologiska egenskaperna. Det kommande rivningsavfallet antas däremot uppfylla de krav på ytdosrat och ytkontaminering som idag gäller för driftavfallet. För beräkning av aktivitetsinnehållet i ett medelkolli, såsom det presenteras i SKB R-13-37, summeras aktivitetsinnehållet i de system som avses att omhändertag för respektive avfallstyp, varpå aktivitetsinnehållet divideras med det förväntade antalet kollin.

Utöver de nuklider som redovisas för driftavfall tillkommer kalcium-41 (Ca-41) och indium-115 (In-115) för rivningsavfallet. Ca-41 finns i stora mängder i betong, som utgör en betydande del av rivningsavfallet, och den mängd In-115 som redovisas i (SKB R-13-37) härrör endast från Ågestareaktorn.

I fråga om omhändertagande av det mycket lågaktiva rivningsavfallet antas detta avfall deponeras i SFR. Det finns samtidigt önskemål från kärnkraftsbolagen att detta avfall ska kunna deponeras i deponier (s.k. markförvar¹⁶) vid FKA, RAB och OKG. Sker detta kommer mängden mycket lågaktivt rivningsavfall från dessa avfallsleverantörer att minska till cirka hälften.

För anläggningarna som drivs av SNAB och AB Svafo fanns vid tidpunkten när ansökan lämnades in inget underlag innehållande aktivitetsdata. I samband med en komplettering till ansökan har SKB dock redogjort för detta avfall (SKB dokID 1599504, SSM2017-725-73).

Osäkerheter och andra faktorer av betydelse

SKB anger att det föreligger ett antal osäkerheter kopplat till referensinventariet. Bland de mest betydande kan nämnas osäkerheter kring det svenska kärnkraftsprogrammet och eventuella framtida förändringar i driftförhållandena i kärnkraftverken. Andra osäkerheter som främst avser materialmängder för olika avfallskategorier är hur effektiv dekontaminering kommer att bli respektive hur utförandet av vissa typer av rivningsarbeten och avfallsbehandling kommer att ske. Dessa osäkerheter påverkar inte det totala radionuklidinventariet men kan komma att påverka fördelningen av aktivitet mellan de olika förvarsdelarna. Osäkerheterna för rivningsavfallet är generellt större än för driftsavfall som redan deponerats i SFR och sannolikt även för det driftsavfall som kommer uppstå i den resterande delen av det svenska kärnkraftsprogrammet. SKB lyfter även upp osäkerheter kopplade till hur avfall enligt typbeskrivning S.14 ska hanteras.

¹⁶ Dessa markförvar tillståndsprövas av SSM respektive MMD enligt kärntekniklagens och miljöbalkens bestämmelser. Till respektive tillstånd kan de villkor som behövs från miljösynpunkt respektive strålskyddssynpunkt anges.

Remissinstansers synpunkter

Kungliga vetenskapsakademien

Remissinstansen anför följande kopplat till frågan om avfallets inventarium av radioaktiva ämnen (SSM2015-1640-29):

”Det anges att accepterade mängder av långlivade radionuklider i det låg- och medelaktiva avfallet ”bör bestämmas av SSM”. Det är därmed av fundamental vikt vilka mängder som myndigheten tillstyrker, och att den förväntade genereringen av avfall under driftsperioden inte överskrider tillåten mängd. Här ligger en osäkerhet i ansökan – en dialog måste ske mellan SKB och myndigheten i frågan.”

” Definieringen av kortlivat låg- och medelaktivt avfall som avfall innehållande radionuklider med halveringstider under 31 år är givetvis genomtänkt och motiverad. Därigenom inkluderas Sr-90 och Cs-137. Aktiviteten i förvaret från dessa kanske dominerande nuklider kommer att reduceras med en faktor $>10^6$ under de första 600 åren efter förslutningen. Dock skulle det vara värdefullt att även i toppdokumentet, och inte bara i bilagor, ge en förteckning över vilka nuklider med längre halveringstider som kan finnas bland det låg- och medelaktiva avfallet (förväntade maximala aktiviteter och ursprung).”

” En dominerande dosnuklid är Mo-93 i flertalet av modellberäkningarna, trots detta är dess inventarieuppskattning relativt osäker. Beräkningsmetoden har en låg osäkerhet (0,2) medan dess korrelationsfaktor mot Co-60 är behäftad med avsevärt större osäkerhet (20). På grund av nuklidens dosdominans är det viktigt att försöka minska osäkerheten i dess inventarieuppskattning, såväl som fördelning i SFR.

En annan viktig nuklid från dossynpunkt är Ni-59, vilken kan beräknas genom korrelation mot Co-60 eller mot Ni-63, vilken uppges utgöra ca 80 % av hela inventariet i SFR och har en relativt hög radiotoxicitet. Även detta inventarium kan beräknas genom korrelation mot Co-60 eller genom direkta mätningar på aktuellt processvatten (sker sedan ett antal år tillbaka). Beskrivningen av hur nickel-inventarierna har beräknats är otydlig och svår att följa.

Den generella korrelationsfaktorn mot Co-60 har en relativt stor osäkerhet, och då tillförlitligheten i dagens Ni-63 -mätningar utvärderats bör man istället överväga om den nya så kallade ”specifika korrelationen” istället kan användas på historiska data för att minska osäkerheten. De direkta mätningar av Ni-63 som påbörjats på verken är därför viktiga för att ge en mer korrekt inventarieuppskattning av såväl Ni-63 som Ni-59.

Metoden för uppskattning av C-14 inventariet anges ha en exceptionellt låg osäkerhet (0,2). Antalet mätningar är stort, och det bör vara rimligt att spridningen i dessa resultat kan ligga kring 20 %. Det är märkligt att inga ytterligare osäkerheter tillkommer vid uppskattningen av det totala inventariet i SFR där både historiskt och prognostiserat avfall ingår.

Att applicera korrelationsfaktorer på avfall från andra sektorer än kärnkraftområdet (SVAFO-/SNAB-avfall med mycket varierande innehåll och dessutom inblandning av avfall från sjukvård- och högskolor) bör vara förknippat med relativt stora osäkerheter (anges även i Bilaga D). För att kunna bedöma vilken betydelse detta skulle kunna ha för den totala inventarieuppskattningen hade en tabell med aktivitetsfördelning per avfallsleverantör varit av värde. Som exempel kan nämnas C-14, som rimligtvis bör utgöra ett signifikant inslag i sjukvårdsavfall, både idag och historiskt, men där ansatsen att korrelera

mot Co-60 helt saknar rimlig grund. Att utgå från data om inköpta mängder C-14-substanser hade sannolikt givit en mer rättvis bild än korrelation mot Co-60. SNAB-avfallet bör även kunna innehålla uttjänta/oanvända slutna strålkällor från exempelvis sjukhus. Aktivitetsinnehållet bör här vara tämligen väldefinierat.

Bestämning av osäkerheten i respektive korrelationsfaktor har skett utgående från spridningen i tillgänglig data. Detta säger ju dock inget om osäkerheten i att applicera korrelationsfaktorn på en anläggning vars avfall inte ingick i ”tillgänglig data”.

Remissinstansen anför vidare (SSM2015-1640-29): I flera sammanhang beskrivs SFR som ett förvar för kortlivade radionuklider, med ”kortlivade” avses enligt SKB sådana med en halveringstid < 31 år. I tabellen över ”best estimate” (SKB, 2015, tabell 4-6) av radionuklidinventariet vid tidpunkten för förslutning år 2075, framgår att andelen långlivade radionuklider är betydande, totalt närmare 90 % av den totala aktiviteten. Den långlivade aktiviteten domineras dock helt av Ni-63, som, med en halveringstid på 100 år, i detta sammanhang skulle kunnat räknas som kortlivad. Ni-63 är dessutom en radionuklid med mycket låg radiotoxicitet, dvs. den ger relativt låga stråldoser, om den skulle förtäras. Om man skulle välja att klassa denna radionuklid som kortlivad, blir andelen långlivade radionuklider istället cirka 5 %, varav stor del utgörs av Am-241, bl.a. från kasserade brandvarnare.

I bilaga AV-PSU skrivs i kap 6.6 att SFR inte hanterar kärnämne. I inventarieförteckningen, som definierar initialtillståndet år 2075, finns dock uran och plutoniumisotoper (vilket vanligtvis avses med ”kärnämne”) upptagna med aktiviteter på mer än 10^{11} Bq. I bilagan för begrepp och definitioner saknas ”kärnämne” som uppslagsord, vilket mot bakgrund av föregående stycke är anmärkningsvärt.”

Kärnavfallsrådet

Remissinstansen anför samma synpunkt (SSM2015-1640-22) som Kungliga vetenskapsakademien ovan.

SSM:s beaktande av remissynpunkt

Frågan om regleringen av aktivitetsinnehållet har varit under diskussion. Hittillsvarande reglering av befintligt SFR tar fasta på att regeringen genom sitt tillstånd meddelat ramarna för omfattningen av verksamheten, i vilket ingår tillåtlig mängd nuklidspecifik långlivad aktivitet. SSM har genom strålskyddsvillkor detaljreglerat förvarets aktivitetsinnehåll, under beaktande av de ramar som följer av regeringstillståndet. Enligt SSM har denna ordning varit ändamålsenlig. SSM delar därför inte utgångspunkterna för SKB:s förslag, att regleringen av vilket långlivat inventarium av kärnavfall enbart faller på SSM att reglera. Detta har också framförts vid flertalet möten mellan SKB och SSM.

I fråga om vilka nuklider som faller inom ramen för begreppet ”långlivade” saknar Sverige en strikt definition. Den definition som SKB tillämpar, vilken inkluderar Cs-137 inom ramen för kortlivade ämnen, skiljer sig den internationellt sett gängse tolkningen. Detta saknar dock praktisk betydelse eftersom detta inte i sig inte reglerar vilket avfall som deponeras i SFR. Detta styrs i stället av framtagna acceptanskriterier, tillämpning av principerna för optimering av skyddet och de begränsningar som följer av tillståndets begränsningar.

SSM delar synpunkten att det krävs ytterligare utveckling för att erhålla en bättre förståelse av produktionen av Mo-93 och har adresserat frågan inom ramen för granskningen.

För flera av de övriga nukliderna som diskuteras har SSM inom ramen för tillsynen utvärderat de metoder som tillämpas. SSM har ställt krav på att dessa metoder utvecklas, bl.a. genom att direkta mätningar görs av analyser av Ni-63 i reaktorvattnet på kärnkraftverken. Genom dessa analyser kan sedan förekomsten av den långlivade, och mer svåranalyserade Ni-59, bestämmas. För driftavfallet uppskattas således den totalt producerade mängden genom direkta mätningar av Ni-63. Aktivitetsinnehållet i enskilda avfallskollin baseras sedan på den relativa förekomsten av Co-60. Även om SSM inom ramen för tillsynen har bedömt att den metod som tillämpas för bestämning av flera av de svåråmätbara nukliderna som tillräcklig (SSI dnr 2006/6-257, beslut daterat 2008-03-19) har SSM fortsatt genomfört tillsyn inom området.

I fråga om C-14 har kunskapsläget om kärnkraftsavfallets innehåll historiskt sett varit litet, delvis beroende på att nukliden är svår att analysera, men också beroende på att förekomsten av C-14 i avfallet kan påverkas av hur avfallet lagras och behandlas. SSM har ställt krav på ett omfattande program för att utveckla förståelsen och uppskattningarna av inventariet (SSI dnr 2006/6-257, SSI beslut daterat 2008-03-19). Frågan har adresserats inom ramen för tillsynen.

SSM delar synpunkten att det finns osäkerheter gällande förekomsten av C-14 i avfall som härstammar från t.ex. sjukvården och viss forskningsverksamhet. Tidigare har myndigheten bedömt att osäkerheterna har varit otillfredsställande och stoppat deponering av sådant avfall som kan innehålla betydande mängder C-14 (SSI dnr 2006/6-257, SSI beslut daterat 2008-03-19). Frågan har adresserats inom ramen för tillsynen.

Sammanfattningsvis vill SSM understryka att det i första hand är inom ramen för tillsynen som SSM följer och värderar de metoder som avfallsproducenterna och SKB tillämpar. Tillståndsprövningen syftar i första hand till att bedöma om anläggningens lokalisering och konstruktion är ändamålsenlig för att omhänderta det nuklidspecifika aktivitetsinnehållet i det radioaktiva avfall som omfattas av ansökans yrkande.

Avseende synpunkten om definitionen av långlivat radioaktivt avfall kan SSM konstatera att i fråga om vilka nuklider som faller inom ramen för begreppet ”långlivade” saknar Sverige en strikt definition. Den definition som SKB tillämpar, vilken inkluderar Cs-137 inom ramen för kortlivade ämnen, skiljer sig den internationellt sett gängse tolkningen. Detta saknar dock praktisk betydelse eftersom detta inte i sig inte reglerar vilket avfall som deponeras i SFR. Detta styrs i stället av framtagna acceptanskriterier, tillämpning av principerna för optimering av skyddet och de begränsningar som följer av tillståndets begränsningar.

Rörande synpunkten om kärnämne konstaterar SSM att kärnämne i form av uran och plutonium förekommer i stor mängd i det kärnbränsle som används vid kärnkraftverken. Vid drift av kärnkraftverken uppstår det ibland bränsleskador vilket kan leda till att större eller mindre mängder fissionsprodukter och även uran/plutonium frigörs till reaktorvattnet. Hur mycket uran/plutonium som frigörs beror på skadans art. Vid mindre skador, s.k. primärskador, är läckaget av uran/plutonium vanligen begränsat, medan läckaget till reaktorvattnet kan vara större om skadorna utvecklas till s.k. sekundärskador. Sekundärskador innebär att kapslingen runt bränslet skadas i större omfattning vilket underlättar läckaget och bränsleförlusterna till reaktorvattnet. Väl i reaktorvattnet kommer betydande delar av de radioaktiva ämnena att fastna i de jonbytarmassor som används för att rena reaktorvattnet. Dessa reningsmassor deponeras i SFR. Det är därför inte korrekt att ange att det inte finns kärnämne i SFR. Det är dock viktigt att hålla i åtanke att koncentrationerna av uran/plutonium är låg för denna typ av avfall. Utifrån ett kärnämneskontrollperspektiv är sådana koncentrationer av mindre intresse. Kärnämne kan

också tänkas förekomma i avfall från verksamheter där man hanterar obestrålat kärnämne, såsom vid bränslefabriken i Västerås. I delar av det avfall som uppstår vid denna verksamhet kan halterna vara högre och av intresse från kärnämneskontrollsynpunkt.

SSM:s bedömning

Utgångspunkter för SSM:s bedömning

Aktivitetsinventariet utgör ett ingångsvärde för konsekvensanalysen av strålsäkerheten i samband med slutförvarets drift och den långsiktiga strålsäkerheten som i sin tur utgör ett viktigt underlag för ansökan. SSM anser att ansökans syfte är att visa att det planerade slutförvaret ska lokaliseras och utformas och kan förväntas uppföras och drivas på ett sätt att dess skyddsförmåga är godtagbar i förhållande till det avfall som avses slutförvaras i anläggningen. Myndigheten har sedan möjlighet att inom tillsynen av anläggningen kontrollera att den drivs inom de ramar som följer av tillståndsprövningen. Denna utgångspunkt gäller både för bedömning av tillstånd för den del av förvaret som utgör en utbyggnad som en omprövning av tillståndsvillkoren för den befintliga anläggningen.

Övergripande om redovisningens kvalitet och spårbarhet

SSM kan konstatera att SKB har genomfört ett omfattande arbete i syfte att härleda ett inventarium som ett underlag för tillståndsansökan. Härledningen innehåller ett stort antal principiella frågor och oklarheter att hantera, vilket är särskilt svårt för rivningsavfallet eftersom endast begränsade mängder sådant avfall har producerats i dagsläget. Uppskattningen måste av den anledningen av nödvändighet innehålla en del antaganden om hur omhändertagandet kommer att genomföras vid den framtida avvecklingen. SSM bedömer att SKB på ett tydligt sätt har dokumenterat vilka antaganden som arbetet har utgått ifrån.

För varje avfallstyp har SKB presenterat ett medelkoll, vilket ska representera ett typiskt kollis innehåll av såväl radioaktiva ämnen som olika material av betydelse för slutförvarets funktion. Att medelkollits aktivitetsinnehåll är presenterat för år 2075 har dock försvårat myndighetens granskning, i synnerhet för driftavfallet. Anledningen till denna svårighet är att SKB har medelvärdesbildat över kollin med olika produktionsdatum och avklingningstid. Detta har inneburit att det i princip har omöjliggjort för SSM att göra en avstämning mot det aktivitetsinnehåll av kortlivad aktivitet som i dagsläget föreligger i olika avfallstyper med driftavfall. Eftersom syftet med att bedöma aktivitetsinnehållet inom ramen för en tillståndsprövning inte är ett skarpt ställningstagande av inventariet i förhållande till specificerade gränser bedömer SSM att redovisningen är godtagbar. Inför kommande redovisningar är det nödvändigt att SKB återgår till att redovisa de avfallstyper som innehåller driftavfall som nuklidspecifik medelkoncentration vid produktionstillfället (liknande formerna för redovisning i SKB R-01-03 och SKB R-07-17).

Metodik för att härleda inventariet

Den metodik som tillämpats för avfall som härstammar från kärnkraftverken är till stor del ändamålsenlig. Nedan redogör SSM för synpunkter på vissa delar av metodiken.

I fråga om den totala mängden avfall kan SSM konstatera att prognosen bygger på ett antal antaganden. Prognoserna är av naturliga skäl osäkra då de baseras på antaganden om, bl.a. återstående drifttider för kärnkraftverken, vilka typer av behållare som avfallet förpackas i, användandet av markförvar för det mycket lågaktiva avfallet liksom hur möjligheterna till friklassning kommer att utnyttjas. En frågeställning som inte förefaller ha beaktats är hur kraven på en ökad hushållning enligt 1 kap 1 § samt 2 kap. 5 § miljöbalken kan leda till att delar av det brännbara driftavfallet i stället för att markförvaras kan komma att behöva förbrännas och deponeras i SFR. SSM anser att SKB i den

fortsatta planeringen av arbetet behöver säkerställa att slutförvarssystemet har tillräcklig kapacitet för att om nödvändigt omhänderta denna typ av drift- och rivningsavfall.

Vad gäller uppskattningen av aktivitetsinnehållet är det enligt SSM:s bedömning positivt att SKB i större omfattning än tidigare baserar uppskattningen på en analys och värdering av olika typer av undersökningar. Detta gäller särskilt hur avfallets förekomst av olika långlivade radionuklider som C-14, Ni-59, Ni-63, Mo-93, Tc-99, I-129. För dessa radionuklider har det skett en betydande utveckling, delvis föranlett av den tillsyn som har skett inom området sedan myndighetens granskning av de säkerhetsanalyser och andra redovisningar som inkommit under de senaste tio åren.

Grundläggande uppgifter för framtagande av ett inventarium av radionuklider är de gammaskpektrometriska mätningar som görs av producerade avfallskollin eller en delmängd av avfallet i ett kolli. Genom mätningarna kan avfallskollinas innehåll av de s.k. nyckelnukliderna Co-60 och Cs-137 bestämmas. SSM, och dess föregångare SSI, har i flera olika sammanhang utvärderat dessa mätningar och den övergripande slutsatsen är att dessa analyser generellt är av god kvalitet (se SSI beslut 2008-03-19, SSI dnr 2006/6-257 samt SSI rapport 2003:21). Kunskap om avfallet innehåll av dessa båda nuklider är betydelsefullt för att uppskatta förekomsten av de mer svårsmätbara nukliderna och deras fördelning mellan olika avfallskollin och förvarsdelar. Av uppenbara skäl är de långlivade nukliderna i fokus vid bedömningen av den långsiktiga strålsäkerheten.

Vad det gäller de mer svårsmätbara nukliderna kan SSM konstatera att SKB:s metodik i delar har utvecklats och utgår i större utsträckning på uppskattning från framtagna data och erfarenheter från olika typer av analyser och undersökningar av förekomsten sådana betydelsefulla radionuklider för olika avfallslag. SSM bedömer att detta i grunden är ett bättre sätt än att, som tidigare, basera nuklidinventariet på att tillämpa korrelationsfaktorer. SSM delar Kungliga Vetenskapsakademiens synpunkt att det föreligger vissa oklarheter i hur delar av dessa inventarier har bestämts. Som framgår ovan gör dock SSM bedömningen att detta i första hand är en fråga för uppföljning inom ramen för tillsynen. SSM har inom ramen för tillsynen följt och följer SKB:s och kärnkraftverkens arbete med att utveckla metoderna för att bestämma driftavfallets innehåll av svårsmätbara radionuklider. SSM genomförde mellan 2014 och 2016 en serie tillsynsinsatser vid de olika kärntekniska anläggningarna och SKB som syftade till att inhämta information om hur provtagning, provhantering och bestämning av svårsmätbara nuklider sker på avfall till SFR. Tillsynen skedde dels hos avfallsproducenterna; Ringhals (SSM2015-1541-3), Forsmark (SSM2014-4401-4), OKG (SSM2016-2947-8), och Clab (SSM2016-2948-4), dels hos SKB som samordnar informationen (SSM2014-4403-7). Några mer specifika frågeställningar kommenteras nedan.

I större utsträckning än SKB:s uppskattningar av aktivitetsinnehållet i driftavfall, måste uppskattningarna för rivningsavfallet utgå från stiliserade beräkningar och gjorda antaganden. Till detta hör ofrånkomliga oklara förutsättningar som är kopplade till rivningsavfallet, vilket inkluderar uppenbara oklarheter kring reaktorernas återstående drifttid, åtgärder som vidtas i samband med driften och i samband med avställningen, t.ex. systemdekontamination. Givet dessa oklarheter bedömer SSM att den metodik som tillämpas, dvs. att utgå från rivningsstudiernas uppskattade aktivitetsinnehåll för varje komponent och fördela denna aktivitet i ett antal avfallskollin, som i sin tur fördelas mellan olika förvarsdelar, förefaller ändamålsenlig. I det fortsatta arbetet behöver gjorda antaganden verifieras genom faktiska mätningar. Detta gäller inte minst förekomsten av inducerad aktivitet i de delar av avfallet som kommer från hårdnära områden.

Specifika frågeställningar kopplade till metodiken

SSM bedömer att det resonemang som SKB för, avseende osäkerheter i det uppskattade inventariet, till stora delar är ändamålsenligt. Detta gäller exempelvis diskussionen om osäkerheter i uppskattningen av avfallets innehåll av gammastrålande nuklider. De uppskattningar av osäkerheter i de metoder som används är väl i överensstämmelse med de kontrollmätningar som myndigheten genomfört (Karlberg och Sandin, 1992; Lund m.fl., 1993; Westerlind m.fl., 1995; Wiebert, 1997 och Wiebert och Nordén, 1998). Att utgå från en bra uppskattning av de båda gammastrålande radionukliderna Co-60 och Cs-137 är, som nämns ovan, av stor vikt då förekomsten av dessa ämnen, tillsammans med andra uppgifter, används vid bestämning av andra, mer svårsmätbara nuklider. Inom ramen för tillsynen har myndigheten även kunnat konstatera att uppskattningar av total mängd deponerad Pu-239/240 från kärnkraftverken har en godtagbar noggrannhet (Dverstorp, B. et al, SSI:s och SKI:s granskning av SKB:s uppdaterade Slutlig Säkerhetsrapport för SFR1, SSI 2003:21).

SSM har granskat de metoder som successivt utvecklats för att bestämma driftavfallets aktivitetsinventarium av svårsmätbara nuklider. En övergripande slutsats från den genomförda tillsynen var att de metoder som tillämpas har utvecklats på ett positivt sätt. De metoder som används bygger i hög utsträckning på reaktorfysikalisk grund i fråga om både produktionen av de radioaktiva ämnena och deras spridning i systemen. Exempelvis bedömde dåvarande SSI att de mät- och beräkningsmetoder som tillämpas för att uppskatta inventariet av långlivade ämnen, däribland C-14, Ni-59, Ni-63, Tc-99, I-129 och Cs-135 (2008-03-19, SSI dnr 2006/6-257) i stort förväntades ge en bättre förståelse av förekomsten av dessa nuklider i avfallet, i synnerhet jämfört med de metoder som tidigare hade tillämpats. Inom ramen för den fortsatta tillsynen har SSM iakttagit vissa specifika frågeställningar där vidare utveckling kan behövas, detta gäller exempelvis hur provtagningen säkerställer representativitet (se exempelvis SSM2015-1541-3), hur den information som finns tillgänglig hos avfallsproducenterna tillgodogörs fullt ut av SKB i sin sammanställning och analys för att minska på osäkerheterna (se exempelvis SSM2014-4403) samt hur de radioaktiva ämnena antas fördelas mellan olika förvarsdelar i SFR.

Vid tillsynen, och i tidigare granskningar, har SSM kunnat konstatera otydligheter kring hur aktivitetsinnehållet fördelas mellan avfallskollina i de olika förvarsdelarna. Den metod som tillämpas utgår från att aktiviteten fördelas mot avfallets sammantagna innehåll av kobolt-60 (SSM2014-4403-7). SSM bedömer att den metod som tillämpas kan innebära att tidigare deponerad aktivitet förs från en förvarsdel till en annan exempelvis till följd av ändrad deponeringsstrategi, eller till följd av skillnader mellan olika produktionsår till följd av dekontamineringskampanjer eller perioder med bränsleskador. SSM anser att den metodik som tillämpas fortsatt behöver utvecklas så att inte senare ändringar av deponeringsstrategin leder till en ”omfördelning” av redan deponerat avfall. Frågeställningen har också diskuterats inom ramen för Fud-programmet. I granskningen av Fud-program 2016 efterlyste SSM en tydligare och mer detaljerad beskrivning i kommande redovisning av hur den pågående översynen av den metodik som för att fördela aktivitetsinnehållet mellan olika förvarsdelar (Granskning och utvärdering av SKB:s redovisning av Fud-program 2016, SSM rapport 2017:17).

I fråga om C-14 delar SSM den synpunkt som framförs av Kungliga Vetenskapsrådet och bedömer att det finns kvarvarande osäkerheter i hur det inventarium som härletts för denna nuklid, i synnerhet i det avfall som omhändertas vid anläggningarna i Studsvik. SSM har tidigare framfört att det bör föreligga dokumentation om avfallet när det skickas till Studsvik, och att denna information i första hand bör användas för att uppskatta inventariet, snarare än att basera uppskattningen på en korrelation mot Co-60

(Gransknings av frågor rörande driften av slutförvaret för radioaktivt driftavfall (SFR 1), 2008-03-19, SSI dnr 200/6-257).

Förekomst av molybden-93 i avfallet

Den långlivade radionukliden Mo-93 (halveringstid på 4000 år) ger enligt den uppdaterade konsekvensanalysen ett betydande bidrag till de långsiktiga omgivningskonsekvenserna. En orsak till detta är att molybden endast i liten utsträckning sorberar i slutförvarets barriärer och kan därför spridas med grundvattnet och ge upphov till exponering. Mo-93 tillhör till svärmätbara nukliderna, och då aktiveringsprodukter av molybden saknar driftteknisk betydelse vid kärnkraftverken har halterna och mängderna av dess aktiveringsprodukter historiskt inte analyserats.

Frågeställningen har utretts av Pukari och Lundgren 2016 [Mo 93 i avfall från svenska BWR och PWR – Mängd och radiologisk bedömning, 2016-03-03, Studsvik ALARA Engineering, N-16-029R Revision 0]. I rapporten konstateras att molybden förekommer som legering i spridarmaterialet Inconel 718 (typisk halt 2,8 – 3,3 %) samt i rostfritt stål typ SS 316 som bl.a. används i styrstavar. I kokarvattenreaktorer (BWR) bedöms spridarmaterialet Inconel 718 som den största källan för molybdenaktivering och korrosion och således av betydelse för inventariet i SFR. Förekomsten av molybdenlegeringar bedöms mindre förekommande i tryckvattenreaktorerna (PWR). I rapporten presenteras uppskattningar av Mo-93 till SFR från svenska kärntekniska anläggningar. Noterbart är den ökning i tillförseln som sker från Forsmarksreaktorerna (F1 och F2) från år 2010. Orsaken till detta är användning av kärnbränsle med spridare av Inconel 718. SSM kan konstatera att dessa två reaktorer bara under perioden 2010 till 2015 ger ett signifikant bidrag till slutförvarets totala inventarium.

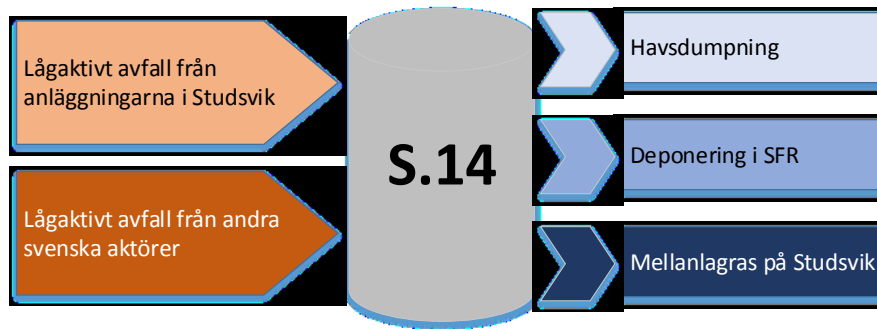
Enligt SSM:s bedömning kvarstår det ännu ytterligare arbete i frågan, men det bör stå klart att det finns anledning för SKB att tillsammans med avfallsproducenterna se över de material som används, för att så långt som rimligen möjligt undvika, eller åtminstone begränsa, produktion av långlivade radioaktiva ämnen. Frågan bedöms som särskilt angelägen med tanke på att de långsiktiga konsekvenserna i hög grad domineras av förekomsten av Mo-93 i avfallet.

Feldeponerat avfall i BLA

Sedan 1960-talet fram till 2001 har det vid anläggningarna i Studsvik producerats lågaktivt avfall i form av 200-liters avfallsfat, i vilka ett 100-litersfat innehållande avfall i form av sopor och skrot är ingjutet i betong (typbeskrivning S.14). Under perioden tog anläggningarna även emot avfall av liknande karaktär från externa leverantörer, bland annat från de verksamheter som bedrevs av AB Atomenergi och Försvarets forskningsanstalt (FOA).

Stora delar av detta avfall som producerades fram till 1969 blev omhändertaget genom havsdumpning (ref Hantering av radioaktivt avfall i Sverige före år 1980 samt radium och radiumavfall fram till år 1996, SKI Rapport 96:78, SSI-rapport 96-18). Resterande avfall finns kvar på Studsvik (ca 7500 fat) alternativt är deponerat i SFR (2844 fat).

Det har varit känt att delar av det avfall som har producerats (fram till slutet av 1970-talet) innehållit vissa mängder kärnämnen, såsom uran och plutonium. Enligt en sammanställning som har gjorts ingick endast mycket begränsade mängder plutonium i det avfall som havsdumpades, varför resterande mängder fanns kvar i det avfallsfat som lagrats på studsviksområdet (Larsson, Karlsson, 1996).



Figur 4.1. Schematisk bild över avfallsflödet för avfall av typ S.14

1995 medgavs tillstånd att deponera avfall producerat efter 1980 i SFR. Att brytpunkten angavs till 1980 berodde bl.a. på att kontrollerna i samband med produktionen av avfallsfaten enligt uppgifterna i ansökansunderlaget hade förbättrats, men också på att karaktären på verksamheterna hade förändrats vid Studsvik. Till exempel hade plutonium-verksamheten avvecklats under 1970-talet. Av ansökansunderlaget (typbeskrivningen för avfallet och underlag till denna), framgår vilka egenskaper som avfallet ska ha och hur detta har kontrollerats. Bland annat anges att avfallet kontrolleras för att säkerställa att det inte innehåller fri vätska och att avfallet inte ska innehålla annat än försumbara mängder fissilt material (uran och plutonium).

Efter tillstånd har totalt 2844 avfallsfat, placerade i 70 halvhöjdscontainrar, deponerats i förvardsdelen 1BLA i SFR. Avfallscontainrarna har placerats i 1BLA varefter de ankommit till SFR, vilket gör att just dessa containrar står tämligen långt in i 1BLA. Detta innebär att containrarna med detta avfall inte är åtkomligt utan att totalt sett hantera fler än 300 containrar.

Till följd av den periodvis mycket höga luftfuktigheten i SFR, samt att avfallet har utsatts för utläckande salt grundvatten från tunneltaket, har avfallet och containrarna mer eller mindre omfattande korrosionsskador.

I slutet av 1990-talet ansökte SKB om att slutförvara även delar av det avfall som var producerat före 1980. Totalt rörde det sig om ca 4500 av de kvarvarande avfallsfaten. Mot bakgrund av oklarheter gällande avfallets nuklidinnehåll medgavs detta inte av dåvarande SSI och SKI, och ansökan drogs senare tillbaka.

Genom regeringens tillstånd (ref Regeringsbeslut nr 18, 1993-10-07, M92/4360/6) överfördes ansvaret för de avfallsfat som producerats före 1991 från Studsvik AB till det nybildade bolaget AB Svafö (Svafö). Ansvaret för de flesta avfallsfat producerats efter 1991 innehas av Studsvik Nuclear AB.

Svafö genomförde mellan 2009 – 2011 ett större arbete med att karaktärisera avfall som var kvar på området, och som alltså inte hade slutförvarats i enlighet med medgivandet 1995. Det undersökta avfallet bestod till stor del (ca 87 %) av avfallsfat producerade före 1980, men även av sådana avfallsfat producerade efter denna tidpunkt och som inte har kunnat skickas till SFR för slutförvaring.

Undersökningarna visade på oklarheter och flera felaktigheter kring innehålls-dokumentationen och de kontroller som ska ha genomförts. Till exempel kunde det konstateras att det fanns avfallsfat producerade efter 1980 som innehöll vätska, trots att kontroller i detta avseende skulle ha genomförts vid produktionen. Vidare konstaterades

att fler fat än vad som var förväntat innehöll kärnämnen. I mer än 1100 fat har kärnämne detekterats att jämföra med att endast 342 fat var upptagna i safeguardregistret. Ett stort antal avfallsfat innehöll också blybehållare som använts vid transport av strålkällor. Huruvida det finns någon strålkälla kvar i behållaren gick dock inte att konstatera i genomförd undersökning.

Mot bakgrund av dessa oklarheter meddelade SKB den 4 mars 2013 att avfallet ska återtas när hanteringsmetod finns och hanteringsrisker kan minimeras (SSM2012-7-26). SKB har vid ett möte den 9 oktober 2013 meddelat att en förutsättning för återtagande är att en hanteringsanläggning etableras (Möte mellan SSM, SKB AB, AB Svafö och SNAB angående misstänkt feldeponerat avfall av typ S.14 i SFR den 9 oktober 2013. 2013-11-04. SSM2013-2073-12). Vid mötet framkom det även att SKB vill avvakta med det slutliga ställningstagandet rörande återtagande i avvaktan på resultaten av de ytterligare undersökningar som Svafö avser att göra av ej deponerat avfall i den planerade hanteringsanläggningen.

Svafö utreder frågan om att uppföra en särskild hanteringsanläggning i syfte att omkonditionera det avfall som omfattades av undersökningarna. Vid en sådan anläggning kan också avfallet karaktäriseras bättre med avseende på dess innehåll av radioaktiva ämnen och övrigt innehåll. Av redovisat underlag framgår att man preliminärt avser att prioritera omhändertagande och karaktärisering av de ännu inte deponerade faten, framför de deponerade (Redovisning av dokumentation som presenterats och refererats vid möte 2013-10-09 mellan SSM, SKB, SNAB och Svafö, diarienummer 2013-2073. 2013-10-09. SSM2013-2073-13). Något beslut har ännu inte fattats av Svafö:s styrelse om att gå vidare med planerna på den nya anläggningen. När och om en sådan anläggning kan tas i drift är således ännu oklart.

Föranlett av dessa ställningstaganden och resultaten från de genomförda undersökningarna har SSM bl.a. efterfrågat en uppdaterad uppskattning av det deponerade avfallets innehåll av radionuklider och andra miljöstörande ämnen, en redovisning av de långsiktiga strålsäkerhetskONSEKVENSerna följt av det uppdaterade inventariet samt en redovisning av kostnader och risker och vilka kompensatoriska åtgärder som avses vidtas för att förhindra ytterligare degradering av avfallskollin och containrar.

Av de redovisningar som tillställts SSM framgår det att man vid en förnyad genomgång av dokumentationen har observerat att avfallet innehåller alfastrålarna radium-226 (Ra-226), Pu-239 och Pu-240 med ett högt aktivitetsinnehåll. Aktivitetsinnehållet är flera storleksordningar större än den tillåtna mängden av långlivade alfastrålare i förvardsdelen enligt med utfärdade strålskyddsvillkor (SSI dnr 6222/3744/03) liksom det inventarium som ligger till grund för tillståndsansökan (tabell 4-6 i SR-PSU). Den redovisade och, enligt myndighetens bedömning, till stor del bekräftade förekomsten av Ra-226 och den misstänkta förekomsten av Pu-239/240 har stor inverkan på strålsäkerheten efter förslutning, där i synnerhet de uppskattade stråldoserna till följd av oavsiktligt intrång ger höga stråldoser med risk för allvarliga konsekvenser för människors hälsa. I granskningen (SSM2013-2073-39) med tillhörande tillsynsbeslut (SSM2013-2073-40) konstaterar SSM att även om de beräknade stråldoserna innehåller ett visst mått av konservatism, så kan inte förutsättningarna för exponeringen anses bygga på extrema antaganden. SSM konstaterar även att det deponerade avfallet har stor inverkan på de beräknade doserna till följd av det ostörda förvarets funktion, där exempelvis exponering i samband med intag av vatten från en brunn borrhåll nedströms förvaret ger ca 100 gånger högre stråldoser än vad som redovisas i SR-PSU. Den beräknade risken i övrigt ökar med cirka en faktor 6. Mot denna bakgrund har SSM i ovan nämnda tillsynsbeslut ställt sig bakom SKB:s beslut att återta avfallet. I detta beslut, med tillhörande granskningsrapport, bedömer SSM att det

finns flera faktorer som talar för ett tidigare återtag än vad som SKB planerar för. SSM efterfrågar därför ett motiverat ställningstagande för när det planerade återtaget ska genomföras. Redovisningen ska vara SSM tillhanda senast den 28 februari 2020.

4.2.4 Avfallens materialsammansättning

SKB:s redovisning

Totala materialmängder för olika förvarsdelar baseras på antal kollin samt en genomsnittlig materialsammansättning för normkollin per avfallstyp som inkluderar såväl avfallet som emballerings- och konditioneringsmaterial. För metaller anges förutom materielmängd även den tillgängliga korrosionsarean. För rivningsavfallet baseras referensinventariet på beräknade aktiviteter för de olika systemen. Materialmängder erhålles från inventerade materialmängder stål, betong och sand, liksom från antal kollin utifrån materialinventering på kärnkraftverken. Dessutom görs kompletterande materialuppskattningar för mängden cellulosa, slam, organiskt/oorganiskt material, zink och aluminium.

SSM:s bedömning

SSM bedömer att SKB:s redovisning av materialmängder för avfallsströmmar till SFR är rimlig och ger den information som behövs för den aktuella tillståndsprövningen. De befintliga prognoserna kommer behöva uppdateras och förfinas i framtiden men detta behov är, som även SKB påpekar, i hög grad kopplade till i detta steg icke-reducerbara osäkerheter kopplade till externa svårförutsägbara förhållanden som drifttider för de svenska kärnkraftverken och driftförhållanden i de svenska kärnkraftverken långt in i framtiden.

För frågor kring materialmängder konstaterar SSM att informationen är viktig för att få en förståelse för den kemiska och hydrogeologiska utvecklingen i de olika förvarsdelarna. Mängden cement i varje enskild förvarsdel är t.ex. av avgörande betydelse för hur pH förhållanden långsiktigt utvecklas. Mängder och reaktiva ytor för metalldelar påverkar bildningen av vätgas liksom förvarets redox-utveckling. SKB:s uppskattningar av materialmängder är framtagna för de olika förvarsdelarna och den situation som förväntas råda vid år 2075, det vill säga tidpunkten för slutförvarets slutliga förslutning (SKB R-13-37). För ingen av de frågor som diskuteras kan dock de exakta mängderna förväntas vara kritiska eller ha en kvantifierbar betydelse för slutförvarets skyddsförmåga så länge inga avgörande förändringar i tillverkningen av avfallskollin eller i uppförandet av tillkommande förvarsdelar kommer att tillämpas. Frågan om tillförda mängder cellulosa och dess betydelse för risken för uppkomst av komplexbindande ämnen kommenteras i Del III, avsnitt 6.2. Det återstår även utvecklingsbehov kopplat till avfallens innehåll av andra typer av komplexbildare.

4.2.5 Komplexbildande ämnen i avfall till SFR

SKB:s redovisning

En fråga med potentiellt stor betydelse för SFR:s långsiktiga strålsäkerhet är de deponerade avfallsmaterialens innehåll av komplexbildande ämnen. Detta rör sig om i huvudsak lågmolekylära organiska ämnen som genom att de komplexbinder radioaktiva ämnen ökar deras löslighet och koncentration i vattenfasen och minskar deras sorptionsförmåga. I säkerhetsanalysen SR-PSU (SKB, 2015) beaktas denna fråga genom tre huvudsakliga moment, 1) identifikation av vilka kemiska ämnen som i betydande utsträckning kan komplexbinda radioaktiva ämnen, 2) analys av vilka mängder det är

frågan om och därmed vilka koncentrationer inuti slutförvaret det kan bli frågan om, samt slutligen 3) vilken effekt de identifierade kemiska ämnena har på radionuklidernas sorptionsförmåga i aktuella koncentrationsintervall i den förväntade slutförvarsmiljön. Eftersom dessa ämnen har en generellt negativ effekt på slutförvarets långsiktiga strålsäkerhet ingår som viktig åtgärd att så långt som möjligt eliminera och/eller minska dessa ämnens förekomst i material som tillförs SFR. I vilken utsträckning komplexbildande ämnen kan tillåtas i tillkommande avfallsmaterial definieras i acceptanskriterier för avfallskollin.

Stora mängder av högmolekylära organiska ämnen finns i SFR respektive i tillkommande avfall i form av använda jonbytarmassor, bitumen och andra organiska polymerer i använda filter. Jonbytarmassor består av polystyrenkedjor med amin, sulfonat eller karboxyl som funktionella grupper. SKB bedömer dock, baserat på ett antal experimentella studier, att dessa ämnen i stort sett är inerta i slutförvarsmiljön och därmed inte kan bilda några väsentliga mängder av komplexbildande ämnen i slutförvaret (SKB TR-14-03). Viss bildning av oxalat med potentiell komplexbildningsförmåga har konstaterats vid sönderdelning av katjonbytarmassor och under inverkan av ett strålfält. SKB:s argument är dock att inga komplexbildande ämnen kan förväntas i kortare tidskalor eftersom jonbytarmassorna hursomhelst är immobiliserade i cement eller bitumen och därmed har begränsad kontakt med vattenfasen. Bitumen anses vara i stort sett inert i den förväntade slutförvarsmiljön, även om radiolytisk nedbrytning under bildning av karboxylsyror kan förekomma.

SKB har haft vissa misstankar kring att polyakrylonitril i filtermaterial kan degraderas i alkalisk miljö. Experimentella studier av degraderingsförloppet visade att en gradvis ökning av organiska ämnen i vattenlösning förekommer men att upplösta ämnen inte var av den typ som ger upphov till stark komplexbildning (SKB TR-12-12). Detta bekräftades också genom vissa begränsade sorptionsexperiment med nedbrytningsprodukter samt europium som modellsubstans för radioaktiva ämnen.

De komplexbildande ämnen som enligt SKB:s analyser kan ha en betydelse innefattar:

- Organiska ämnen i rengöringsmedel och dekontamineringskemikalier
- Isosackarinsyra som inte ursprungligen finns i avfall men som bildas vid sönderdelning av cellulosa i alkalisk miljö.
- Komplexbildande ämnen i cementtillsatser som används bl.a. i konstruktionsmaterial och tekniska barriärer.

Karbonat har också viss betydelse i samband med komplexbildningen av radionuklider, men finns naturligt i det omgivande grundvattnet och bildas i samband med degradering av cement och betong. Förekomst av karbonat beaktas vanligtvis i samband med sorptionsexperiment genom att använda en rimligt representativ sammansättning på vattenfasen. Halten karbonat får dock enligt SKB inte överstiga 10 mM på kollinivå.

SKB delar upp kemikalier som används vid rengöring och dekontaminering i två grupper starka och svaga komplexbildare. Till starka komplexbildare hör bl.a. EDTA, och NTA, medan oxalat, citrat och glukonat har lägre komplexbildningskapacitet. SKB tillåter numera inte rengöringskemikalier som innehåller EDTA och NTA, men dessa ämnen finns likväl i redan deponerat avfall i SFR. SKB och avfallsproducenterna använder sig av rengörings- och dekontamineringskemikalier med lägre komplexbildningsförmåga. Information om vilka mängder komplexbildare som är aktuella fås från kärnkraftverken där kemikalierna har använts. En gräns för tillåtna mängder komplexbildare har definierats

på basis av att koncentrationen av dessa för varje kulli inte får för vissa komplexbildare inte överstiga 10 mM. SKB har inom ramen för driften av befintliga SFR i sitt arbete med acceptanskriterier för avfall och material som tillförs SFR uppdaterat gränserna på mängder komplexbildande ämnen (SKB dokID 1336074 v. 3.0). Dessa acceptanskriterier definieras på kollinivå och kategoriseras enligt starka oorganiska och organiska komplexbildare (SKB dokID 1336074 v. 3.0, avsnitt 3.3.4). För somliga organiska komplexbildare, såsom citronsyra, har denna gräns sänkts till 1mM.

I och med bildningen av isosackarinsyra (ISA) från cellulosadegradering vid höga pH ställs krav på att så långt som möjligt begränsa deponeringen av cellulosa i SFR. Detta gäller dock inte BLA eftersom sorption inte utnyttjas som säkerhetsfunktion för denna förvarsdela. Det är dessutom inte möjligt att begränsa cellulosa här på samma sätt som i andra förvarsdelar med tanke på avfallets sammansättning. SKB utesluter inte degradering av annat högmolekylärt material förutom cellulosa men menar att en sådan nedbrytning har så liten betydelse i förhållande till nedbrytningen av cellulosa så att den inte behöver beaktas. Detta kan kopplas dels till omfattningen av nedbrytningen och dels till den begränsade komplexbildningsförmågan hos de förväntade nedbrytningsprodukterna kopplade till andra organiska material utöver cellulosa.

SKB bedömer att ISA är den huvudsakliga degraderingsprodukten från mängden tillförd cellulosa. Bildningen orsakas av att kedjor av polysackarid i cellulosa delas upp i fragment. Experiment visar att denna process är mycket långsam och att en fullständig sönderdelning tar tusentals år. Efter cirka 100 år är graden av omvandling bara cirka 10 %. Detta innebär att koncentrationer av ISA i de olika förvarsdelarna långsamt kommer att öka under förvarets långsiktiga utveckling. Det finns två diastereomerer av ISA som bildas i ungefär lika stora mängder (α -ISA, β -ISA), varav α -varianten har störst betydelse för komplexbildning med radionuklider.

Det har diskuterats huruvida de komplexbildande ämnena själva kan degraderas i förvarsmiljön men det saknas experimentellt belegg för att så är fallet och SKB beaktar följaktligen inte detta. I långa tidsskalor av tusentals år kan man också tänka sig att de komplexbildande ämnena själva transporteras ut från förvaret. SKB beaktar dock konservativt inte att koncentrationerna på sikt kan minska som ett resultat av uttransport till omgivande grundvatten.

Vissa komplexbildande ämnen så som ISA och glukonat sorberar själva i viss omfattning på cementmaterial, vilket påverkar den fria koncentrationen i vattenlösning. Sorption av ISA har dock bara en reell betydelse i ett mindre antal avfallstyper eftersom den tillgängliga mängden cellulosa på sikt kommer innebära att cementmaterialens kapacitet för sorption av ISA överskrids. Avgörande är kvoten mellan tillgänglig cellulosa och cement. På lång sikt förväntas även lösligheten för isosackarinsyras kalciumsalt att överskridas. Detta har en något större betydelse än sorptionseffekten så till vida att koncentrationen av ISA i vissa fack av 1BMA och möjligen 2BMA på sikt kommer att motsvara löslighetsgränsen och inte den maximalt beräknade ISA-koncentrationen baserat på avfallstypernas innehåll av cellulosa.

SKB:s bedömning är att organiska ämnen som används i cementtillsatser inte ger upphov till betydelsefulla mängder komplexbildande ämnen. Dessa ämnen som tillförs konstruktionscement i halter av 1-2 % innehåller bl.a. melaminsulfonater, naftalen-sulfonater, lignosulfonater eller polykarboxylater (SKB TR-14-03). Även om reduktion av sorptionsförmåga kan påvisas experimentellt som ett resultat av att cementtillsatser tillförs vattenlösningen, så bedöms cementtillsatserna vara förhållandevis stabila och ge upphov till låga koncentrationer i cementporvatten. Det bör dock påpekas att SKB i viss

utsträckning själva är osäkra på betydelsen av cementtillsatser så till vida att de påpekar att tidsförloppet för utlakning behöver studeras ytterligare. Ett annat problem är att den exakta sammansättningen av kommersiella produkter som används vid cementgjutning inte är fullständigt kända (SKB TR-14-03).

SSM:s bedömning

SSM anser att SKB:s redovisning av komplexbildande ämnen i SFR generellt är utförlig och välmotiverad. Frågans betydelse för SFR-förvaret har varit känd länge och insatser har genomförts för att i första hand minimera och i andra hand karakterisera och dokumentera mängder av komplexbildare och material som kan bilda komplexbildare genom degraderingsprocesser. Betydande forskning har även genomförts såväl nationellt som internationellt för att utröna effekter av komplexbildare för radionuklidens speciering, liksom kring sönderdelningen av cellulosa i cementmiljö. SSM bedömer att den analys som SKB har genomfört för att uppskatta troliga koncentrationer av komplexbildare i slutförvarsmiljön baserat på uppgifter från sammanställningen av avfallets sammansättning är trovärdig (SKB TR-14-03). Koncentrationer av komplexbildande ämnen beräknas med hjälp av de uppskattade mängderna komplexbildare och voidvolymen respektive porvolymen för olika typer av avfallskollin. Vissa spårbarhetsproblem har dock noterats för dessa beräkningar (SSM rapport 2016:12, del 4).

SSM bedömer att prognosen för de materialmängder som ansätts i SR-PSU (SKB dokID 1336074 v 2.0, tabell 3-2) reflekteras i de mängder som ligger till grund för hanteringen av komplexbildare i säkerhetsanalysens modellering. Effekten av komplexbildare på sorptionsförmåga hos olika radionuklider hanteras genom så kallade sorptionsreduktionsfaktorer. Detta beskrivs och bedöms i Del III, avsnitt 6.9 i denna rapport.

SSM konstaterar vidare att det pågår ett arbete med att uppdatera de riktvärden för material som utgår från prognosen för materialmängder som ingår i säkerhetsanalysen SR-PSU (SKB dokID 1687236, avsnitt 3). Myndigheten granskar detta arbete inom ramen för driftstillsynen av befintlig anläggning (SSM2012-4914-13).

SSM saknar också en djupgående analys av huruvida organiska ämnen som används som cementtillsatser kan ha en betydelse i detta sammanhang (SSM rapport 2016:12, del 4). Processrapporten (SKB TR-14-03) innehåller vaga, ej motiverade och delvis motsägelsefulla uppgifter kring dessa tillsatserns betydelse för radionuklidtransport. Försämrade sorption har kunnat konstateras som ett resultat av vissa typer av experiment, men samtidigt finns frågor om dessa ämnen i ett realistiskt fall kan mobiliseras och vara tillgängliga under lång tid i vattenfasen och i tillräcklig koncentration på ett sådant sätt så att det har en reell påverkan på radionuklidtransport. En annan fråga är om dessa organiska ämnen degraderas eller om de måste förutsättas vara beständiga i slutförvarsmiljön. SKB tar även upp det mera praktiska problemet att det exakta innehållet av kemiska ämnen inte alltid är kända för kommersiella produkter.

Trots att betydande genomförd forskning under lång tid kvarstår vissa frågeställningar kring betydelsen av komplexbildande ämnen i SFR, i synnerhet för cementtillsatser, som behöver belysas ytterligare i samband med SSM:s tillsyn och granskning av driften av befintliga SFR samt i kommande säkerhetsanalyser. SSM anser dock att SKB:s mindre sannolika scenario i SR-PSU med höga halter av komplexbildare ger både en illustration av betydelsen av dessa osäkerheter, och ett beaktande av de kvarstående osäkerheterna vid bedömningen av förutsättningar för kravuppfyllelse. Frågor kring reduktionsfaktorer för Kd-värden för att ta hänsyn till komplexbildare diskuteras utförligare i Del III, avsnitt 6.9 i denna granskningsrapport.

4.3 Betongbarriärer och betongkonstruktioner

4.3.1 Val av material

Beskrivning av SKB:s underlag

Den cement som användes vid uppförandet av befintliga SFR är Degerhamn Anläggningscement för vilken den kemiska sammansättningen redovisas i tabell 12-5 i SKB TR-14-02. Anläggningscement har lågt C_3A (trikalciomaluminat)-innehåll och uppfyller europeisk cementstandard (som även gäller som svensk standard) EN 197-1 Cement del 1: Sammansättning och fordringar för ordinär cement, samt de svenska standarderna (SS 13 42 02-04) avseende begränsad värmeutveckling, lågalkaliska respektive sulfatresistenta cement. För 2BMA har valet av cement ej fastställts i detta skede men man avser att använda ett sulfatresistent material, vilket även är praxis. I (SKB dokID 1411639) anges att betongbarriärerna ska uppföras i exponeringsklass XS enligt SS-EN 206:2013 (2013) då slutförvaret anses motsvara marin miljö.

Under hyperalkalina förhållanden, som är vad som förväntas dominera i betongen efter förslutning, ökar risken för alkalisilikareaktioner mellan hydroxidjoner som lakats från cementen och reaktiv kiseldioxid i ballastmaterialet. För befintliga SFR valdes ett ballastmaterial i enlighet med svenska standarder för resistans mot alkalisilikareaktioner. Den kemiska sammansättningen av ballastmaterialet (Baskarpsand) redovisas i tabell 12-7 i SKB TR-14-02.

Kemiska tillsatser eller additiv kan tillsättas betongen för att bland annat göra den lättarbetad. Tillsätts mycket additiv kan detta även påverka betongens kemiska och mekaniska egenskaper. Tillsatsmaterialen i betongen i befintliga SFR heter Sika Plastiment BV-40 och Sika Retarder. Tillsatsmaterialet, som till stor del består av organiskt material, skulle vid eventuell lakning kunna verka som komplexbildare med tillkommande radionuklider, eller konsumeras genom mikrobiell aktivitet. SKB bedömer dock detta som ett försumbart problem och hänvisar till studier av degradering av polymera additiv i cementförhållanden där ingen nämnvärd degradering kunde observeras (Glaus och van Loon, 2004). Sammantaget bedömer SKB även att betongen utgör en näringsfattig miljö motsvarande det tillströmmande grundvattnet.

I befintliga SFR tillämpas armeringsjärn i betongkonstruktionerna. I 2BMA referensutformning avser SKB ej att använda armering i betongkonstruktionen även om man öppnar för att man, i sin vidareutvecklade utformning av förvarsutrymmet (SKB dokID 1568913), vid projekteringen av konstruktionen möjligen skulle kunna uppföra konstruktionen med ytterkantsarmering om behovet bedöms föreligga. Valet att inte använda armering i 2BMA grundar sig i att icke-armerad betong inte utsätts för sprickbildning orsakad av korrosionsprocesser (SKB R-13-40, Sammanfattning).

Blandningsförhållandena mellan cement, vatten, ballast och additiv för cementmaterial i befintliga SFR redovisas i tabell 12-6 i (SKB TR-14-02). Vid reaktion med vatten undergår cementet reaktioner som gör att hydratiserade fasta ämnen bildas, vilka ger materialet dess mekaniska egenskaper. Mängden vatten som tillförs cementet påverkar det härdade cementets egenskaper. Förhållandet mellan mängden vatten och cement brukar benämnas vattencementtal (vct). Låga vct (~0.3) innebär ofullständig hydratisering av cementet medan höga vct medför förhöjd porositet då ett överflöd av vatten återfinns i materialet. Vid normalt konstruktionsarbete brukar vct ligga mellan 0.3 och 0.6. Konstruktionsbetongen i 1BMA har ett vct på 0.47 (SKB TR-14-02, tabell 12-6). Utifrån den kemiska sammansättningen och de blandningsförhållanden man använt sig av vid konstruktionen

har SKB, enligt den hydratiseringsmodell som utvecklades i (Höglund, 1992), beräknat den kemiska sammansättningen på hydratiserat cement i befintliga SFR (SKB, 2015, tabell 6-7). De sammanhållande faserna utgörs i första hand av kalciumsilikathydrater (CSH) och portlandit ($\text{Ca}(\text{OH})_2$).

SSM:s bedömning

SSM anser att SKB:s redovisning av de material som ingår i betongen som tillämpas i befintliga SFR är ändamålsenlig. Valet av cement utgår från svenska eller europeiska standarder avseende bland annat sulfatresistens. Man har även vidtagit åtgärder, genom val av ballast, för att minimera risken för alkalisilikareaktioner. SSM noterar att SKB studerat möjligheten att tillämpa bergkross från Forsmark, som skulle bildas vid planerad utbyggnad av SFR, som betongballast (SKB P-16-13) och delar SKB:s uppfattning om att fördjupade studier av bergkrossens tillämpbarhet som ballast bör utföras. SSM bedömer att SKB:s val att uppföra betongkonstruktionerna enligt SS-EN 206:2013 som lämpligt.

En litteraturstudie utförd av Posiva (Hakanen och Ervanne, 2006) visar på att det mängdförhållande mellan cement och organiska tillsatser man kan förvänta sig inte bör påverka sorptionsegenskaperna hos radionuklider som Eu, Ni och Th. Myndighetens bedömningar av SKB:s redovisning av sorption av radionuklider diskuteras annorstädes i rapporten (avsnitt 6.9). Påverkan av additiv på degraderingsförloppet hos härdad betong är inte ett känt fenomen.

Studier av cements fysikaliska och mekaniska egenskaper som funktion av degradering och vct, bland annat motsvarande det som återfinns i cementen i befintliga SFR har utförts i SKB:s regi (Babaahmadi, 2015 och Babaahmadi m.fl. 2015). Ett noterbart resultat som bör beaktas inför SKB:s kommande val av blandningsförhållanden inför uppförandet av SFR-U är att hållfasthetsegenskaper hos betong där portlanditen lakats fullständigt är oberoende av det initiala vct. Detta är en observation som tillskrivs att förändringarna i porstrukturerna är oberoende av det initiala vatten/cement-förhållandet. SSM noterar även att SKB påbörjat arbetet med att utveckla konstruktionsbetong för kassunerna i 2BMA (SKB R-17-21). SSM:s kommentarer och bedömningar rörande val av att inte använda armeringsjärn i 2BMA går att finna under Del III, avsnitt 4.3.3 Konstruktionernas utformning.

4.3.2 Konceptualisering av betongbarriärens utveckling

Detta delavsnitt hanterar SKB:s val av modeller och processer för att konceptualisera betongs kemiska och fysikaliska egenskaper samt dess tidsutveckling i slutförvarsmiljö. Resultaten från de olika typerna av modellering vävs löpande in i beskrivningen av SKB:s underlag av betongbarriärer och betongkonstruktioner både i delar av detta kapitel (kapitel 4, Initialtillstånd), liksom i de kapitel som avhandlar utvecklingen efter förslutning (kapitel 5,6 och 7). Fokus i detta delavsnitt ligger således inte på hur resultaten tillämpas för att beskriva betongen och dess utveckling utan på bedömning av motiveringen, relevansen och fullständigheten i de val av processer, modeller och beräkningsmetoder som SKB gjort samt hur väl de bedöms kunna representera den fysikaliska eller kemiska utveckling av betongbarriären som SKB vill beskriva.

Beskrivning av SKB:s underlag

Kemiska modeller

Kemisk degradering av betong kan ske genom olika processer såsom upplösning, utfällning och återkristallisering som kan uppstå genom växelverkan mellan betongmaterialet och grundvattnet, avfallet och/eller berggrunden. Lakning av lösliga ämnen i betongen leder till utarmning av de komponenter som binder cementet vilket i sin tur leder till att betongens mekaniska egenskaper reduceras. Lakning kan även leda till att porositeten ökar vilket leder till ökad diffusivitet och hydraulisk konduktivitet i materialet. Genom lakning utarmas betongens mest alkaliska komponenter vilket gradvis sänker pH:t i förvaret, vilket kan påverka betongbarriärens sorptionsförmåga. Växelverkan med ämnen i grundvattnet såsom sulfat kan förändra mineralsammansättningen i betongen och så småningom rendera sprickbildning. De olika kemiska degraderingsprocesser som SKB bedömer kan ske beskrivs utförligt i (SKB R-13-40, avsnitt 4.1). Baserad på de degraderingsprocesser som har identifierats från tidigare erfarenheter och litteraturstudier pekar SKB på att i synnerhet följande processer kan vara av relevans för degraderingen av 1BMA och 2BMA:

- Lakning av alkalihydroxider, portlandit och CSH-geler vilket leder till påverkan på pH, mekaniska egenskaper, porositet, diffusivitet och hydraulisk konduktivitet.
- Växelverkan med ämnen lösta i grundvattnet, såsom sulfat, klorid, karbonat och magnesium kan leda till ettringitbildning (sulfat), inducera stålkorrosion (klorid) liksom bildning av Friedelsalt (klorid), taumasitbildning (sulfat, karbonat), karbonisering (karbonat), pH-minskning (karbonat), reducerad korrosionpassivering (karbonat), kalcitbildning (karbonat), karboaluminatbildning (karbonat), brucit- och hydrotalcitbildning (magnesium).
- Alkalisilikareaktioner mellan ballast och cementmineraller, denna process bedöms vara försumbar för val av cement och ballast man gjort för befintliga SFR (Del III, avsnitt 4.3.1, Val av material).
- Effekter av tillsatser (additiv) i cement.

SKB:s modellering av betongens kemiska utveckling finns beskrivet i rapporten (SKB R-13-40) där både analytiska modeller och reaktiv transportberäkningar av processer av relevans för degradering och sprickbildning av betongbarriärer, se ovan, finns utförligt redovisade. Rapporten ligger till grund för bestämning av de olika degraderingsfaser som betongbarriären genomgår, och vilka egenskaper och nyckelparametrar, såsom hydraulisk konduktivitet, effektiv diffusivitet och sorptionskapacitet, som reflekterar respektive dominerande reaktiva fas och som tillämpas i SKB:s modellering av exempelvis grundvattenflöden och radionuklidtransportberäkningar. SKB fokuserar på 1BMA och 2BMA men menar ändå att resultaten inom rimliga gränser även kan tillämpas på andra förvarsdelar i SFR. Beträffande reaktiv transportmodelleringen har två olika termodynamiska databaser (Cemdata-07 och MinteqCem-2001, referenser finns att finna i (SKB R-13-40)) tillämpats med syftet att åskådliggöra resultatens känslighet för vilka lösta och fasta ämnen som ingår i de olika databaserna. Korrektioner för lösta ämnens aktivitet görs med WATEQ-Debye-Hückel-ekvationen (Truesdell och Jones, 1974) om de jonspecifika parametrarna (a_i^0 och b_i) finns definierade i de termodynamiska databaserna. I de fall det saknas värden på dessa parametrar tillämpas Davies ekvation för aktivitetskorrektion (SKB dokID 1593574). Beräkningarna har utförts med programmet PHAST (Parkhurst m.fl. 2010) där de geokemiska reaktionerna beräknas i PHREEQC vilken kopplas in som en subrutin till PHAST. Utvecklingen simuleras i 100 000 år med tidssteg om 1 år. Vidare simuleras systemet vid 25°C och inte <10°C som är förväntad temperatur i SFR. Denna

förenkling rättfärdigas av att databaserna är ofullständiga vid andra temperaturer än rumstemperatur (SKB R-13-40). Redoxvariationer beaktas ej i (SKB R-13-40) utan systemet antas vara kemiskt reducerande under hela analysperioden.

Förvarsdelarna 1BMA och 2BMA modelleras på olika sätt eftersom den planerade konstruktionen för den senare saknar armeringsjärn och formsteg. Barriärerna i 2BMA förutsätts utgöras av betong av förhållandevis hög kvalitet vid förslutning, vilket har beaktats i modelleringen. Det beräkningsfall som har utförts med MinteqCem-databasen på 2BMA utgör grunden för de data som ingår i säkerhetsanalysen. 1BMA har fordrat ett annat angreppssätt i och med att konstruktionen består av armerad betong och olika beräkningsfall presenteras i (SKB R-13-40). Dessa fall inkluderar båda databaserna, utformningen med eller utan antagen reparation, fall med antagandet att materialegenskaper förblir oförändrade mellan 100-10 000 år, samt ett fall att betongmaterialet endast utgörs av portlandit (SKB TR-13-40, tabell 7-1). Reparationsåtgärderna som antas i modelleringen är av mindre omfattning (se R-13-40, avsnitt 7.3.1) och motsvarar de som föreslås av SKB före förslutning (SKB dokID 1358612).

För 2BMA utförs betongbarriären med 14 kassuner av icke-armerad betong. I modelleringen tillämpas samma betongsammansättning som redovisas för 1BMA (avsnitt 4.3.1). Modellen beaktar effekten av en hydraulisk bur som skapas av den hydrauliska kontrasten mellan betongen och återfyllnaden som omgärdar betongen. Avfallsinteraktioner bortses helt från i modelleringen i (SKB R-13-40). Avfallet ersätts av en tom volym som initialt är fylld med cementporvatten och som ansätts transportegenskaper som vare sig motverkar flöde eller diffusion under beräkningarna. Väggarna antas ha en horisontell spricka med sprickapertur 0,1 mm medan golv och lock antas ha en vertikal spricka med samma sprickapertur. Ansatt sprickapertur i initialtillståndet grundas på att den åtgärdsteknik man tillämpar för att fylla igen sprickor, fogning, är ändamålsenlig ned till sprickstorlekar på 0,1 mm (SKB R-13-40, avsnitt 7.3.1).

Den geometriska representationen av 2BMA-modellen återfinns i (SKB TR-13-40, figur 7-1). Antagna materialdata (porositet, effektiv diffusivitet och hydraulisk konduktivitet) för olika tidsperioder redovisas i tabell 7-5 i samma rapport. Porositeten antas vara konstant över hela tidsperioden. Fram till 2000 år efter förslutning antas tillströmmande grundvatten vara bräckt/salthaltigt medan för tiden efter 2000 år ansätts bräckt vatten som följd av den framtida förväntade landhöjningen. Grundvattensammansättningarna är tagna från säkerhetsanalysen Project SAFE (SKB R-01-08). De grundvattenflöden som ansätts som randvillkor för 2BMA har beräknats utifrån (SKB TR-13-08), motsvarande det medelflux som antas från de hydrogeologiska beräkningarna för 2BMA-förvarsdelen.

För 1BMA, redovisas den geometriska representationen i modelleringen i (SKB TR-13-40, figur 7-6) och materialdata i tabell 7-7 i samma rapport. Grundvattenflöden genom 1BMA som tillämpas i modelleringen grundar sig på resultat från (SKB R-01-02) och inte de hydrogeologiska modelleringarna som tillämpas i övriga delar av säkerhetsanalysen SR-PSU (SKB TR-13-08). Analogt med 2BMA antas en stegvis flödesförändring som resultat av landhöjningen. Flöden är överlag större för 1BMA än 2BMA genom hela analysperioden utom under perioden mellan 1000 och 2000 år då den är en faktor 2,7 högre för 2BMA.

Fysikaliska modeller

Av de möjliga fysikaliska processer som kan leda till betongdegradering i (SKB R-13-40, avsnitt 4.2) har SKB endast tagit fram konceptuella modeller för de processer som kan kvantifieras och beaktas inom ramen för tillgängliga modeller för betongdegradering. Processer såsom exempelvis jordbävningar och permafrost har inte beaktats. SKB har

dock i en tidigare rapport beaktat hur klimatförändringar påverkar de tekniska barriärerna i det befintliga SFR (SKB R-07-51). I syfte att utöka sin förståelse har SKB utfört beräkningar för att representera sprickbildning på grund av krympning, av termisk kontraktion som följd av tillströmmande kallt grundvatten samt av korrosion av olika stålkomponenter (armering, formstag). Beskrivningen av de korrosionsinducerade sprickbildningarna är endast tillämpbar på 1BMA.

Under drift kommer betongens egenskaper påverkas eftersom luftens relativa fuktighet påverkar betongens volym. Om jämvikt infinner sig kan den resulterande vattenförlusten i betongen leda till sprickbildning, då betongen har sitt volymmaximum vid full vattenmättnad. För att beräkna betongkrympning som funktion av luftfuktighet använder sig SKB av en modell som utvecklats av Möller m.fl. (1980). SKB uppskattar att krymp-sprickor som resultat av torkning inte kan uteslutas vid en relativ fuktighet lägre än 70 % (SKB R-13-40, avsnitt 4.2.2).

SKB gör bedömningen att betongen uppnår jämvikt med omgivningen inom mellan några få och upp till hundra år efter den temperaturminskning som sker då tillströmmande grundvatten med temperatur 5-7°C kommer i kontakt med betongen som förväntas ha en temperatur på 12°C vid förslutning. En sådan temperaturförändring i betongen bedöms av SKB kunna ge en termisk kontraktion på -70×10^{-6} m/m, vilket av SKB inte bedöms vara försumbart (SKB R-13-40).

Korrosion av armeringsstål i betong beskrivs av SKB (SKB R-13-40, avsnitt 4.2.2) som en process som genomgår två olika faser: initieringsfasen och propageringsfasen. I den förstnämnda fasen penetrerar klorid och karbonat betongen vilket leder till depassivering av stålet. I propageringsfasen inleds korrosionen som ett resultat av depassivering, korrosionsprodukter, med större molvolym än icke-korroderat stål, bildas och ackumuleras i gränsskiktet mellan stål och cement vilket leder till att porvolymen i cementet fylls och vartefter volymen av korrosionsprodukter ökar byggs den mekaniska spänningen upp i betongen.

Sprickbildning initieras när den mekaniska spänningen överskrider betongens draghållfasthet. Fortskridande korrosion främjar fortlöpande sprickpropagering och ökad sprickapertur. Sprickbildning kring formstag bedöms i första hand propagera i radiell riktning (SKB R-13-40, figur 4-14). För helt och delvis korroderade formstag diskuteras konsekvensen av genomgående sprickor på betongens vattengenomsläpplighet som följd av formstagskorrosion (SKB R-13-40, avsnitt 6.7-6.12). I sin korrosionsmodellering uppskattas ett tröskelvärde på kloridkoncentration på 0,023-0,04 M för initiering av stålkorrosion utifrån den pH-utveckling som sker i förvaret och som erhålls från reaktiv transportmodellering (Del III, avsnitt 4.3.2 Kemiska modeller). Vid tillämpning av en väggjocklek på 0,4 m som en reparationsåtgärd, fördröjs tiden med cirka 100-200 år för klorid att nå armeringsstålet om antagandet görs att ingen reaktion mellan klorid och betong sker. Om ingen reparationsåtgärd utförs, å andra sidan, blir kloridexponeringen för formstagen i princip momentan.

De korrosionsprodukter som erhålls under driftsfasen då syrgas finns tillgänglig är $\text{Fe}(\text{OH})_2$ och $\text{Fe}(\text{OH})_3$. $\text{Fe}(\text{OH})_3$ kan sedermera bilda Fe_2O_3 . Under reducerande förhållanden väntas magnetit (Fe_3O_4) bildas. SKB använder korrosionshastigheten $5 \cdot 10^{-8}$ m/år för korrosion av kolstål under alkaliska, reducerande förhållanden, medan man under driften och den första tiden efter förslutning då oxiderande förhållanden förväntas råda ansätter $1\text{E}-7$ m/år (SKB TR-14-10, tabell 5-3). Dessa korrosionshastigheter tillämpas genomgående under analysperioden och motiveras med att moderata pH-sänkningar inte påverkar korrosionshastigheten (SKB TR-14-10, avsnitt 5.8). Baserat på ansatta

korrosionshastigheter, och korrosionsprodukternas molvolymer och porositet, beräknar SKB, utifrån analytiska lösningar (Möller 1980; Li m.fl. 2005), tiden för uppbyggnad av kritisk spänning och även bredden på sprickaperturen för bildad spricka som funktion av tiden. Magnetit antas inte ha porositet medan produkter bildade under oxiderande förhållande antas vara porös rost (SKB TR-13-40, tabell 1-1). Det bör noteras att sprickor initieras inom storleksordningen några decennier för de i säkerhetsanalysen ansatta korrosionshastigheterna (SKB R-13-40, figur 4-16).

Diffusions- och advektionskontrollerad lakning av portlandit och CSH-gel som följd av växelverkan mellan betong och grundvatten har beräknats för intakt betong och för betong med sprickor i för att uppskatta lakningsdjupet som funktion av tiden för olika fall. Dessa beräkningar redovisas i (SKB TR-13-40, kapitel 5). Figur 5-1 (SKB TR-13-40) illustrerar de olika fall med varierande flöden och diffusion i betong som SKB beaktar i sin modellering: intakt betong, genomgående spricka, delvis penetrerande spricka samt två olika åldringsgrader av betong. Effekten av dessa olika fall på effektiv hydraulisk konduktivitet och diffusivitet uppskattas genom enkla modeller där analytiska lösningar från litteraturen har använts för att beskriva de relevanta processerna är hämtade från litteraturen (SKB TR-13-40, kapitel 6).

SSM:s bedömning

Kemiska modeller

SSM anser att SKB har identifierat de kemiska processer som är av relevans för att med en rimlig detaljeringsgrad kunna beskriva betongens kemiska degradering. SKB:s tillvägagångssätt att utföra reaktiv transportberäkningar med hjälp av två olika databaser för olika mineral och sedan jämföra tidsutvecklingen av hela det kemiska systemet anses vara ändamålsenligt. SSM noterar även att denna metodik har tillämpats i andra sammanhang (Damidot m.fl. 2011). Att underlagsrapporten SKB R-13-40 inte tillämpar den grundvattensammansättning som har ansatts i säkerhetsanalysen anser SSM behäftat resultaten med onödiga osäkerheter. Dessa bedöms dock inte vara avgörande för de slutsatser som framkommit. SSM anser dock att modellering av den kemiska betongdegraderingen inför en kommande säkerhetsanalys bör inbegripa en analys av hur interaktion med salint grundvatten påverkar betongdegraderingsprocesserna.

Tillämpningen av olika beräkningsfall för 1BMA bedöms vara ändamålsenlig i känslighetshänseende. Exempelvis anser SSM i likhet med SKB att antagandet om att betongen endast utgörs av portlandit kan användas för att validera reaktiv-transportberäkningarna genom jämförelse med de analytiska modeller som också har använts.

För 2BMA behöver SKB framledes ta fram fler beräkningsfall där man utgår från en högre initial vattengenomsläpplighet för att illustrera konsekvenser av att man i uppförandet erhåller krympsprickor.

I SKB:s modellering beaktas inte möjligheten att karbonatutfällning kan leda till att betongens sprickor isoleras från inkommande porvatten, vilket skulle kunna leda till att vatten med lägre pH når längre in i betongen med snabbare depassivering av armeringsstål och sprickbildning som följd. SSM har låtit externa experter utvärdera denna frågeställning (SSM 2017:28, del 3). Resultaten i den studien beaktas i SSM:s bedömningar som utförs avseende betongbarriärernas utveckling efter förslutning (Del III, avsnitt 5.3, 6.3 och kapitel 7).

Sammantaget anser SSM att det modelleringsunderlag SKB tillämpar för att konceptualisera betongbarriärernas kemiska degradering är utförligt, välgrundat och välmotiverat.

Fysikaliska modeller

Avseende konceptualisering och modellering av betongkrympning anser SSM att SKB:s tillvägagångssätt är ändamålsenligt. Det baseras på vedertagna modeller och innefattar rimliga antaganden som har förankrats i uppmätta värden från befintliga SFR.

SSM bedömer att SKB:s modellering av sprickbildning som en följd korrosion av armeringsstål överlag är ändamålsenlig. SSM anser dock att armeringskorrosion i sig inte är avgörande för betongkonstruktionens statiska stabilitet. SKB har tillämpat vedertagna modeller och gör underbyggda antaganden avseende korrosionshastigheter och korrosionsprodukternas porositet. SSM bedömer att en välmotiverad redovisning av uppkomst och omfattning av genomgående sprickor i betong är avgörande för att realistiskt kunna uppskatta betongbarriärens vattengenomsläpplighet. SSM noterar att SKB (SKB TR-13-40, avsnitt 6.3) gör uppskattningar av förändringen i hydraulisk konduktivitet som resultat av genomgående sprickor i betongbarriären. De tittar även på konsekvensen av delvis och helt korroderade formsteg på effektiv diffusivitet och hydraulisk konduktivitet. SSM noterar att för en sprickapertur om 0,1 mm för genomgående sprickor omkring 10 % av formstegen erhålls en ökning av hydraulisk konduktiv på fyra storleksordningar, från $1 \cdot 10^{-11}$ till $1 \cdot 10^{-7}$ m/s (SKB R-13-40, figur 6-9). Detta bedöms av SKB att kunna ske inom några hundra år efter förslutning (SKB R-13-40, avsnitt 9.1). I SKB:s svar (SKB dokID 1686798, avsnitt 3.1.3) på SSM:s föreläggande (SSM2015-2432-26) avseende långsiktiga strålsäkerhetskonskvenser för 1BMA, argumenterar SKB för att korrosionsprocesser hos formstegen sker långsamt. För att effekten av formstagskorrosion ska ge ytterligare effekter på betongväggens hydrauliska konduktivitet utöver de effekter som bedöms orsakas av befintliga krympsprickor vilket enligt den kartering som har utförts är i storleksordning 10^{-5} m/s fordras att den effektiva hydrauliska konduktivitet som uppskattas för materialet i kanalerna som kan uppstå omkring formstegen (i huvudsak korrosionsprodukter) överstiger 10^{-3} m/s (SKB dokID 1686798, figur 3-1). Givet ansatt korrosionshastighet antas formstegen korrodera 0,5 mm på 10 000 år vilket inte bedöms ge en effektiv hydraulisk konduktivitet för det porösa materialet i kanalerna kring formstegen som överstiger $1 \cdot 10^{-3}$. SKB bedömer att effekten av denna process är försumbar i jämförelse med betydelsen av redan befintliga sprickor i betongväggarna, vilket innebär att åtgärder med anledning av korroderande formsteg av SKB inte bedöms vara nödvändiga. SSM:s explicita hantering av detta ärende utförs inom ramen för drifttillsyn eftersom SSM bedömer att problemställningen inte är av relevans för den planerade utbyggnaden av 2BMA för vilken formsteg inte kommer tillämpas i uppförandet. Underlaget ger dock en bild av förvarsdelen tålighet och de beräkningsfall som utförts av SKB kommenteras i denna granskningsrapport under avsnittet som rör betongbarriärernas tillstånd vid förslutning. SSM har även inom ramen för drifttillsyn låtit externa experter granska antagandena (SSM 2018-3264) som ligger till för hur processerna ovan, såsom exempelvis effekten av korrosion av formsteg på betongväggens hydrauliska egenskaper, är representerade i den radionuklidtransportmodell som ligger till grund för uppskattningen av de långsiktiga konsekvenserna. Ärendet hanteras utifrån SSM:s förhållningssätt avseende tillsynsfrågor vid tillståndsprövning (SSM 18-2660) inom ramen för myndighetens ordinarie tillsyn av befintlig anläggning.

4.3.3 Konstruktionernas utformning

Beskrivning av SKB:s underlag

I detta avsnitt diskuteras konstruktionernas utformning, dimensionering baserat på erforderliga belastningsfall samt eventuella tillkommande krav på material, geometri, bärighet och kvalitetskontroller.

Generellt hänvisar SKB till erforderliga belastningslastfall baserade på förhållanden som gäller för olika förvarsdelar före och efter förslutning. SKB:s underlag specificeras i avsnitten nedan. Silons och 1-2BTF:s konstruktionsutformning redovisas däremot inte i denna granskningsrapport; läsaren hänvisas i stället till SSM:s granskning av SAR-08 (SSM 2008/981-28).

1BMA

Betongkonstruktionen i den befintliga 1BMA uppfördes mellan 1986 och 1987, togs i drift 1988. 1BMA består av en ca 140 m lång, 15,6 m bred och 8,2 m hög armerad betongkonstruktion indelad i 13 stora fack och två mindre fack (SKB, 2015, avsnitt 4.3.1).

Betongkonstruktionernas huvudsakliga säkerhetsfunktion i 1BMA är att erhålla ett lågt advektivt grundvattenflöde genom det deponerade avfallet. Detta uttrycks med säkerhetsindikatorn hydraulisk konduktivitet som ska vara mycket lägre än för den omgivande makadamåterfyllningen samt berggrunden (SKB TR-14-04). Emellertid utgör även porositet samt diffusivitet som betydelsefulla ingående parametrar hos betongkonstruktionerna, vilka ingår i konsekvensanalys- och radionuklidtransportberäkningarna (SKB TR-14-09).

Betongkonstruktionens tjocklek för bottenplattan är 250 mm och för ytterväggarna respektive mellanväggarna är de 400 mm (SKB dokID 1534701; SKB dokID 1577237). Betongkonstruktionen är tillverkad av armerad betong klass K300 (s.k. anläggningsbetong) med en täckskiktstjocklek på ca 30 mm. En utförligare beskrivning av SKB:s val av material återfinns i Del III, avsnitt 4.3.1 i denna rapport. Bottenplattans förstyrningsbalkar samt även kantbalkarna är grundlagda på oarmerade socklar av grovbetong. Socklarna är i sin tur grundlagda direkt på sprängd bergbotten. Bottenplattan å andra sidan vilar på en bädd av packad sprängstensfyllnad täckt av ett lager på ca 150 mm makadam som har fungerat som nedre gjutform. För att dränera utrymmet under bottenplattan under driftperioden finns dräneringsrör ingjutna i bottenplattans kantförstyvning (SKB dokID 1568423). De längsgående ytterväggarna är försedda med en vot med tjockleken 740 mm, som fungerar som upplag för kranrälen till traversen för deponering av avfallskollina.

Betongkonstruktionen ska motstå ett grundvattentryck på ca 85 meter vattenpelare (mvp) som kan uppstå under vattenmättnadsfasen av betongen, efter vilket trycket utjämnas och tryckgradienten över betongbarriären minskar kraftigt (SKB dokID 1577237). Konstruktionen är också avsedd att hålla emot vikten av det deponerade avfallet, dess kringgjutning (som är uppdelad på flera gjutkampanjer), driftförslutningen med prefabricerade betongplattor, det platsgjutna betongblocket samt återfyllnaden av makadam med höjd på ca 6 m (SKB dokID 1534701). Övriga laster som konstruktionen kan utsättas för är last från en laddad travers samt invändigt vattentryck i fack efter sprinkling av brandsläckningsvatten vid en eventuell brand i bergsalen (maximal höjd 2 m).

Den nuvarande betongkonstruktionen i 1BMA är emellertid inte dimensionerad för samtliga laster listade ovan. SKB har till exempel visat att den nuvarande dimensioneringen av bottenplattan endast klarar 14,8 mvp, inräknat mottrycket från avfallet (SKB dokID 1577237). Förstärkningsinsatser är därför nödvändiga för att betongkonstruktionen i 1BMA ska kunna motstå lasterna som uppstår efter förslutning samt erhålla erforderlig barriärfunktion för begränsat grundvattenflöde med hänsyn till den förväntade betongdegradering som kommer att ske efter förslutning (SKB docID 1440857). SKB har även kunnat konstatera förekomst av armeringskorrosion på grund av inträngande klorid. SKB konstaterar att täcksiktet har haft en för begränsad tjocklek för att effektivt kunnat motstå armeringskorrosion (SKB dokID 1394873), samt utbredd sprickbildning i betongbarriären (SKB dokID 1430853). SKB värderar dock genom sina analyser att säkerheten under drift inte påverkas av de påvisade skadorna i betongbarriärkonstruktionen (SKB dokID 1392758).

Den hydrauliska konduktiviteten (vattengenomsläppligheten) för intakt betong är enligt SKB ca $1 \cdot 10^{-10}$ m/s (SKB R-13-40). För oskadade betongbarriärkonstruktioner i 1-2BMA antar SKB att en hydraulisk konduktivitet som ligger på $8,3 \cdot 10^{-10}$ m/s (SKB TR-14-10; SKB R-13-40). Den effektiva diffusiviteten hos intakt betongbarriär antas enligt litteraturen vara ca $3 \cdot 10^{-12}$ m²/s (SKB TR-14-10; SKB R-13-40) medan betongens porositet i sitt intakta tillstånd ansätts till 0,11 (SKB TR-14-10; SKB R-13-40).

2BMA

Betongkonstruktionernas huvudsakliga säkerhetsfunktion i 2BMA är att erhålla ett lågt advektivt grundvattenflöde genom det deponerade avfallet. Referensutformningen av 2BMA har ändrats under beredningen av SKB:s ansökan. Betongkonstruktionen i den vidareutvecklade utformningen av det planerade 2BMA består av 13-14 fristående oarmerade betongkassuner med innerväggar (SKB dokID 1577237). För 2BMA har SKB besvarat en begäran om komplettering (SSM2015-725-61) med avseende på redovisning av konstruktionsstyrande fall för betongbarriären. Jämfört med uppgifterna i SKB:s ursprungliga underlag tillkom uppgifterna om lasten från en vattenpelare på 150 m samt från en utökad mäktighet för återfyllnaden till 6 m (SKB dokID 1577237). Betongkassunerna vilar företrädesvis på en platsgjuten betongplatta vilken utgör arbetsyta vid uppförandet av 2BMA. Grundläggningen för dessa betongkonstruktioner är ett packat friktionsmaterial med hög styvhet.

Ursprungligen planerade SKB för en konstruktion i vilken samverkan mellan betongbarriären, kringgjutning av avfall samt avfallskollin åberopades (SKB dokID 1526718). I svaret på en kompletteringsbegäran från SSM ändrade SKB den tekniska lösningen på så sätt att kringgjutningen tillsammans med avfallet inte tillgodosågs i lastbärande hänseende utan ersattes med ett rutnät av vertikala innerväggar som delar varje kassun i 36 deponeringsfack (SKB dokID 1577237, figur 5). Innerväggarna kommer att uppföras under anläggningens konstruktionsfas, antingen genom platsgjutning eller genom inplacering av prefabricerade armerade betongelement vilka sedan gjuts samman och då får en resulterande tjocklek på 200 mm. SKB planerar använda sig av en oarmerad betong av klass C50/60 i alla konstruktioner i 2BMA (SKB dokID 1577237).

1-2BTF

De två bergsalarna 1-2BTF är i första hand utformade för deponering av avfall i form av avvattnade jonbytemassor i betongtankar, aska från förbränning av avfallet (1BTF) samt udda typer av avfall såsom ett reaktortanklock. Bergsalarna är ungefär 15 meter bredda, 9,5 meter höga och 160 meter långa. Golven till bergsalarna är gjutna med betong på en dräneringsgrund och omges med en 1 meter hög betongsarg längs med bergväggarna. Väggarna och taken till bergsalarna är täckta med sprutbetong. På bottenplattan finns ett

antal betongpelare som ska underlätta senare kringgjutning av betongtankarna (SKB, 2015, avsnitt 4.3.3; SKB TR-14-02, avsnitt 6.1).

I 1BTF placeras askfat och betongtankar. Betongtankarna deponeras i längdriktning och betongkokiller innehållande avfall med lågt aktivitetsinnehåll och låg ytdosrat utgör skiljeväggar. I 2BTF planeras endast betongtankar att deponeras. Dessa placeras fyra i bredd och två i höjd med fabricerade betongelement som placeras ovanpå som strålskydd (SKB, 2015, avsnitt 4.3.3; SKB TR-14-02, avsnitt 6.1).

I enlighet med förslutningsplanen för SFR kommer utrymmena mellan betongtankar och bergvägg i 2BTF att återfyllas med kringgjutningsbruk. I 1BTF sker kringgjutning av askfaten i den inre halvan av bergsalen successivt redan under drift. Den yttre halvan av bergsalen med enbart betongtankar kommer att kringgjutas på samma sätt som i 2BTF vid förslutning av förvaret. Därefter kommer en betongplatta att gutas ovanpå de prefabricerade betongelementen i vardera bergsalen för att bara upp vikten från makadam som i ett sista moment återfyller de resterande utrymmena i bergsalarna. Den ena änden av bergsalarna mot 1BST (bergsalstunnel) återfylls med övergångsmaterial (30 % bentonit blandad med 70 % krossat berg) mellan två mothållande väggar av betong. Själva bergsalstunneln återfylls med bentonit. I den andra änden av bergsalarna mot 1TT (tvärtunnel) bildas en mothållande vägg med gjutform och mekanisk plugg av betong. Själva tvärtunneln återfylls också med bentonit (SKB dokID 1358612, avsnitt 3.4 och 3.5).

1BLA

I 1BLA deponeras lågaktivt avfall i ISO-containrar. Avfallet består huvudsakligen driftavfall i form av sopor och skrot, men även cement- eller bitumeningjutet avfall (jonbytarmassor, indunstarkoncentrat och slam) deponeras i cirka 5 volymprocent av utrymmena i 1BLA. Bergsalen är cirka 15 meter bred, 13 meter hög och 160 meter lång. Containrarna staplas två i bredd och tre till sex i höjd, beroende på storlek. Golvet till bergsalen gjuts med betong på dräneringsgrund. Väggarna och taket till bergsalen täcks med sprutbetong (SKB, 2015, avsnitt 4.2.4 och 4.3.5; SKB TR-14-02, avsnitt 8.1).

De två änderna av bergsalen planeras att förslutas på ungefärligen samma sätt som för 1-2BTF. Eftersom utrymmena kring avfallscontainrar i bergsalen inte har planerats att återfyllas, kommer 4 meter av 1TT (tvärtunnel) mellan bergsalen och pluggen att återfyllas med makadam, vilken hålls på plats med en mothållande vägg av betong. En 10 meter lång del av bergsalen bredvid övergångsmaterialet i 1BST (bergsalstunnel) kommer också att återfyllas med makadam med stöd av en mothållande vägg (SKBdoc 1358612, avsnitt 4.2.2).

2-5BLA

Bergsalarna 2-5BLA tillhör den utbyggda delen av SFR. Bergsalarna har liknande utformning som 1BLA men är bredare för att kunna inhysa längsgående betongväggar. Väggarnas huvudsakliga funktioner är att säkerställa avfallscontainrarnas stabilitet och möjliggöra åtkomst ovanför containrarna (SKB, 2015, avsnitt 4.3.6; SKB TR-14-02, avsnitt 9.1).

Bergsalarna har följande dimensioner; bredd 18 m, höjd 14 m och längd 275 m. Lågaktivt avfall kommer att deponeras i ISO-containrar och staplas två i bredd och sex i höjd innanför de längsgående väggarna. Avfallet i 2-5BLA inkluderar en mindre mängd driftavfall i form av sopor och skrot, medan större delen utgörs av rivningsavfall bestående av betong, metaller, sand, asfalt, m.m. (SKB, 2015, avsnitt 4.2.4, 4.3.6; SKB TR-14-02, avsnitt 9.1).

Vid förslutningen kommer betongpluggar med mekaniskt mothåll att installeras vid änderna mot 2BST (bergsalstunnel) och 2TT (tvärtunnel). Inuti varje mothåll återfylls 10 m av bergsalen med makadam mot en stödvägg. Utrymmet ovanför återfyllnaden av makadam samt ovanför nivån för de anslutande tunnarna fylls med betong. Liknande som i 1BLA, kommer utrymmet runtom och ovanför avfallscontainrarna inte att återfyllas vid förslutningen (SKBdoc 1358612, avsnitt 4.2.2).

Silo

Silon är ett cylindriskt bergutrymme med tre anslutande pluggsektioner: nedre siloplugg (NSP), övre siloplugg (ÖSP) och silotakplugg (STP). Pluggsektionerna utgörs av delarna av olika tunnlar (silobotten tunnel, dränagetunnel, silotaktunnel och silotunnel) och inlastningsbyggnad (SKB, 2015, figur 4-28). Det cylindriska utrymmet i berget där silon är uppförd är cirka 70 m hög med en diameter på cirka 30 m. I Silon göts en betongcylinder med inre diametern på 26,0 m, yttre diametern på 27,6 m och höjden cirka 53,5 m; på en bädd av 90% sand och 10% bentonit. Betongcylindern är indelad i ett antal vertikala schakt. Spalten mellan betongcylindern och berget i Silon fylls med bentonit (SKB, 2015, avsnitt 4.3.4; SKB TR-14-02, avsnitt 7.1). En beskrivning av initialtillståndet för bentoniten i Silo återfinns även i avsnitt 4.4 i föreliggande del av granskningsrapporten.

Medelaktivt avfall med en maximum tillåten ytdosrat på 500 mSv per timme deponeras i Silon. Avfallet utgörs av cirka 85 volymprocent cement- eller bitumeninjutet avfall (jonbytarmassor, filterhjälpmedel, slam) och 15 volymprocent betongkringgjutet avfall i form av sporor och skrot (SKB, 2015, avsnitt 4.2.4; SKB TR-14-02, avsnitt 3.7.6).

Viss tillslutning av förvarsutrymmet sker redan under drifttiden, vilken består i av att avfallet kringgjuts med ett för ändamålet utvecklat kringgjutningsbruk. Vid förslutning av Silo kommer betongcylindern att skyddas genom att en betongplatta läggs ovanpå en blandning av bentonit och sand. En annan betongplatta försedd med genomgående gasventileringsrör placeras nedanför blandningen. Ett tunt skikt av sand läggs även mellan den sistnämnda betongplattan och avfallet (SKB dokID 1358612, avsnitt 3.3.2).

1BRT

Den ursprungliga ansökan från 2014 avsåg en lösning med deponering av hela BWR-reaktortankar i bergsalen BRT (SKB, 2015, avsnitt 4.3.7). En senare komplettering innefattar segmentering av reaktortankarna med tillhörande ändring av avfallstypen som avses deponeras i kokiller i en betongkonstruktion i BRT (SKB dokID 1604998). Betongkonstruktionen tillsammans med kringgjutning av avfallet är tekniska barriärer med barriärfunktioner som har betydelse för förvarets säkerhet efter förslutning. Barriärfunktionen är, till skillnad från 1-2BMA, dock begränsad till mekanisk bärighet och upprätthållande av lämpliga kemiska betingelser som medför en gynnsam retention av radionuklider. Betongkonstruktionen tillskrivs dock inte någon flödesbegränsande funktion i radionuklidtransportmodellen för denna förvarsdel (SKB dokID 1604998). Efter förslutning ska betongen uppfylla funktionen god retention vilket innebär att genomgående armering, genomgående formsteg och gjutfogar kan tillåtas.

Betongkonstruktionen i BRT består av en lång sammanhängande armerad betongkonstruktion som förses med tvärgående mellanväggar som stabiliserar ytterväggarna (SKB dokID 1604614). Mellanväggarna utgör delar av de förvarsfack som möjliggör etappvis kringgjutning av avfallet. Varje fack får dimensionerna, som definieras av ytterväggarna respektive mellanväggarna, innermått 10,5 m i bredd- och längdriktning samt 5,5 m i höjdriktning från överkanten på bottenplattan. Konstruktionen uppförs med traditionell formsättningsmetod, och gjutning sker genom konventionell betonggjutning

med betongpump. Bottenplatta, ytterväggar, mellanväggar samt lock uppförs enligt nuvarande referensutförning med en tjocklek om 500 mm och platsgjuts på en glidskikt-försedd arbetsbetonglager i etapper med någon behandling av fogarna för att förbättra tätheten. Arbetsbetongen är i sin tur gjuten på en dränerande bottenbädd av packat grus. Traverserna kommer att vara upplagda på ett fristående pelarsystem direkt grundlagda i arbetsbetongen och kommer därför inte att belasta betongbarriärkonstruktionen. Betongbarriärkonstruktionens totala längd är 220,5 m. Betongkonstruktionen i 1BRT kommer att dimensioneras för driftskedet mot laster, utöver självvikten, från deponerat avfall (jämn och ojämn fördelning), från inre gjuttryck från kringgjutning (SKB dokID 1604614). För tiden efter förslutning dimensioneras betongkonstruktionen för yttre jordtryck från återfyllnadsmaterial, last från fallande bergblock samt ett yttre vattentryck för 150 mvp (SKB dokID 1604614). Inga särskilda krav med avseende på begränsad sprickbildning kopplat till barriärfunktionerna hos betongkonstruktionen planeras att tillämpas av SKB för 1BRT (SKB dokID 1604614).

Den hydrauliska konduktiviteten för intakt betong i konstruktionerna för 1BRT väljs av SKB, i likhet med BTF-konstruktionerna, till ca 8.3×10^{-10} m/s (SKB TR-14-10, tabell 10-4,; SKB R-13-40). Den effektiva diffusiviteten hos intakt betongbarriär för 1BRT antas av SKB vara ca $3,5 \times 10^{-12}$ m²/s (SKB TR-14-10, tabell 9-4). Betongens porositet i sitt intakta tillstånd antas vara 0,11 (SKB TR-14-10, tabell 10-4; SKB R-13-40).

SSM:s bedömning

SSM anser att SKB bör utföra dimensionerings- eller kravställande åtgärder mot genomgående sprickbildning i de betongkonstruktioner som innehar en barriär- eller säkerhetsfunktion. Initiala sprickor i betongkonstruktioner förklaras med krympning hos betong vid härdning med låg relativ fuktighet, men även senare med differensstörningar på grund av temperatur- och fuktdifferenser mellan olika delar av förvaret eller differentiella sättningar mellan olika delar av konstruktionen som har uppkommit under driften (VRD, 2011; SKB dokID 1264335) eller efter förslutning. Dimensionering av betongkonstruktioner för vilka sprickbildningen behöver begränsas innan eller efter förslutning, i synnerhet de med barriär- eller säkerhetsfunktion, bör även göras med hänsyn till krympning till följd av betongens temperatursänkning som sker under vattenmättnadstiden (SKB R-13-40). I dimensioneringen bör SKB i största möjliga mån även beakta andra degraderingsprocesser såsom korrosion av eventuell armering eller genomgående formstag som skulle kunna leda till sprickbildning i betongkonstruktionerna och således påverka deras hydrauliska konduktivitet. Hänsyn bör även tas till egenskaperna hos tillkommande avfall, såsom exempelvis svällning och gasutveckling.

1BMA

SSM bedömer att 1BMA i befintligt skick inte besitter de egenskaper som förvardsdelen i säkerhetsanalysen SR-PSU antas inneha i sitt initialtillstånd vid förslutning. Detta baseras på att SKB har visat att: i) konstruktionen inte kommer att kunna hålla mot de laster som har identifierats genom de konstruktionsstyrande fallen i säkerhetsanalysen SR-PSU (i synnerhet grundvattentryck och utökad återfyllningsmaktighet), ii) att konstruktionens vattengenomsläpplighet (också kallad ”täthet”) är för hög jämfört i jämförelse med de värden som antas i säkerhetsanalysen SR-PSU. För höga värden hos vattengenomsläppligheten kan redan förekomma vid tidpunkten för förslutningen.

Konstruktionen i befintligt skick bedöms redan idag vara känslig mot betongdegradering och armeringskorrosion pga. de miljöfaktorer som råder i slutförvarsmiljön. SSM noterar att enligt de svenska standarderna SS EN 206-1 och SS 13 70 10, för en miljö med ”korrosion orsakad av klorider från havsvatten” och ”ständigt under vatten” som vid SFR1, erhålls exponeringsklassen XS2. Denna exponeringsklass, i samband med en

teknisk livslängd på minst 100 år som är den ungefärliga drifttiden för SFR1, kräver ett täckskikt på minst 50 mm för en betong med vatten-cement-tal (vct) på 0,45. Betongen i 1BMA hade dock täckskikt på ca 30 mm (SKB dokID 1440875) och ett vct på 0,62 (SKB dokID 1577237). SSM konstaterar att om konstruktionen inte uppfyller kraven i dessa standarder uppstår en risk för att armeringskorrosion som kan förekomma även innan förslutningen av SFR, vilket också har konstaterats.

Konduktiviteten hos betongbarriären i 1BMA vid initialtillståndet antas av SKB vara ca $8,3 \times 10^{-10}$ m/s där hänsyn tas till sprickor med en bredd på 10 μ m och med ett medelavstånd mellan sprickor på 1 m (SKB R-13-40). Betongkonstruktionen är också genomborrad av ett stort antal formstag som användes under gjutningen av konstruktionen. Formstagen är korrosionsbenägna och skulle, om de utsätts för omfattande korrosion, kunna länka insida och utsida av konstruktionen med en genomgående sprickbildning. Detta skulle i sin tur medföra en ökad hydraulisk konduktivitet genom betongen. Beräkningar baserade på SKB:s sprickkartering från år 2000 och 2011 (SKB dokID 1430853) ger en hydraulisk konduktivitet på upp till $5,3 \times 10^{-4}$ m/s vilket skiljer sig väsentligt i jämförelse med SKB:s antagande i säkerhetsanalysen SR-PSU där den initiala hydrauliska konduktiviteten ansätts till $8,3 \times 10^{-10}$ m/s.

SKB har föreslagit en serie reparationer samt förbättringsåtgärder som ska genomföras på betongkonstruktionerna i 1BMA innan den slutliga förslutningen kan ske (SKB dokID 1534701, SKB dokID 1577237). Dessa åtgärder kommenteras i Del III, avsnitt 4.3.4 om tillståndet för 1BMA vid förslutning. Inom ramen för tillsyn av befintligt SFR (SSM2015-2432) har SSM förelagt SKB att inkomma med en redovisning som redogör för vilka långsiktiga strålsäkerhetskonsekvenser som kan uppstå om man utgår från att befintliga skador framför allt i bottenplattan i 1BMA inte kan åtgärdas (SSM2105-2432-26). SKB har inkommit med en redovisning av föreslagna reparationsåtgärder och tillhörande konsekvensanalyser (SKB dokID 1686798). Även dessa kommenteras i Del III, avsnitt 4.3.4.

2BMA

SSM bedömer att SKB:s planerade konstruktion, utifrån den referensutformning som beskrivs i SKB:s underlag, har förutsättningar att kunna uppföras i bergrummen för det utbyggda SFR. SSM bedömer vidare att utformningen och dimensioneringsteknik följer praxis inom byggindustrin (SSM 2016:12, del 2) samt att SKB, i designen av den nya barriärkonstruktionen, har tagit hänsyn till de erhållna erfarenheter från utförande och drift av befintliga 1BMA som har en liknande konstruktion. Detta har lett till valet av fristående kassuner, oarmerad betong samt stöd från innerväggarna. Det återstår vissa frågeställningar rörande genomförbarhet att uppföra stora och slanka oarmerade konstruktioner, liksom avseende möjligheten att uppfylla uppsatta produktionskrav, något som SSM tidigare har pekat på i sin granskning (SSM 2017:17) av SKB:s forskning-, utveckling- och demonstrationsprogram (Fud-program 2016). Emellertid bedömer dock SSM att SKB har förutsättningar att, under tiden fram till idrifttagning av anläggningen, kunna utveckla de tekniska lösningar som fordras för att erhålla ett medgivande för uppförande av utbyggnaden av SFR. Den detaljeringsnivå som skulle krävas för att besvara dessa frågeställningar bedöms inte vara rimlig att kräva i detta skede av prövningsprocessen då konstruktionen är baserad på en referensutformning. SSM vill dock betona vikten av att i ett eventuellt uppdaterande av uppsatta produktionskrav beakta relevansen av långsiktiga strålsäkerhetskonsekvenser. Myndigheten anser att SR-PSU och även mer nytillkomna konsekvensanalyser av att ansätta en förhållandevis sprickfylld betong redan i initialtillståndet av förvaret (SKB dokID 1686798) visar på att betongkonstruktionerna i SFR besitter en förhållandevis stor robusthet inom ramen vedertagna begränsningar inom radionuklidtransportmodellen. Mot bakgrund av detta anser SSM att

SKB bör sträva efter att tydligare definiera produktionskrav som dels är verifierbara i samband med uppförande och dels är tydligare förankrade i analyserna om långsiktiga strålsäkerhetskONSEKVENSER.

1-2BTF

SSM bedömer att utformningen av betongbarriärerna i 1-2BTF är ändamålsenlig. Det framgår av SKB:s redovisning att det inte finns någon betongvägg i 1-2BTF. Betongbarriärerna finns i bergsalarna i form av betonggolv, sprutbetong, betongelement och kringgjutningsbruk. Dessutom utgör även avfallsbehållare, i form betongtank och betongkokill, betongbarriärer. SSM har inom ramen för drifttillsyn av befintlig anläggning en pågående granskning avseende acceptanskriterier för avfall som deponeras i befintliga SFR där bland annat dimensionering av avfallsbehållarna utifrån förväntade lastsituationer avhandlas (SSM2012-4914-13). Det framgår av SSM:s bedömningar i Del III, avsnitt 5.3, 6.3 och 7.3 att SKB har ansatt hydrauliska och kemiska egenskaper hos förvarsdelarnas betongbarriärer på ett förhållandevis konservativt sätt. Se även SSM:s bedömningar i ovanstående avsnitt.

1-5BLA

SSM bedömer att utformningen av konstruktionerna i samtliga BLA-bergsalar är ändamålsenlig. I likhet med 1-2BTF har 1BLA ingen betongvägg. 2-5BLA har dock betongväggar längs med de uppställda containrarna. Eftersom det inte planeras några betongväggar längs med kortsidan, tillgodoräknas inte dessa som betongbarriärer i konsekvensanalysen. Inga betongkonstruktioner och andra betongbarriärer (såsom sprutbetong) i BLA-delarna tillskrivs någon skyddsförmåga i SKB:s säkerhetsanalys. Detta sätt att hantera betongkonstruktionerna och betongbarriärerna i 1-5BLA bedöms vara ändamålsenlig. Se även Del III, avsnitt 5.3, 6.3 och 7.3 i denna granskningsrapport för ytterligare bedömningar i detta hänseende.

Silo

SSM bedömer att SKB:s redovisning av initialtillståndet för betongkonstruktioner och andra betongbarriärer i Silo är ändamålsenlig. Silos betongcylinder utgör den viktigaste betongkonstruktionen och betongbarriären i denna förvarsdel. Å ena sidan, utifrån statusen för andra betongkonstruktioner i det befintliga SFR är det svårt att anta att konstruktionen helt är sprickfri, vilket SKB även konstaterar (SKB TR-14-10, avsnitt 10.3). Å andra sidan, omges Silos betongcylinder av en bentonitfyllning, vars skyddsförmåga bidrar till förvarsdelens mindre känslighet i säkerhetsanalysen (SKB TR-14-10, avsnitt 10.3). Dessutom förutsätts i SR-PSU att betong i cylinderdelen degraderar snabbare än betongkonstruktionerna i 2BMA. Bedömningar avseende initialtillståndet för Silo bentonitbarriär återfinns i Del III, avsnitt 4.4 i denna rapport.

1BRT

SSM bedömer att referensutformningen för betongbarriären i BRT som beskrivs i SKB dokID 1604614 är ändamålsenlig mot bakgrund av förvarsdelens förutsatta skyddsfunktion. SKB har i referensutformningen tagit hänsyn till genomförbarheten av avfallsdeponering med fyrkokiller samt av kringgjutning av avfall vid förslutning. Kringgjutningens mäktighet ska enligt SKB vara minst 150 mm samt bilda innerväggar mellan kokillerna på minst 200 mm, vilket enligt SSM:s bedömning ger väl tilltagna mått för att förhindra olyckor under avfallsdeponering samt möjliggör kringgjutning av avfallet med cementbaserat material såsom självkompakterande betong.

SSM bedömer att den föreslagna betongbarriärkonstruktionen med platsgjutning av betongfacken på arbetsbetonglager i flera etapper, med armeringsförsedd betong och eventuella åtgärder vid gutfogar är etablerade metoder som bidrar till att utformningen

kan betraktas som ändamålsenlig för både driftskedet samt för tiden efter slutlig förslutning.

SSM konstaterar att SKB har dimensionerat geometrin hos betongkonstruktionen och bergrummen så att erforderliga utrymmen erhålls för den fjärrmanövrerade traversen för inlastning av avfallsbehållare av typen kokillenhet, för tillräckliga utrymningsvägar, för avledning av vatten från tunneltaket med tunnelduk samt av inläckande vatten till den dränerande bottenbädden av packat grus, samt för att erhålla erforderliga mått för återfyllnaden med genomsläppligt material vid förslutning. Konstruktionstjocklekarna för barriärens olika delar tar också hänsyn till strålskyddet inom anläggningen under driftskedet. SSM bedömer att referensutformningen av konstruktionen 1BRT har förutsättning att möjliggöra de förslutningsåtgärder som SKB planerar att genomföra vid den framtida förslutningen av den utbyggda delen av SFR (SKB dokID 1358612).

SSM bedömer baserat på SKB:s underlag i SKB dokID 1604614 att även de belastningsfall som planeras att användas för den statiska dimensioneringen av betongbarriärskonstruktionen är lämpliga och heltäckande. Emellertid efterlyser SSM en verifiering av betongbarriärskonstruktionen med uppskattade degraderade materialegenskaper enligt SKB dokID 1577237 för att stödja slutsatsen att den mekaniska funktionen kan upprätthållas under den delen av analysperioden som den ska upprätthållas, dvs. för över 20 000 år (SKB, 2015, kapitel 11).

Vidare ser SSM positivt på att SKB planerar att genomföra förprovning av betonggjutning och särskilt av gjutfogarna för att säkerställa den valda metodens ändamålsenlighet (SKB dokID 1604614). De värden som SKB har antagit för den hydrauliska konduktiviteten, för den effektiva diffusiviteten samt för porositeten hos bärande betongkonstruktionerna i 1BRT vid initialtillstånd motsvarar värden för intakta betongkonstruktioner. Dessa antaganden har ingen påverkan på resultat från radionuklidtransportsberäkningar eller konsekvensanalys men de valda parametervärdena förutsätter väl genomförda betongkonstruktioner där dimensionering samt kvalitetskontroller vid uppgörande och drift krävs för att uppnå avsedd utformning med begränsad sprickbildning.

4.3.4 Tillstånd vid förslutning

Beskrivning av SKB:s underlag

SKB har identifierat processer som pågår under driften av slutförvarsanläggningen och som kan påverka initialtillståndet för betongbarriärerna vid förslutning (SKB R-13-40). Analysen är gjord för 1-2BMA men resultaten kan i viss mån även översättas till de andra betongkonstruktionerna. För Silon omgärdas betongen av förhållandevis tät bentonit och dessa processer sker därför långsammare i denna förvarsdel. Interaktionen mellan betong och bentonit och dess påverkan på degraderingen av barriärerna diskuteras närmare i Del III, avsnitt 4.4, 5.4 och 6.4. De identifierade kemiska processerna i betongbarriärerna är:

- urlakning av kalcium och andra kemiska komponenter från betongen,
- urlakning av CSH-geler (kalciumsilikathydrater) från betongen,
- bildning av de potentiellt skadliga mineralen ettringit och thaumasit,
- utfällning av mineraler som t.ex. brucit,
- kloridinträngning och depassivering av stålkomponenter,
- korrosion av armeringsjärn som en följd av depassivering,
- korrosion av genomgående formstag som en följd av depassivering.

Processerna påverkas i hög grad av: i) den kemiska sammansättningen av vattnet i betongporerna samt det vatten som kommer i kontakt med mineralerna i betongbarriären, ii) interaktionen med avfallskollin, iii) luftfuktigheten och temperaturen i anläggningen under tiden fram till förslutning.

Interaktionen mellan betong och lågalkaliskt vatten, såsom grundvattnet som kommer i kontakt med betong, ger upphov till en koncentrationsgradient som tenderar att transportera Na^+ -, K^+ -, Ca^{2+} - och OH^- -joner via betongporvattnet och vidare ut från betongbarriären. Emellertid är urlakning av dessa joner långsam i jämförelse med tidsperioden för driften av SFR. Urlakning av portlandit (kalciumhydroxid) leder så småningom till att även CSH-geler börjar utarmas men först efter lång tid. Denna process leder till en ökad porositet och minskad mekanisk hållfasthet hos betongen.

Upplösning av CSH-geler vid närvaro av sulfat kan också leda till utfällning av ettringit vilket medför volymökning och mikrosprickbildning i betongen. I grundvatten med hög koldioxidhalt av sker dock utfällning av kalcit och, i vissa fall vid högt pH och tillräckligt höga halter magnesium även utfällning av brucit ($\text{Mg}(\text{OH})_2(\text{s})$). Dessa mineraler kan ha en helande effekt på betongen eftersom de täpper till porerna och sprickorna i materialet och motverkar framskridandet av urlakningsprocesser.

Högre halter av klorider leder till utfällning av Friedelssalt (kalcium-aluminiumklorider) vilket vanligtvis påverkar betongen negativt men processen kan även ha en fördröjande effekt på kloridinducerad depassivering av stålkomponenter såsom armeringsstål. Högre halter av sulfid framkallar utfällning av thaumasit som är också skadligt för betongen pga. svällning. Förekomst av kolloider förväntas inte ha någon effekt på degradering av betongbarriärerna i SFR.

Betong samt betongballast i SFR är valda av SKB för att i möjligaste mån undvika alkaliska-reaktioner vid höga pH, vilka leder till bildning av gel med en resulterande volymökning som kan skada konstruktionerna. Den kemiska sammansättningen på avfallet, dess ingjutning, kringgjutning och degraderingsprodukter kan leda till att betongbarriären kommer i kontakt med potentiellt skadliga ämnen såsom sulfat, cellulosa och plast. Dessa ämnen kan leda till uppkomst av komplexbildande organiska syror, bl.a. isosackarinsyra (SKB TR-14-03).

Vid initialtillståndet för 1-2BMA verkar statiska laster från självvikten av betongkonstruktionen inklusive eventuella reparationer, från vikten av det deponerade avfallet samt från vikten och jordtryck av återfyllnaden med krossat berg. Återfyllnaden finns dels ovanför locket, dels utanför väggarna i betongbarriärkonstruktionen. De ovan nämnda lasterna är dock så pass låga att endast en marginell påverkan kan förväntas på betongbarriärkonstruktionens integritet.

Sprickbildning i betongbarriären påverkar dess vattengenomsläpplighet, vilket SKB utförligt beskriver i sin underlagsrapport (SKB R-13-40). Vattengenomsläppligheten i betongen kan korreleras till sprickvidden samt sprickavståndet hos genomgående sprickor enligt sambanden i SKB R-13-40 (avsnitt 6.3 och tabell 6-1). Exempelvis medför, för ett givet sprickavstånd, en ökning av sprickvidden från 0,1 mm till 1 mm en ökning av den hydrauliska konduktiviteten på mer än tre storleksordningar. Ett minskat sprickavstånd från 10 m till 1 m medför en ökning av den hydrauliska konduktiviteten på ca en storleksordning. Som ett konkret exempel så har en betongvägg med genomgående sprickor med en sprickvidd på 0,1 mm och ett sprickavstånd på 1 m en hydraulisk konduktivitet på ca 10^{-6} m/s (SKB R-13-40, figur 6-1) om den intakta betongen antas ha en hydraulisk konduktivitet på 10^{-11} m/s.

Med anledning av att höga fukthalter i anläggningens luft erfordras kontroll av fuktigheten genom ventilationen eller åtminstone uppföljning av dess effekt på konstruktionerna i SFR. Kontakt mellan det marina grundvattnet och betongkonstruktionerna genom takdropp eller insamling vid tunnelgolvet är ogynnsamma för betongens och eventuell armerings mekaniska och kemiska egenskaper. SKB planerar att tillämpa vatten-avledningssystem såsom tunneldukar, bergdränage och/eller dräner i grundläggningen (exempelvis SKB dokID 1245480 och SKB dokID 1604614).

1BMA

Projektet ”SFR 60 år” genomfördes i samband med den förlängda drifttiden för befintliga SFR och som en del av förberedelsearbetet för ansökan om att få bygga ut befintliga SFR. Projektet syftar till att säkerställa att kraven på driftsäkerhet och strålsäkerhet efter förslutning uppfylls. Inom projektet gjordes under våren 2010 en övergripande statusbestämning av samtliga betongkonstruktioner under mark i SFR1 (VRD 2010, 2011). Statusbestämningen utfördes systematiskt och låg också till grund för upprättandet av en uppdatering av instruktioner för byggnader och betongkonstruktioner under mark (se SKB dokID 1264335). Under åren 2010 till 2015 har SKB genomfört ett omfattande arbete i syfte att kartlägga statusen på betongkonstruktionen i 1BMA. Arbetet har omfattat såväl studier av dokumentation från uppförandet, platsstudier liksom laboratorieundersökningar av materialprover från betongkonstruktionen i 1BMA (SKB dokID 1440875).

Betongbarriärens egenskaper efter den relativt långa driften av slutförsanläggningen förväntas skilja sig från de teoretiska värden för en intakt betong som redovisas i Del III, avsnitt 4.3.2 om konstruktionernas utformning. Den hydrauliska konduktiviteten vid initialtillståndet bedöms av SKB kunna bli ca $8,3 \times 10^{-10}$ m/s, vilket även ansätts som värde i konsekvensberäkningarna i säkerhetsanalysen. Där ansätts även värden på den effektiva diffusiviteten till $3,5 \times 10^{-12}$ m²/s och betongens porositet till 0,11 (se tabell 4-1, 4-2 och 4-3 i SKB R-14-09 samt tabell 9-1 i SKB R-13-40). Dessa egenskaper motsvarar definitionen av en inledningsvis ”vattentät” barriärkonstruktion vid förslutning av SFR som uppges i gällande säkerhetsredovisning för befintliga SFR, SAR-08 (SKB R-08-130, kap. 4). Avsikten med dessa kvantifierade materialegenskaper är att representera en konstruktion där betongen är i bra skick, helt hydratiserad och opåverkad av degraderingsprocesser. Karbonatisering kan i viss omfattning förekomma under drifttiden men inläckage av grundvatten eller eventuella utläckage från avfallet ska inte ha påverkat konstruktionen på ett betydelsefullt sätt. Krympning på grund av uttorkning är tillåtet att ske och eventuella sprickor till följd av krympning anses kunna omhändertas genom reparation inför den slutliga förslutningen.

En del i statusbestämningen i samband med SFR 60 år bestod av en sprickkartering av betongplattan samt av betongväggarna i vissa delar av 1BMA (VRD, 2011; SKB dokID 1264335). En tidigare sprickkartering från 1987 är opublicerad (referens i SKB:s redovisning till SKB dokID 1466752). Sprickkarteringen visade att det förekommer genomgående sprickor i plattan och väggar. Sprickorna är i första hand associerade med gjutfogarna och härstammar från avsvalningsrörelser vid gjutning i kombination med krympning av betong, möjligtvis även till följd av vissa sättningar i grundläggningen pga. av avfallslasten eller långtidsdeformationer i grundläggningen. Genomgående sprickor i betongplattan har en apertur på upp till 2 mm i gjutfogarna och något mindre i betongväggarna. Övriga genomgående sprickor förekommer i mitten av gjutetapperna men har en något lägre sprickapertur på mellan 0,15 till 0,40 mm. Sprickorna förklaras med att krympning på betong vid en relativ fuktighet på ca 80%, kan uppstå med ca 0,2 mm/m men även med att differensstörningar pga. temperatur- och fuktdifferenser mellan olika delar av förvaret eller differentiella sättningar mellan olika delar av konstruktionen kan ha skett.

VRD (Vattenfall Research and Development) påpekar att endast vissa delar av betongkonstruktionen är sprickkarterat vilket medför en viss osäkerhet vid extrapolering av karteringsresultatet till hela betongbarriären i 1BMA. Eftersom armeringen i konstruktionen är otillräcklig för att motstå krympning förväntas alla sprickor orsakade av fenomenet vara genomgående för hela betongbarriären. Sprickorna har rapporterats av SKB till SSM som en brist i slutförvarets barriärfunktion som konstaterats under driften av anläggningen enligt krav i §4 SSMFS 2008:21 (se SKB dokID 1394873). SKB och SSM gjorde ett gemensamt syn av 1BMA för att observera de sprickor som har rapporterats (SSM2013-45-24).

SKB valde att upphöra deponeringen i 1BMA våren 2013 tills det har säkerställts att fortsatt deponering inte försvårar genomförande av korrigerande åtgärder, exempelvis reparationer av sprickor i väggar och bottenplatta (SKB dokID 1480977). Deponeringen återupptogs 2016 (SSM2015-2432-23), med beaktande av SSM:s villkor på att avfallet ska vara återtagbart (SSM2015-2432-18).

SKB har identifierat processer som uppstått under uppförandet eller pågår under driften av slutförvarsanläggningen och som kan påverka initialtillståndet för betongbarriärerna vid förslutning (SKB dokID 1440875). Dessa processer är:

- sprickbildning på grund av temperaturkrympning vid yttre tvång,
- korrosion av armeringsjärn och formsteg samt spjälkning av betongens täcksikt.

Omfattande sprickbildning i betongbarriären i 1BMA har observerats. Orsaksanalysen pekar på effekten av tvångkrafter under krympning redan vid uppförandet där vissa delar av konstruktionen inte tilläts deformeras samtidigt som härdningstemperaturen minskade med tiden. Resultatet sprickor i betongkonstruktionen är genomgående och lokaliserade till gjutfogar eller till mellan förstyrningsbalkarna i grundläggningen. Gjutfogarna i betongkonstruktionen blev ej försedda med någon extra armering eller fogband, och armeringen blev inte heller dimensionerad för att verka sprickapertursbegränsande.

I 1BMA har man kunnat konstatera betydande kloridinträngning liksom depassivering av stålkomponenter pga. otillräckliga uppsamlingsanordningar för bergdränage. Salthaltigt grundvatten har kunnat droppa och rinna på betongkonstruktionerna under lång tid med resulterande korrosionsangrepp på armeringsjärn och genomgående formsteg som följd. Situationen har förvärrats av luftfuktigheten i anläggningen till följd av kontinuerlig tillförsel av oavfuktad tilluft från markytan. Volymökningen av korrosionsprodukter från betongarmeringen i samband med, på vissa ställen, otillräckligt betongtäcksikt har lett till spjälkning och skador på betongytan (så kallad delaminering). Korrosionen av formstegen skulle kunna leda till att genomföringar mellan ut- och insida av betongkonstruktionen uppstår, vilket har modellerats konceptuellt i (SKB R-13-40, avsnitt 4.2.2). För att förhindra att bergdränagevatten fortsätter droppa på betongkonstruktionerna har en tunnelduk installerats av SKB under taket och mot väggarna i bergrum 1BMA vilket bidrar till torrare utrymmen och således mindre korrosionsangrepp på stålkomponenter i anläggningen (SKB dokID 1212968). Andra processer som urlakning av kalcium och andra kemiska komponenter, urlakning av CSH-geler (kalciumsilikathydrater), bildning av ettringit och thaumasit, och utfällning av brucit pågår enligt observationer så pass långsamt under driftskedet att en påverkan på betongbarriärernas egenskaper bedöms vara försumbar (SKB R-13-40).

Baserat på frekvens och vidd hos de observerade sprickorna kan den hydrauliska konduktiviteten för betongbarriären i det befintliga 1BMA härledas och uppskattas till

mellan $5,2 \cdot 10^{-5}$ och $1 \cdot 10^{-4}$ m/s för den västra bottenplattan samt ytterväggen respektive mellan $1,1 \cdot 10^{-4}$ och $2,2 \cdot 10^{-4}$ m/s för den östra bottenplattan samt ytterväggen (SKB R-13-40). Med utgångspunkt från de konstruktionsskador som uppmärksammades år 2000 kan diffusiviteten hos betongbarriären också uppskattas till ca $3,14 \cdot 10^{-12}$ m²/s för den västra bottenplattan och dess yttervägg, respektive ca $3,21 \cdot 10^{-12}$ m²/s för den östra bottenplattan och dess yttervägg (SKB docID 1430853). En uppskattning baserat på sprickarteringen genomförd år 2011 leder till ett snarlikt värde på $3,5 \cdot 10^{-12}$ m²/s (SKB R-13-40).

Reparationerna som SKB hänvisar till i sitt senaste förslag (SKB dokID 1577237) anses kunna leda till att betongbarriärerna i 1BMA erhåller materialegenskaper som motsvarar de värden som har ansatts i initialtillståndsrapporten (SKB TR-14-02, avsnitt 12.3.1). För analysen av strålsäkerhet efter förslutning ansätts värden på porositeten i betongen och även på de sprickor som bedöms kunna förekomma. Sprickor med en maximal sprickvidd om 0,1 mm tillåts i konstruktionsbetongen eftersom vedertagna reparationsmetoder sällan fyller sprickor med mindre sprickvidd. Porositeten ansätts till maximalt 15 % i konstruktionsbetongen. SKB antar att betongens porositet i barriären förblir opåverkad under driften fram till förslutning av slutförvarsdelen.

SKB är medvetna om de brister i betongbarriären i 1BMA som har redovisats ovan och man har därför tagit fram en serie utredningar samt förslag till åtgärder som ska kunna tillämpas på betongkonstruktionen inför slutligt förslutning av SFR så att de anmälda bristerna enligt §4 SSMFS 2008:21 utgår. Följande utredningar samt förslag till åtgärder har delgivits SSM delvis inom ramen för drifttillsynen av SFR1, delvis som kompletteringsdokumentation till ansökan enligt kärntekniklagen för utbyggnaden av SFR:

- Handlingsalternativ och åtgärder för 1BMA i SFR1 (SKB dokID 1440857)
- Aktuell status för 1BMA i SFR1 (SKB dokID 1440875)
- Krav och konstruktionsstyrande förutsättningar för 1BMA i SFR1 (SKB dokID 1440864)
- Analys av föreslagna åtgärder för 1BMA genom modellering av närzonshydrologi och radionuklidtransport (SKB dokID 1480977)
- Reparations- och förstärkningsåtgärder för 1BMA (SKB dokID 1467828)
- Fördjupad redovisning av förstärkningsmetod för betongkonstruktioner i 1BMA i SFR (SKB dokID 1534701)
- Uppdateringsbehov av säkerhetsredovisningen SFR med avseende på initialtillstånd för 1BMA (SKB dokID 1541029)
- Fristående säkerhetsgranskning av svar på SSM föreläggande SSM2015-2432-18 (SKB dokID 1544661).

Dessa utredningar har lett till utvecklingen av preliminära reparationsåtgärder (SKB dokID 1534701; SKB dokID 1577237), vilka kan komma att ändras beroende på utveckling av teknik för uppförande samt kvalitetskontroll av resultaten:

- Förstärkning av betongkonstruktionens ytterväggar med en utanpåliggande betonginstallation.
- En något kraftigare pågjutning på locket.
- Injektering av bottenbädden med cementbruk för att skapa ett fundament med låg hydraulisk konduktivitet och förmåga att ta upp laster.

SKB argumenterar (SKB dokID 1541029) att de planerade förstärkningsåtgärderna sammanfattningsvis innebär ett mindre avsteg från det initialtillstånd som antas i analysen av förvarets säkerhet efter förslutning (SKB dokID 1480977) och som därför inte behöver uppdateras. Ett pågående tillsynsärende hos SSM hanterar bristen i barriärkonstruktionen och dess konsekvenser för demonstration av den långsiktiga strålsäkerheten för denna slutförvarsdel (SSM2015-2432) med hänsyn till förutsättningarna för den fortsatta deponeringen av avfallet. SSM har även förelagt SKB (SSM2015-2432-26) att redovisa långsiktiga strålsäkerhetskonskvenser ifall bland annat befintliga skador i bottenplattan inte kan åtgärdas. SKB har inkommit med en redovisning där man analyserar konsekvenser av att dels inte utföra någon reparation, dels åtgärda väggar och tak men ej bottenplattan enligt (SKB dokID 1686798). I SSM:s bedömningar avseende tillståndet vid förslutning (Del III, avsnitt 4.3.4 i denna granskningsrapport) beaktas dessa resultat.

I frågan om betongkonstruktionens lastbärande förmåga med hänsyn till de konstruktionsstyrande fallen i säkerhetsanalysen SR-PSU har SSM begärt kompletteringar med avseende på:

- Utveckling av hållfasthetsegenskaper (tryck- och draghållfasthet) hos betongen i samt lastfallen för barriärkonstruktionerna för 1-2BMA (SSM2015-725-36),
- Krav som ställs på avfallskollin och kringgjutning i 1-2BMA om dessa ska kunna ha lastbärande funktion tillsammans med betongbarriären (SSM2015-725-46).

SKB har bemött den första kompletteringsbegäran med en redovisning av konstruktionsstyrande fall för betongbarriären samt degradering av betongegenskaper under 20 000 år efter förslutning (SKB dokID 1577237, SSM2015-725-61). Det tillkom exempelvis ett tryck från en vattenpelare på 85 m eftersom mäktigheten för återfyllnaden utökades till 6 m.

Kompletteringsbegäran om samverkan mellan betongbarriären, kringgjutning och avfallskollin ledde till ett ställningstagande från SKB om att kringgjutning av avfallskollin i 1BMA kan utelämnas ur lasthänseende. Genom att utrymmet mellan avfallskollin och väggar lämnas tomt, kommer inte heller inre laster såsom svälltryck överförs från avfallet till kassunväggarna (SKB dokID 1571075, SSM2015-725-57).

2BMA

SKB presenterar sina antaganden om egenskaper och tillstånd hos betongbarriären i 2BMA vid förslutning av SFR i säkerhetsanalys SR-PSU (SKB, 2015) samt initialtillståndsrapporten (SKB TR-14-02). SKB argumenterar för att hydraulisk konduktivitet, diffusivitet samt porositet, som är viktiga ingångsparametrar i beräkningarna i konsekvensanalysen, kommer att uppfylla de uppsatta kraven för säkerhet efter förslutning. Planer på löpande inspektioner och kontroller vid uppförande, deponering av avfallet samt förslutning kommer att vara på plats innan uppförande av konstruktionerna i 2BMA (SKB TR-14-02, avsnitt 5.3). SKB avser också sätta upp underhållsplaner samt åldringskontroller så att krav som återopas i säkerhetsanalysen SR-PSU eller dess senare uppdateringar kommer att kunna uppfyllas.

SKB meddelar att kringgjutning av avfallsbehållarna i 2BMA inte är nödvändigt ur mekanisk synpunkt, men möjligheten att kringgjuta bibehålls dock (SKB dokID 1571075, SSM2015-725-57). Genom att utrymmet mellan avfallskollin och väggar lämnas tomt, kommer inte heller inre laster överförs från avfallet till kassunväggarna (SKB dokID 1571075, SSM2015-725-57).

Silo

Silo är ett cylindriskt bergutrymme i vilket en fristående, platsgjuten betongcylinder har byggts. Spalten mellan betongcylindern och berget är fylld med bentonit. Initialtillståndet för bentonitbarriären i Silo beskrivs i Del III, avsnitt 4.4 i denna granskningsrapport. SKB presenterar sina antaganden om egenskaper och tillstånd hos betongbarriären i Silo vid förslutning av SFR i säkerhetsanalys SR-PSU (SKB, 2015) samt initialtillståndsrapporten (SKB TR-14-02, kapitel 7). Betongbarriären i Silo tillskrivs en kemisk och ett antal mekaniska funktioner. De kemiska funktionerna består i cementmaterialets goda sorptionsförmåga, som upprätthålls av alkaliska förhållanden i cementporvattnet, samt dess förmåga att upprätthålla fördelaktig vattenkemi, vilket det höga pH-förhållandet i cementet bidrar med genom att begränsa hastigheter för korrosion och mikrobiell degradering (SKB TR-14-02, avsnitt 7.2). Betongcylinderns mekaniska funktion är dimensionerad för att motstå ett svälltryck från bentonitbufferten på 500 kPa (SKB R-03-30). Fogningen som tillämpats har erforderliga gastransportegenskaper så att bildad gas från exempelvis korrosion i avfallet kan ledas ut så att tryckuppyggning undviks. Löpande inspektioner och kontroller utförs vid deponering av avfall och planeras även att utföras vid förslutning av Silo.

I säkerhetsanalysen SR-PSU antas att porositeten för Silos betong är densamma som för 1-2BMA. Samma antaganden görs även avseende omfattning av sprickor i betongen. SKB ansätter samma värden på hydraulisk konduktivitet ($8,3 \times 10^{-10}$ m/s) för betongen i Silo som för BMA-salarna. Man är dock tydlig med att det finns en osäkerhet kopplad till detta antagande eftersom befintligt tillstånd på betongen i Silo är okänd då endast delar av 1BMA har karterats i befintliga SFR (SKB TR-14-10, avsnitt 10.3 och 10.7). Osäkerheten har dock delvis hanterats i säkerhetsanalysen genom att anta olika nivåer av genomsläppligheten hos betongväggen i Silo, se Del III, avsnitt 6.4.3 i föreliggande granskningsrapport. Den mängd armeringsstål som har använts vid uppförandet av Silo motsvarar inte dagens standarder med avseenden på begränsning av sprickvidder (Boverket, 2004). Botten och de nedre delarna av Siloväggarna innehåller endast 30% respektive 70% av föreskriven minimal mängd armering (SKB TR-14-10, avsnitt 10.3).

1BRT

Betongbarriärkonstruktionen i BRT består av en lång sammanhängande armerad betongkonstruktion som förses med tvärgående mellanväggar som stabiliserar ytterväggarna samt ett pågjutet lock (SKB dokID 1604614). Betongbarriären tilldelas en mekanisk och en kemisk funktion efter förslutning. Betongbarriären i 1BRT tillskrivs ingen flödebegränsande barriärfunktion, även om konstruktionsmaterialet i sig kommer att begränsa vattenflödet i förvarsutrymmet. Den funktionen kravställs inte med en säkerhetsfunktion för 1BRT i SR-PSU (SKB dokID 1604998). Den kemiska funktionen består av att konstruktionsmaterialet betong upprätthåller höga, alkaliska pH-förhållanden i porvattnet vilken begränsar korrosionsomfattningen av stål och bidrar till god sorptionsförmåga för de flesta radioaktiva ämnen (SKB Erratablad 2017-04). Betongbarriärkonstruktionen i BRT kommer att skyddas från grundvattenpåverkan med en takliknande tunnelduk samt en bottenbädd för dränering mot tvärtunnel 2TT (SKB dokID 1604614).

1-2BTF

1-2BTF är två bergssalar utformade för förvaring av avvattnade jonbytmassor i betongtankar. Förvarsdelarnas initialtillstånd beskrivs i (SKB TR-14-02, kapitel 6). Salarna är ca 15 m breda, 9,5 m höga och 160 m långa. Väggar och tak är täckta med sprutbetong och betonggolven är gjutna på en dräneringsgrund som omges av en 1 m hög betongsarg längs med väggen. Medan det i 2BTF endast deponeras betongtankar placeras det i 1BTF, utöver betongtankarna, även fat med aska från förbränning vid Studsvik

Nuclear AB liksom även ett reaktortanklock. SKB illustrerar placering av betongtankarna i respektive förvarsdela i (SKB, 2015, figurer 4-11 och 4-12).

I och med att avfallskollin (fat med aska) i 1BTF kringgjuts allteftersom de deponeras innebär det att skicket på kollina inte kan kontrolleras i efterhand. SKB bedömer att avfallsbehållare av stål sannolikt kommer att börja korrodera redan under driftskedet och utesluter inte att små sprickor kan komma att bildas i betongtankar och kokiller under driftskedet eller även initialt efter slutlig förslutning.

Kringgjutna betongtankar utgör en flödesbarriär i säkerhetsanalysen SR-PSU. För att begränsa advektiv transport tillämpar SKB säkerhetsfunktionsindikatorn hydraulisk kontrast för 1-2BTF. En stor kontrast medför att vattenflödet från betongkonstruktionerna avleds till de mer genomsläppliga kringliggande återfyllnadsmaterialen, som i första hand installeras ovanpå betongkonstruktionerna. Säkerhetsfunktionen god retention upprätthålls i förvarsdelarna genom att höga pH upprätthålls av betongbarriärerna. Betongbarriärerna tillskrivs även förmåga att upprätthålla fördelaktiga redoxförhållanden. SR-PSU beaktar retention genom kvantifiering av sorption på betongbarriärer och på cementbaserade material i kollina. Sorption beskrivs mer utförligt i Del III, avsnitt 6.2 i denna granskningsrapport.

SKB beskriver att den mekaniska stabiliteten långsiktigt upprätthålls genom kringgjutningsbruket mellan avfallsbehållarna, kringgjutningsbruket mellan avfallet och bergväggen, samt makademet som placeras ovanpå betongkonstruktionen. Makadamvikten är tänkt att bäras upp av en betongplatta som gjuts ovanpå de prefabricerade betongelementen i förvarsdelarna.

I (SKB TR-14-10, avsnitt 10.3) anger SKB att det inte går att utesluta sprickförekomst i BTF-salarna och att inspektion och uppskattning av omfattningen på sprickor i betongkonstruktionen behöver utföras för att få underlag till en mer rigorös bedömning betongens vattengenomsläpplighet.

Remissinstansers synpunkter

Östhammars kommun

Remissinstansen anser (SSM2015-1640-33) att SKB bör inkludera ett resonemang om vad den förlängda drifttiden kan innebära för konsekvenser för den långsiktiga säkerheten.”

SSM:s beaktande av remissynpunkten

SSM konstaterar att de befintliga betongkonstruktionerna har ett betydande antal genomgående sprickor, och här avses i första hand 1BMA, i jämförelse med de sprickfria egenskaper hos betongbarriärerna som ansätts i initialtillståndet, vilket ska reflektera slutförvarets tillstånd vid förslutning i säkerhetsanalysen SR-PSU. Sprickorna har betongen har uppkommit under uppförande och drift, där korrosion av armeringsjärn som följd av reaktion med inträngande grundvatten som innehåller klorid är en process under driften som kan ge upphov till sprickbildning i betongbarriären.

SSM anser att det finns en viss brist kring SKB:s hantering av osäkerheter associerade med betongkonstruktioner i initialtillståndet eftersom de inte explicit beaktas inom ramen för SKB:s val av scenarier eller relaterade beräkningsfall. Betongkonstruktionernas befintliga status, i synnerhet för 1BMA, i befintliga SFR motiverar en utförligare analys och diskussion i kommande säkerhetsredovisningar.

SSM konstaterar dock att säkerhetsanalysen SR-PSU innehåller ett scenario/beräkningsfall som förutsätter en accelererad degradering av betongbarriärerna. Den maximala årliga dosen för detta scenario är 15.8 $\mu\text{Sv}/\text{år}$ (SKB dokID 1585173, tabell 3-1) vilket överstiger den dos (14 $\mu\text{Sv}/\text{år}$) som motsvarar riskkriteriet på $1 \cdot 10^{-6}$ (SSMFS 2008:37). Detta indikerar att de långsiktiga strålsäkerhetskONSEKVENSerna givet ett initialtillstånd som är jämförbart med befintligt skick på 1BMA med markant försämrat flödesmotstånd jämfört med det initialtillstånd som ansätts i huvudscenariot är relativt små. Och då måste det beaktas att det försämrade initialtillståndet, och accelererade degraderingsförlopp, som ger upphov till nämnda dos antas gälla för samtliga betongbarriärer i SFR, både befintlig del och planerad utbyggnad.

En utförligare bedömning av betongkonstruktionernas tillstånd vid förslutning återges nedan. Hela detta kapitel innefattar SSM:s bedömningar av det initialtillstånd som beskrivs i SR-PSU för SFR med planerad utbyggnad.

SSM:s bedömning

SSM bedömer att SKB:s beskrivning (SKB, 2015; SKB R-13-40) av urlakning av kalcium från betongen är välmotiverad och lämplig. Karbonatisering i cement är av betydelse för dess påverkan på pH. Ett lägre pH kan leda till armeringskorrosion i samband med hög fuktighet och tillförsel av syre. Det bör noteras att processen har en större påverkan på armeringen där betongtäckskicket är tunnare. Urlakning av portlandit under anläggningens driftperiod bedöms inte vara av sådan omfattning att den kan leda till utarmning och därefter omfattande upplösning av CSH-geler. Därför kan bildning av svällande ettringit med efterföljande effekter på betongens mekaniska egenskaper med största sannolikhet uteslutas under driftskedet.

SKB har explicit inte tagit hänsyn till kalcit eller brucit i beskrivningen av degraderingsprocesserna som sker i betongkonstruktionerna innan och efter förslutning av slutförvaret men det är sannolikt att dessa mineraler har fällts ut när grundvattnet kommit i kontakt med andra betongkomponenter i slutförvaret (SSM 2017:28, del 3) såsom injekteringscement i bergsprickorna och sprutbetongen i tunnelväggarna. Utfällningar av kalcit och brucit i grundvatten med hög halt av koldioxid eller högt pH har dock en tendens att täppa till porerna i betongkonstruktionerna och kan därför betraktas som gynnsamt för konstruktionerna. SSM har av detta skäl inga invändningar kring SKB:s val att inte beakta kalcit- och brucitutfällningar.

Bakterier, arkéer och svampar bildar kolonier i form av biofilmer på metaller. I syrerika miljöer bildas biofilmer som förvandlar intilliggande metallytan (stål) till anoder som sedan korroderas genom att konsumera syre. Energin hämtas ur organiskt material, järn och svavel eller sulfid, och ger upphov till svavelsyra som korroderar under biofilmen. Även kapillärtransport av sulfat till armeringsjärn kan orsaka korrosion. SKB nämner inte förekomsten av sulfat- eller sulfidkorrosion i befintliga SFR (VRD, 2010, SSM2013-45-13). Grundvattnet vid befintliga SFR kan ha en sulfatkoncentration på upp till ca 600 mg/L (SKB R-13-16, tabeller 4.1 och 4.2; SKR R-13-40). Portlandcement kan också ta skada av uppkomsten av svavelsyra genom att kalciumhydroxid ersätts med gips eller ettringit som expanderar och kan orsaka sprickbildning i närliggande betong eller betongballast. De höga pH-förhållandena som förväntas även medföra låg mikrobiell aktivitet i betongens porvatten. Av detta skäl bedöms omfattningen av korrosion och betongdegradering på grund av sulfater och sulfider vara begränsad i förhållande till kloridangrepp. Det vattenavledningssystem som SKB planerar bedöms vara ändamålsenligt.

1BMA

SSM anser att det saknas en tydlig motivering till ansatt sprickapertur för betongbarriären i initialtillståndet med en maximal sprickvidd på 0,1 mm i initialtillståndsrapporten (SKB TR-14-02). Myndigheten noterar dock att det finns en kommentar i (SKB R-13-40) som påpekar att fogning sällan åtgärdar sprickor med vidder mindre än 0,1 mm. SSM konstaterar att sprickvidden ensam inte är tillräcklig för att säkerställa vilken vattengenomsläpplighet betongen initialt har, den påverkas även av sprickfrekvensen och sprickavståndet.

Den befintliga bottenplattan i 1BMA är dimensionerad för att klara av trycket på 14,8 mvp, tillgodoräknat mottrycket från avfallet. Den injekterade bottenbädden i 1BMA måste bli tillräckligt tät för att förhindra att vatten kan ledas genom sprickor eller svaga och otäta zoner så att vattentrycket kan nå bottenplattans undersida och skada den. Tillräcklig vidhäftning måste uppnås mellan bottenplattan och den injekterade stenbädden. Utöver detta krävs att vidhäftningen mellan den underliggande berggrunden och den injekterade stenbädden är minst 0,85 MPa för att funktionen ska kunna säkerställas (SKB dokID 1577237). De av SKB föreslagna metoderna för reparation med injektering under betongplattan i 1BMA (SKB dokID 1544661) bygger på etablerade tekniker och erfarenheter. Dock, beskriver SKB, så är resultatet beroende av den befintliga stenbäddens renhet (SKB dokID 1544661). SSM anser att det finns osäkerheter kopplade till genomförbarheten av en heltäckande injektering och huruvida SKB kan kvalitetssäkra resultatet. SSM bedömer vidare att det som följd av detta finns en risk för att möjliga defekter som kan uppstå under själva injekteringen i stenbädden kan leda till skador efter förslutning under framför allt vattenmättnadsfasen då grundvattentrycket byggs upp.

SKB har även visat att en icke-framgångsrik injektering av stenbädden kan leda till ett ökat vattenflöde genom avfallet om den hydrauliska kontrasten mellan den injekterade stenbädden och underliggande berggrunden är för liten, dvs. för en vattengenomsläpplighet i stenbädden på ca 1×10^{-7} m/s som troligen erhålls från reparationen (Figur 5-4, SKB dokID 1480977). SSM bedömer därför att de reparationer som kommer att kunna genomföras i 1BMA vid tidpunkten för förslutning av slutförvaret har genomförbarhets- och kvalitetssäkringsbrister som pekar på att dessa inte är ändamålsenliga med avseende på säkerheten efter förslutning. Som en följd av detta har SSM inom ramen för drifts-tillsyn av befintliga SFR förelagt SKB att redovisa långsiktiga konsekvenser om de omfattande reparationsåtgärder som SKB föreslår ej utförs och bottenplattans skick vid förslutning motsvarar dess befintliga status (SSM2015-2432-26).

Baserat på sprickstorlek och sprickornas omfattning i betongbarriären i 1BMA har SKB uppskattat vattengenomsläppligheten i konstruktionens befintliga skick till omkring 10^{-4} - 10^{-5} m/s beroende på vilken del av förvarsdelen som avses (SKB dokID 1430853). Detta värde motsvarar en sprickvidd på 0,5 mm med sprickfrekvensen en spricka per meter, eller en sprickvidd på 1 mm och sprickfrekvensen en spricka var 10:de meter (SKB R-13-40, figur 6-1). Detta värde är jämförbart med det värde på hydraulisk konduktivitet (10^{-5} m/s) som SKB har antagit för samtliga betongbarriärer i SFR i det mindre sannolika scenariot med accelererad betongdegradering (SKB TR-14-09, tabell 4-7). Den maximala årliga dosen för detta scenario är 15,8 μ Sv/år (SKB dokID 1585173, tabell 3-1) vilket överskrider den dos (14 μ Sv/år) som motsvarar riskkriteriet på $1 \cdot 10^{-6}$ (SSMFS 2008:37). Detta indikerar att de långsiktiga strålsäkerhetskonsekvenserna givet ett initialtillstånd som är jämförbart med befintligt skick på 1BMA med markant försämrat flödesmotstånd jämfört med det initialtillstånd som ansatts i huvudscenariot är relativt små. Och då måste det beaktas att det försämrade initialtillståndet, och accelererade degraderingsförlopp, som ger upphov till nämnda dos antas gälla för samtliga betongbarriärer i SFR, både befintlig

del och planerad utbyggnad. För att tydligare analysera de långsiktiga strålsäkerhetskonsekvenser givet 1BMA:s befintliga skick har SSM, inom ramen för drifttillsyn, förelagt SKB (SSM2015-2432-26) att redovisa detta. Underlaget (SKB dokID 1697595) illustrerar de konsekvenser som skulle erhållas om inga reparationsåtgärder genomförs för 1BMA (SKB dokID 1697595, tabell 4-2) alternativt om mindre omfattande reparationer utförs för väggar och tak före slutlig förslutning medan betonggolvet lämnas oåtgärdat (SKB dokID 1697595, tabell 4-4). Från modelleringsperspektiv innebär det att för fallet med ett oreparerat 1BMA så antas betongens egenskaper representeras av de parametervärden för hydraulisk konduktivitet, diffusivitet och porositet som ansätts i scenariot med accelererad betongdegradering. För fallet med ett delvis reparerat 1BMA antas betonggolvet tillstånd kunna representeras av dessa parametrar medan väggar och tak har antagits vara intaktare (SKB dokID 1697595, tabell 4-3). Även en riskanalys har utförts i vilken dessa två alternativa initialtillstånd för 1BMA har ersatt förvarsdelens initialtillstånd i 1BMA och beaktats inom ramen för samtliga beräkningsfall i SR-PSU. Denna visar på att förvarets tålighet kan hantera ett försämrat initialtillstånd på 1BMA där endast mindre omfattande reparationer genomförs för väggar och tak, givet att de antaganden avseende betongens hydrauliska egenskaper och deras utveckling efter förslutning är acceptabla. Ärendet hanteras framgent inom ramen för ordinarie drifttillsyn samt utifrån SSM:s förhållningssätt avseende tillsynsfrågor vid tillståndsprövning (SSM 18-2660) inom ramen för myndighetens ordinarie tillsyn av befintlig anläggning.

Effekten av korroderande formsteg kan uppskattas på olika sätt. Om de bildade korrosionsprodukterna inte transporteras bort är risken för radiell sprickbildning mer betydande (SKB R-13-40, avsnitt 6.11) medan om produkterna transporteras bort så blir den miljö som omger formstagen mer porös och vattengenomsläppligheten i betongväggen ökar på så sätt i stället (SKB R-13-40, avsnitt 6.7; figur 6-3). Givet den korrosionshastighet som antas uppskattar SKB att ingen av dessa processer medför en påverkan på betongväggens effektiva hydrauliska konduktivitet som överskrider effekten av de befintliga sprickorna som finns i 1BMA (SKB dokID SKB dokID 1697595, avsnitt 3.1.3). SSM bedömer att dessa resonemang är rimliga. Utförligare bedömningar avseende konceptualiseringen av dessa antaganden i modelleringen av betongen utförs i Del III, avsnitt 4.3.2 i den här granskningsrapporten.

SKB har genomfört provtagningar samt ECP-mätningar (elektrokemisk potentialmätning) och har konstaterat att armeringskorrosion orsakad av inkommande klorid i grundvattnet förekommer i 1BMA. För kloridkoncentrationer högre än 0,6% av betongvikten kan depassivering av armeringen inträffa (Sandberg, 1999). Alternerande cykler av torra och mättade förhållanden kan även accelerera korrosionsprocesserna (Ahlström, 2015). SSM konstaterar att SKB har tagit hänsyn till konsekvenser av armerings- och formstagskorrosionen i anläggningen genom att föreslå åtgärder i form av reparationer samt förstärkning av betongkonstruktionen i 1BMA (SKB dokID 1577237).

Beträffande betongens diffusivitet bedömer SSM att, även med beaktande av förhöjda värden hos betongbarriären på grund av sprickbildning och andra processer under driften, den faktiska diffusiviteten vid initialtillståndet inte bör skilja sig nämnvärt från det värde som SKB antagit i analysen för den långsiktiga strålsäkerheten SR-PSU. Samma bedömning gäller för den faktiska porositeten jämfört med ansatt porositet i säkerhetsanalysen.

Baserat på resonemangen ovan bedömer SSM på en övergripande nivå att den uppkomna situationen med befintliga sprickor i 1BMA är hanterbar sett ur ett långsiktigt strålsäkerhetsperspektiv. Frågan handläggs och granskas i mer detalj inom ramen för

myndighetens driftstillsyn i enlighet med myndighetens förhållningssätt till tillsynsfrågor i samband med tillståndsprovning av en anläggning i drift (SSM 18-2660).

2BMA

SSM bedömer att SKB har förutsättningar att uppföra 2BMA med barriärfunktioner motsvarande de som ansätts i säkerhetsanalysen. SSM vill dock påpeka vikten med att sätta upp erforderliga kvalitets- och kontrollprogram som följer tillverkningen och utvecklingen av betongbarriären fram till förslutning så att åldersrelaterade processer samt andra förändringar som kan påverka konstruktionen (t.ex. differentiella sättningar, sprickbildning pga. gjutningen, betongdegradering, händelser under driften och vid förslutning) har kartlagts i förväg och kan upptäckas innan anläggningen försluts.

Silo

SSM bedömer att SKB:s antagna initialtillstånd avseende betongbarriären i Silo är behäftad med vissa osäkerheter. Dessa kopplar främst till ovissheten rörande sprickstatus i betongen i förvardsdelen, vilket även SKB lyfter fram i (SKB TR-14-10). Denna ovisshet anser myndigheten kopplar främst till eventuell otillräcklig armering som möjligen skulle kunna leda till oförutsedd sprickbildning. SKB:s ansatta värde på i första hand den hydrauliska konduktiviteten i Silos initialtillstånd blir därmed behäftad men en osäkerhet. SKB bedöms dock hantera utvecklingen av betongbarriären i Silo konservativt där man redan efter 500 år uppskattar att vattengenomsläppligheten i betongen är mellan 1×10^{-6} m/s och 2×10^{-5} m/s.

1BRT

SSM bedömer att SKB har förutsättningar att uppföra 1BRT med erforderliga barriärfunktioner motsvarande de som ansätts i säkerhetsanalysen. Erforderliga kvalitets- och kontrollprogram som följer tillverkningen och utvecklingen av betongbarriären fram till förslutning så att åldersrelaterade processer samt andra förändringar som kan påverka konstruktionen (tex. differentiella sättningar, betongdegradering, händelser under driften och vid förslutning) har kartlagts i förväg, kan upptäckas innan anläggningen försluts och kan återställas om det så krävs för att uppfylla föreskriftkraven för den långsiktiga strålsäkerheten.

SKB antar i radionuklidtransportberäkningarna och i konsekvensanalysen att den lägsta vattengenomsläppligheten som krävs under de första 1000 åren efter förslutning vid tidpunkten för utsläppen är 1×10^{-7} m/s (tabell 4-6, SKB TR-14-09). Detta värde inrymmer dock endast en begränsad sprickbildning i betongkonstruktionen under perioden. Enligt SKB:s underlag (SKB R-13-40, figur 6-1) motsvarar en hydraulisk konduktivitet på 1×10^{-7} m/s en konstruktion med genomgående sprickor med vidd på ca 0,1 mm som förekommer var tionde meter eller med vidd på 0,02 mm som förekommer varje 0,1 m, samt värden däremellan. SKB bör inför kommande steg analysera huruvida krav på begränsad sprickbildning ska införas för betongkonstruktionen i 1BRT och i så fall vilka kvalitets- och statusbestämningskontroller som skulle behövas för att ett sådant förhållandevis lågt värde för hydraulisk konduktivitet som ansätts i säkerhetsanalysen ska kunna uppnås i 1BRT vid förslutning och 1000 år efter den.

1-2BTF

SSM bedömer att SKB:s antagna initialtillstånd avseende betongbarriären i 1-2BTF är behäftad med vissa osäkerheter. Dessa kopplar främst till ovissheten rörande sprickstatus i betongen i förvardsdelen liksom till osäkerheter kopplade till konstruktionens lastbärande förmåga. Betonggolven är dimensionerade för ett ytryck på 80 kN/m² (SKB dokID 1533186, 4.0), samtidigt som avfallskollinas vikt ger upphov till ett ytryck på 105 kN/m² (SKB dokID 1336074, v. 2.0, avsnitt 3.1.2). Eftersom golven dessutom kommer att

belastas av kringgjutning (och så småningom även återfyllnaden av förvarsdelen) innebär detta att sprickor redan skulle kunna förekomma i golvet. SSM anser att SKB bör utföra dimensionerings- eller kravställande åtgärder mot genomgående sprickbildning i de betongkonstruktioner som innehar en barriär- eller säkerhetsfunktion. Frågor om vilka krav som ställs på avfallet följs för närvarande i ett särskilt ärende inom ramen för drifttillsynen av SFR (SSM2012-4914).

4.3.5 Hydraulisk kontrast

Beskrivning av SKB:s underlag

För att upprätthålla säkerhetsfunktionen ”lågt flöde i slutförvaret” tillämpar SKB säkerhetsindikatorn hydraulisk kontrast mellan betong- eller kringgjutningsbarriären och återfyllnaden (SKB, 2015, avsnitt 7.4.6). SKB definierar hydraulisk kontrast som kvoten mellan hydraulisk konduktivitet i betongkonstruktionen i 1-2BMA, eller kringgjutningsbruket i 1-2BTF, och hydraulisk konduktivitet i grundläggningen och återfyllnaden i bergsalarna (SKB, 2015, avsnitt 6.3.8). Enligt SKB:s definition är en säkerhetsfunktionsindikator en mätbar eller beräkningsbar egenskap hos en förvarskomponent som används för att indikera i vilken utsträckning en säkerhetsfunktion upprätthålls (SKB, 2015, kapitel 5). Den hydrauliska kontrasten vid initialtillståndet beror på barriärernas hydrauliska konduktivitet vid förslutning. Betongkonstruktionens, kringgjutningsbrukets och återfyllnadens vattengenomsläpplighet skulle kunna förändras från installation fram till förslutning genom exempelvis degraderingsprocesser, armeringskorrosion samt utfällning av mineraler. SKB gör dock antagandet att ingen av dessa processer sker och fortskrider i sådan omfattning under driften av SFR så att konduktiviteten hos grundläggningen och återfyllnaden påverkas nämnvärt. För detaljerad beskrivning av återfyllnadens hydrauliska egenskaper hänvisas till Del III, avsnitt 4.6.2, Förslutning efter avslutad drift.

Med anledning av beroendet av den hydrauliska kontrasten på geometrin samt hydraulisk konduktivitet i barriärerna har SSM begärt svar från SKB om följande frågor:

- Redovisning för definitionen av hydraulisk kontrast mellan den hydrauliska konduktiviteten för återfyllnadsmaterialet och den för barriärkonstruktionerna i 1-2BMA, (SSM2015-725-36).
- Redovisning av hur långtidsutvecklingen av återfyllnaden och makadam under barriärkonstruktionen påverkar säkerhetsfunktionen hydraulisk kontrast samt dess osäkerheter. (SSM2015-725-36).

Som svar på komplettering inkom SKB med följande kompletteringar till ansökan:

- SKB dokID 1578211, 2017. Säkerhetsfunktionsindikatorn hydraulisk kontrast och BMA-salarnas hydrauliska funktion, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB dokID 1568423, 2017. Långtidsutveckling av materialegenskaper för grundläggning och återfyllnad i 1-2BMA. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB dokID 1577237, 2017. Hållfasthetsegenskaper hos betongkonstruktionerna i 1-2BMA under de första 20 000 åren efter förslutning. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB dokID 1564134, 2017. Vattenflöde genom 2BMA – känslighet för parametrering av bergets egenskaper. Svensk Kärnbränslehantering AB.

Det totala vattenflödet genom slutförvaret efter förslutning beror, utöver de hydrauliska randvillkoren, i första hand på bergutrymmenas geometri samt barriärernas geometri och hydrauliska konduktivitet (SKB R-14-14). Givet en viss geometri är bergmassans hydrauliska konduktivitet mest avgörande för vattenflödet. För tillräckligt genomsläppliga grundläggningar och återfyllnader i 1-2BMA och 1-2BTF påverkas inte vattenflödet avsevärt av den lokala hydrauliska konduktiviteten. Detta innebär att det totala vattenflödet genom slutförvaret efter förslutning kan antas vara oberoende av utvecklingen av betongkonstruktioner, kringgjutningsbruk, grundläggningar eller återfyllnader i bergsalarna (SKB dokID 1578211). Däremot fördelas vattenflödet genom slutförvaret i ett flöde genom betongkonstruktioner och/eller kringgjutningsbruk och ett flöde genom grundläggningar och/eller återfyllnader beroende på den hydrauliska kontrasten, vilket enligt SKB sker oavsett flödesriktningen (SKB dokID 1578211). För grundläggningen och återfyllnaden antar SKB att den hydrauliska konduktiviteten på lång sikt är näst intill oförändrad. I huvudscenariot antas därför hydraulisk konduktivitet för makadam i grundläggningen i 1-2BMA och återfyllnaden vara konstant (1×10^{-3} m/s) under hela analysperioden (SKB dokID 1568423, avsnitt 4.2.2).

För 1BRT åberopar SKB ingen barriärfunktion för begränsning av grundvattenflöde genom avfallet i förvardsdelen även om betongkonstruktioner och återfyllnadsmaterial liknar utformningen med hydraulisk bur i 1BMA (SKB dokID 1604998). För tiden mellan 1000 år och 10 000 år använder SKB en hydraulisk konduktivitet på 1×10^{-5} m/s (SKB TR-14-09, tabell 4-1 och 4-6) för huvudscenariot med globaluppvärmning samt för beräkningsfallet gällande tidpunkten för utsläppen. För samma tidsperiod antar SKB sämre egenskaper för betongkonstruktionen i 1BRT för scenariot med accelererad betongdegradering och en hydraulisk konduktivitet på 1×10^{-3} m/s (SKB TR-14-09, tabell 4-7).

SSM:s bedömning

SSM bedömer att användningen av den hydrauliska kontrasten som säkerhetsindikator för säkerhetsfunktionen hos den hydrauliska buren är godtagbar som formulerat i säkerhetsanalysen SR-PSU. På detta sätt slås säkerhetsfunktionerna hos två komponenter i slutförvarssystemet, återfyllnaden och betongbarriärkonstruktionen, ihop till en enda storhet. Kopplingen till modelleringen i säkerhetsanalysen blir dock inte helt tydlig eftersom värden på hydraulisk konduktivitet snarare än hydraulisk kontrast används direkt som ingångsparametrar i konsekvensberäkningarna (se t.ex. SKB TR-14-09, kapitel 4).

Den hydrauliska kontrasten går inte direkt att mäta och säkerhetsindikatorn ska samtidigt karaktärisera utvecklingen hos två olika slutförvarskomponenter med barriärfunktion efter förslutning. SKB hävdar att syftet med säkerhetsfunktionsindikatorn hydraulisk kontrast inte är att ge krav och konstruktionsförutsättningar för barriärerna vid initialtillståndet. SSM anser att SKB:s antagande att den hydrauliska konduktiviteten hos grundläggningar och/eller återfyllnader inte förändras avsevärt från installationen tills lång tid efter förslutningen ska kunna verifieras under driften av SFR genom dedikerade kontroller.

Att förbise utvecklingen av den hydrauliska konduktiviteten i de genomsläppliga delarna av den hydrauliska buren, innan och efter förslutningen, kan leda till en missbedömning av den hydrauliska kontrasten. Därför anser SSM att SKB i kontrollprogram för SFR bör inkludera kvalitets- och acceptanskontroller vid installation, samt kontroller innan förslutningen av egenskaper som kopplar till den hydrauliska konduktiviteten (t.ex. kompakteringsgrad, vattengenomsläpplighet) i grundläggningar och/eller återfyllnader som utgör en barriär för radionuklidutsläpp.

Ur perspektivet kvalitets- och acceptanskontroll vid installation och tillverkning (se inspektionsavsnitt för 1-2BMA i SKB TR-14-02, avsnitt 4.3 och 5.3) är det inte fördelaktigt med en enda säkerhetsfunktionsindikator för två slutförvarskomponenter, dvs betongbarriärer och återfyllnader. Dessa komponenter kommer dessutom att förändras under utvecklingen av slutförvaret efter förslutning på grund av förhållanden, händelser och processer som uppstår i återfyllnaden och betongen i barriärkonstruktionen. SKB har dock indikerat att valet av säkerhetsfunktionsindikatorer kan ses över inför en kommande PSAR (SKB dokID 1578211) och att ett möjligt alternativ är att använda separata indikatorer för återfyllnaden och betongkonstruktionerna samt fortfarande behålla kontrasten i analysen av strålsäkerhet efter förslutning.

Vidare förklarar SKB (SKB dokID 1578211) att den hydrauliska burens förmåga att avleda vattenflödet från betongkonstruktionerna som innehåller avfallet beror på mäktigheten hos den omgivande genomsläppliga makadamåterfyllnaden som omger betongkonstruktionerna.

SSM anser att SKB bör formulera ett kriterium som ska vara uppfyllt för att kunna acceptera eventuella behövliga framtida förändringar av återfyllnadens geometri i 1-2BMA samt 1-2BRT, givet att man avser att fortsätta att tillämpa hydraulisk kontrast som en säkerhetsfunktionsindikator för säkerhetsfunktionen ”lågt flöde i slutförvaret”. Mot bakgrund av den påverkan som en ingjutning av det dränerande lagret under golvet har för att upprätthålla den hydrauliska kontrasten (vilket diskuteras ovan) ställer sig SSM tveksamma till den föreslagna strategin. Denna fråga utreds närmare inom ett ärende kopplat till myndighetens driftstillsyn av 1BMA (SSM2015-2432).

Även om funktionen med en hydraulisk bur inte åberopas för förvarsdelen 1BRT väljer SKB ändå materialparametrarna för huvudscenariot med global uppvärmning så att en viss hydraulisk kontrast uppstår mellan betongkonstruktionerna och omgivande återfyllnaden av bergsalen för tiden fram till 10 000 år efter förslutning. SSM anser att SKB inför kommande steg bör utföra kompletterande beräkningar som uppskattar bärigheten hos betongkonstruktionerna med degraderade materialegenskaper motsvarande de som konstruktionerna antas ha i referensutvecklingen vid tiden 10 000 år efter förslutning. Syftet med sådana beräkningar skulle vara att stärka antagandet att den mekaniska funktionen hos konstruktionerna kommer att upprätthållas under hela analysperioden för tiden efter förslutningen och således motivera en hydraulisk konduktivitet på minst 1×10^{-5} m/s, vilket enligt säkerhetsanalysen motsvarar en allvarligt degraderad betongkonstruktion. Efter 10 000 år samt för scenariot med accelererad betongdegradering antar SKB att genomsläppligheten hos betongkonstruktionen är lika med den hos återfyllnaden, vilket innebär att effekten av den hydrauliska burens upphör.

4.4 Lerbarriärer

Beskrivning av SKB:s underlag

De lerbaserade barriärerna i SFR (i huvudsak i förvarsdelen Silo) är antingen ren bentonit eller bentonitblandad med krossat berg eller sand. Bentonit är ett lermaterial som främst innehåller mineralet montmorillonit och som har egenskapen att ett relativt högt svälltryck kan bildas under vattenmättade förhållanden. Dessutom kan en mycket låg hydraulisk konduktivitet uppnås. Bentonit har också en hög sorptionsförmåga för de flesta radionuklider i slutförvaret. Sorption av radionuklider på bentonit beskrivs och bedöms i Del III, avsnitt 6.7.1 i denna granskningsrapport. Dessa egenskaper gör det möjligt att använda bentonit som en effektiv teknisk barriär i olika slutförvarssystem för att förhindra och fördröja utsläpp av radioaktiva ämnen från slutförvaret. Syftet med lerbarriärerna i SFR-

anläggningen är att begränsa vattenflödet genom förvarsdelarna och det deponerade avfallet samt fördröja uttransport av radionuklider från förvaret genom bl.a. sorption (SKB, 2015).

SKB redovisar initialtillståndet för SFR i SKB TR-14-02 samt i SKB dokID 1358612.

Både i den befintliga delen av SFR och i den del som planeras att byggas ut används bentonit i de olika förvarsutrymmena.

I Silo är spalten mellan betongcylindern och berget fylld med bentonit från Milos (Grekland) som är omvandlad från sin ursprungliga Ca-form till Na-form genom sodabehandling (SKB TR-14-02, avsnitt 7.1). Grynig bentonit (kornstorlek mellan 0,1 och 20 mm) installerades genom att hällas på plats (SKB TR-14-10, kapitel 7). Bentonitens tjocklek och höjd i spalten är 0,9 m respektive 51,2 m (SKB TR-14-02, tabell 7-3). Torrdensiteten är omkring 1000 kg/m^3 och varierar från botten till toppen i spalten. Porositeten är ca 60 %. Densiteten kommer att bli ca 1600 kg/m^3 när bentoniten blir helt vattenmättad (SKB R-03-30).

I Silo är betongcylindersbotten gjuten på en bottenbädd som utgörs av 10 % bentonit och 90 % sand och har en porositet på 25 % (SKB TR-14-09, avsnitt 4.1.1). Förväntad hydraulisk konduktivitet hos en 10/90 bentonitblandning är $< 10^{-9} \text{ m/s}$, där den lägsta konduktiviteten uppskattas till 10^{-10} m/s med hänsyn till förhållandena som kommer att råda i SFR (SKB SFR 85-08). I säkerhetsanalysen med beräkningen av vattenflödet genom Silo ansätts ett värde på 10^{-9} m/s för blandningen (SKB TR-13-08, tabell 3-3). Vid förslutning av anläggningen kommer Silo att skyddas genom att en betongplatta läggs ovanpå en blandning av bentonit och sand som i sin tur läggs ovanpå en annan betongplatta försedd med genomgående gasventileringsrör. Ett tunt skikt av sand läggs mellan denna betongplatta och avfallet.

Följande krav ställs på buffertmaterialen i Silo för att de under lång tid ska fungera som lågpermeabla tätskärmar med i huvudsak duktila egenskaper och förmåga till självläkning (SKB Arbetsrapport SFR 85-08):

- Vattengenomströmningen ska vara obetydlig med en hydraulisk konduktivitet mindre än 10^{-9} m/s
- Gas som bildas vid metallkorrosion ska kunna avledas så att uppkomsten av lokala gasblåsor med mycket högt tryck förhindras. Permanenta, vida passager av gas ska inte heller förekomma
- Homogeniteten hos de inpackade massorna ska vara hög
- Buffertmaterialens ursprungliga egenskaper ska bevaras under lång tid
- Trycket från buffertmassan och grundvattnet i berget får inte ge upphov till oacceptabla deformationer hos betongkonstruktionen.

Vid förslutning av anläggningen kommer även tre pluggsektioner att installeras kring Silo: nedre siloplugg (NSP), övre siloplugg (ÖSP) och silotakplugg (STP) för att försluta Silo. Pluggarna utgörs av hydrauliskt täta sektioner som fixeras med mekaniska mothåll. De hydrauliskt täta sektionerna utgörs av bentonit och det mekaniska mothållet erhålls med betongpluggar (SKB TR-14-02, avsnitt 11.1).

Totalt kommer fem pluggsektioner att uppföras vid slutlig förslutning av anläggningen. Dessa kommer att finnas i tvärtunneln i den befintliga delen av SFR (1TT), i den första bergsalen för betongtankar i den befintliga delen av SFR (1BTF), i bergsalstunneln i den

befintliga delen av SFR (1BST), i tvärtunneln i den planerade utbyggda delen av SFR (2TT), samt i bergsalstunneln i den planerade utbyggda delen av SFR (2BST) (se figur 1-4 i SKB TR-14-02). Samtliga pluggar består av en hydraulisk tät sektion av bentonit och mekaniskt mothåll för att hålla dem på plats. I de flesta positioner planeras betongpluggar för mekaniskt mothåll. I sektionerna intill den befintliga bergsalstunneln 1BST, där geometrin och den lokala geologin gör det svårt att bygga betongpluggar, planeras användning av jorddammspluggar, vilka inte kräver lokalt mekaniskt stöd från bergväggarna (SKB, 2015, avsnitt 4.3.8). I en jorddammsplugg utgörs det mekaniska mothållet av återfyllnadsmaterial av makadam och övergångsmaterial av 30/70 bentonit/krossat berg. De hydrauliskt täta sektionerna fylls med bentonit som i de andra pluggsektionerna (SKB dokID 1358612, avsnitt 4.2.1).

Borrhål från preliminära platsundersökningar och borrhål som korsar eller ligger mycket nära den underjordiska anläggningen av befintliga SFR har förslutits eller kommer att förslutas innan den planerade utbyggnaden av SFR påbörjas. Resterande borrhål kommer att förslutas efter det att driften av hela SFR har avslutats. Där berget har låg hydraulisk konduktivitet måste även borrhålsförslutningen ha låg hydraulisk konduktivitet och kraftigt kompakterad bentonit kommer därför att användas. Där berget har hög hydraulisk konduktivitet (sprickor och deformationszoner), har krav endast definierats för mekanisk stabilitet. Då kan i stället cementstabiliserade pluggar gjutas (SKB, 2015, avsnitt 4.3.8).

Gällande pluggar till bergsalarna och Silo antas följande konstruktionsförutsättningar gälla (SKB dokID 1358612, avsnitt 4.1):

- Pluggarnas resistans är $> 2 \cdot 10^9$ s. Resistansen erhålls genom $R=d/K$, där d är tjockleken (m) på pluggen och K är den hydrauliska konduktiviteten (m/s).
- Pluggarna placeras i båda ändarna av bergsalarna och i alla tunnlar som ansluter till Silo.

Egenskaperna hos bentoniten i de hydrauliskt täta sektionerna listas nedan:

- Installerad meddensitet (torrdensitet för block och pellets) ≈ 1400 kg/m³
- Förväntad hydraulisk konduktivitet $\approx 10^{-12}$ - 10^{-13} m/s (SKB TR-06-30)
- Förväntat svälltryck ≈ 2 - 4 MPa
- Vattenkvot vid installation ≈ 16 - 19 %

För att uppnå torrdensiteten ovan bedöms bentonitfyllnaden behöva utgöras av ca 60 % bentonitblock (SKB R-09-52). Kriteriet för meddensiteten enligt med ovan föreslagen andel block uppfylls om densiteten för blocken är ca 1700 kg/m³ och bulkdensitet för pellets ca 900 kg/m³. Även andra fördelningar mellan block och pellets samt annan densitet för block respektive pellets kan tillämpas för att erhålla samma meddensitet (SKB dokID 1358612, avsnitt 4.9.4).

Utförning av övergångsmaterial i jorddammspluggar innefattar följande egenskaper (SKB dokID 1358612, avsnitt 4.9.3):

- 30 % viktandelar bentonit
- 70 % viktandelar krossat berg
- Installerad (packad) torrdensitet 1600 - 1800 kg/m³
- Vattenkvot vid installation 12 - 13 %

Förväntad hydraulisk konduktivitet hos bentonitblandning (30/70, bentonit/sand) är lägre än 10^{-9} m/s (SKB IPR-99-23).

De bentonitkomponenter som kan utgöra delar av borrhålsförslutningen kan vara bentonit i rör ("basic type") i form av diskar av kompakterad bentonit som fylls i perforerade kopparrör, eller bentonit på stång ("Couronne Concept") i form av kompakterade bentonitdiskar med centriskt hål upphängda på kopparstång. Båda typerna av komponenter installeras där borrhålet avses få samma eller lägre hydraulisk konduktivitet som omgivande berg (SKB dokID 1358612, avsnitt 4.9.5).

De sektioner som ska återfyllas med bentonit är mer känsliga för vatteninflöden och då i synnerhet större punktinflöden. Detta kan orsaka praktiska problem vid installation av de täta sektionerna vilket i förlängningen kan leda till att initialtillståndet inte kan uppnås. Fenomenet kallas för kanalbildningserosion. SKB anser att de största vattenflödena i sprängda tunnlar i regel är relaterade till sulan. Vattnet flödar både på sulan och i det uppspruckna berget. Påverkan på återfyllningsprocessen beror på flera faktorer; omfattning av sprickor i skadezonen, bentonitens utformning (t.ex. pellets eller block) samt återfyllningstakt. SKB redogör för uppskattade vatteninflöden till tunnelsystem vid planerade lägen av pluggar för befintligt SFR och planerad utbyggd del av SFR (SKB dokID 1358612, tabell 4.1). Baserat på uppmätning av vatteninflöden som funktion av tiden i det befintliga SFR, i Äspölaboratoriet och i andra underjordiska anläggningar, anser SKB att dessa vatteninflöden förmodligen kommer att minska under tiden fram till förslutning (SKB dokID 1358612, avsnitt 4.1.2 och 4.2.3).

I vissa tunnlar som har högre vatteninflöden, såsom 1BST och 2BST, kan installation av den hydrauliskt täta sektionen av bentonit vara utmanande. SKB planerar att injektera de områden som har högt vatteninflöde innan återfyllningsprocessen påbörjas. Då krävs kartläggning av inflöden sektionvis samt lokalisering av punktinflöden i dessa tunnlar. Dessutom kommer SKB att ta ut skadade zoner i berget runt den tätande sektionen med skonsamma metoder för att minimera sprängskadezonen vid tunnelbyggnaden i den planerade utbyggda delen av SFR. Dessa åtgärder har dock inte vidtagits vid berguttaget i den befintliga delen av SFR (SKB dokID 1358612, avsnitt 4.1.2 och 4.1.3).

SSM:s bedömning

SSM bedömer att SKB:s redovisning av initialtillståndet för de förvarsutrymmen och förvarskomponenter där bentonit används, antingen som ren bentonit eller med olika blandningar med krossat berg respektive sand är ändamålsenlig. SSM anser att säkerhetsfunktioner för dessa förvarsutrymmen eller förvarskomponenter har tagits fram med hänsyn till den sammanvägda långsiktiga strålsäkerheten för hela förvarssystemet.

SSM bedömer att angivna hydrauliska konduktiviteter hos olika bentonitkomponenter, som även konservativt har ansatts för motsvarande bentonitkomponenter i säkerhetsanalysen (SKB TR-13-08, tabell 3-3), är rimliga. De bedöms kunna uppnås för de specificerade referensutformningarna av respektive förvarsutrymmen som innefattar bentonit i något avseende. SSM:s bedömning baseras i stor utsträckning på bedömningar gjorda i SSM:s tidigare granskning av liknande frågor för återfyllnaden och pluggarnas tätningssektioner i deponeringstunnlarna i slutförvaret för använt kärnbränsle (SSM 2018:07, avsnitt 3.5.6 och 3.5.10). Det visas tydligt i SKB:s utredning av egenskaperna hos bentonit från världens olika bentonitlagringar att en hydraulisk konduktivitet på 10^{-12} - 10^{-13} m/s kan uppnås för de flesta bentonitmaterialen med en torrdensitet på 1400 kg/m^3 (SKB TR-06-30). SSM anser dock att SKB så tidigt som möjligt behöver fastställa vilket eller vilka bentonitmaterial som kommer att användas, ta fram specifikationer för

materialens egenskaper samt ta fram en plan för kvalitetskontroll i samband med uppförande och installation.

SSM instämmer med SKB att installation av bentonit i hydrauliskt täta sektioner i vissa tunnelssträckor med höga vatteninflöden kan vara utmanande. SSM anser att de av SKB planerade åtgärdsmetoderna, som att injektera sprickor med höga vattenflöden samt att tillämpa skonsamma metoder för berggutttag vid tunnelbyggnad för att minimera förekomst av skadezon, bör kunna underlätta bentonitinstallation i dessa tunnelområden. En mera detaljerad diskussion om installation av bentonitmaterial återfinns SSM:s granskning av SKB:s säkerhetsredovisning i samband med ansökan för tillstånd för slutförvaret för använt kärnbränsle (SSM 2018:07, avsnitt 3.2.6). SSM ser positivt på att SKB planerar fortsatt arbete med teknikutveckling avseende detta. Med hänsyn till det generellt sett högre vatteninflödet i olika förvarutrymmen i SFR (både befintligt SFR och i den planerade utbyggnaden) jämfört med det i slutförvaret för använt kärnbränsle, anser SSM att SKB så tidigt som rimligt möjligt behöver påbörja demonstration av installation av bentonit i de hydrauliskt täta sektionerna i förvarsmiljön, dvs. med beaktande av både vattenflöde och punktvatteninflöde.

4.5 Berg och bergutrymmen

I detta avsnitt bedömer SSM SKB:s redovisning av förutsättningarna för att bergsalarnas design och dimensioner kan ge förutsättning för att initialtillståndet kan uppfyllas.

Beskrivning av SKB:s underlag

Den befintliga anläggningen har varit i drift sedan 1988 och den planerade utbyggnaden uppskattas kunna tas i rutinemässig drift år 2030 (Fud 2016). Både den nuvarande anläggningen och dess utbyggnad ingår i analysen av den långsiktiga strålsäkerheten efter förslutning. Huvuddelen av avfallet som deponeras i befintlig anläggning kommer från driften av de svenska kärnkraftverken. Avfallet deponeras i fyra bergtrum (1BMA, 1BLA, 1-2BTF) på ca 60 meters djup i berggrunden samt i en silo (Silo) vars kupol och botten ligger på ca -64 m respektive -133 m (RHB 70) ner i berggrunden. Den största tvärsnittsarean för de befintliga bergtrummen är ca 320 m² och längden varierar upp till ca 160 m. Bergutrymmet för Silo har en diameter om 30 m och höjd om 69 m. Två tunnlar, 1DT för drift respektive 1BT för uppförandet av befintlig anläggning, löper från Asphällan till försvarsnivå med en lutning på ca 10% med en längd och tvärsnitt om 1000 m och 64 m² respektive 1200 m och 48 m². Bergtrummens orientering i längsled är N30E (SKB R-13-53).

Baserat på den platsbeskrivande modellen SDM-PSU (SKB TR-11-04) har SKB tagit fram dimensioneringsriktlinjer och parametrar för att ta fram Layouten 1.5 och 2.0 till ansökan för utbyggnad av SFR (se SKB R-14-17):

- Bergtrum 2BMA med tvärsnitt upp till ca 330 m² och längd ca 275 m,
- Bergtrummen 2-5BLA med tvärsnitt upp till ca 246 m² och längd ca 275 m
- Bergtrum 1BRT med tvärsnitt upp till ca 190 m² och längd ca 255 m (SKB dokID 1604614).

Layout 1.5 och 2.0 skiljer sig huvudsakligen åt genom att de två utformningarna har olika dimensioner för BRT och 2BMA. Layout 1.5 utgör underlag till analysen av strålsäkerheten efter förslutning. Övriga delar av SKB:s ansökan för utbyggnaden av SFR baseras på Layout 2.0 (SKB, 2015, avsnitt 4.3). Målsättningen för dimensionering av utbyggnaden är att:

- Utbyggnaden ska ligga så när den befintlig anläggning som möjligt,
- Orienteringen av bergrummen för utbyggnaden ska vara den samma som för befintlig anläggning (N30E),
- Utbyggnaden ska ligga djupare än -120 m med avseende på bergssalarnas tak (RHB 70),
- Bergpelarna mellan utbyggnadens bergrum i ska ha minsta möjliga bredd (dvs. utbyggnaden ska ha minsta möjliga anläggningsyta),
- Dimensioneringen ska ta hänsyn till risken för vattenförande sprickor.

Vid projekteringen av utbyggnaden avser SKB att använda den europeiska standarden för byggande, Eurocode, och i synnerhet standarden för geoteknisk design, avsnitt 2.7 i Eurokod SS-EN 1997-1:2005. Baserat på tillämpningsdokument IEG (2010) klassificerar SKB bergtunnlarna enligt de geotekniska klasserna GK2 och GK3 (SKB R-14-17). Eurokoden för geoteknisk dimensionering omfattar även flera dimensioneringsmetoder som kan tillämpas för anläggningens design, bl.a. vedertagna metoder samt observationsmetoden. SKB bedömer att dimensionering av den utbyggda anläggningen huvudsakligen kan genomföras med vedertagna metoder (t.ex. dimensionering genom kvalitetssystem Q, RQD och RMR och bärighet- samt förstärkningsklasser) samt att berguttaget sker i enlighet med geoteknisk klass GK2 (för vilken det finns bra kunskap och erfarenheter från uppförande av liknande konstruktioner). Endast arbeten i anslutning till befintlig anläggning (samt den uteblivna passagen genom Singölinjen med transporttunneln för reaktortankarna 1RTT) kommer sannolikt att klassas som GK3, där särskild hänsyn måste tas till riskerna för den fortsatta driften. För dimensionering av geotekniska konstruktioner i klass GK3 samt för genomförande av inventeringsarbeten avser SKB tillämpa observationsmetoden, utgående från följande principer (SKB-R 14-17, avsnitt 2.1):

- Variationen av möjliga beteenden för konstruktionen ska förutsägas,
- Gränsvärden för acceptabla företeelser måste bestämmas
- Ett monitoringsprogram ska tas fram, vilket ska verifiera att faktiskt beteende faller inom acceptabla gränsvärden
- Utvärderingen av monitoringsprogrammets resultat, kontrollberäkningar samt bestämelse av de nödvändiga åtgärderna måste vara tillräckligt snabb jämfört med systemets möjliga utveckling
- En plan för att åtgärda avvikande beteenden ska tas fram om monitoreringen visar att utfallet hamnar utanför uppsatta gränsvärden.

Ett monitoringsprogram krävs inte bara för de anläggningsdelar där observationsmetoden ska tillämpas vid dimensionering och genomförande men även för att kontinuerligt monitorera utvecklingen och förändringarna i närområdet för slutförvaret. SKB framhåller att monitoringsaktiviteter som potentiellt kan störa säkerhetsfunktionerna kommer uteslutas (SKB 14-07, tabell 5-1).

För den utbyggda anläggningen planerar SKB att tillämpa huvudsakligen liknande schaktningsmetoder, injekteringsmetoder, förstärkningsmetoder samt monitoringsmetoder som tillämpas för den befintliga anläggningen, med förbehåll att den aktuella bästa praxis som finns tillgänglig för de olika metoderna vid tidpunkten för utförandearbeten ska tillämpas. SKB definierar fyra förväntade berggrunds-beteenden (GB1 till GB4) som kan kopplas till de förekommande berggrundstyperna (GT1 till GT4) samt olika lokala faktorer som påverkar berggrunds-beteendet. Beroende på lokala geohydrologiska förhållanden har även tre injekteringsklasser identifierats (GRT1 till GRT3) som kommer

att tillämpas beroende på utfallet för vatteninflöde i tunnlarna. Fyra olika förstärkningsklasser har också identifierats baserat på bl.a. erfarenheterna vid uppförande av befintlig anläggning (SKB R-14-17, kapitel 5). SKB förväntar sig kunna tillämpa de fyra förstärkningsklasserna, vilka består av systembultning (ST1), systembultning med fiberarmerad sprutbetong i tunnlarna (ST2) eller i bergrummen (STC) samt, nästan uteslutande för Singölinjen, tunga förstärkningar med stålågar med eller utan golvvalv och sprutbetong (ST3).

SKB har modellerat den befintliga anläggningens bergmekaniska beteende: Silo (Stille m.fl., 1985; Stille och Fredriksson, 1988; Björk och Malmström, 2004); 1BMA och 1BLA samt bergpelaren mellan valven (SKB R-13-53).

Kompletteringen (SKB DokID 1580501) redovisar ändringen i utformning av utbyggnaden av SFR jämfört med redovisningen i SR-PSU med anledning av utebliven deponering av hela reaktortankar. Förändringen av anläggningsutformning innebär främst att reaktortransporttunnel (1RTT) utgår. Segmenteringen innebär även mindre ändringar av dimensionerna för BRT (SKB dokID 1580501, avsnitt 3.3). Vidare förlängs BRT i kompletteringen med anledning av redovisning av teknisk barriär vid övergång till segmenterade reaktortankar från 240 till 255 m (SKB dokID 1604614).

SSM:s bedömning

SSM bedömer sammanfattningsvis att SKB har förutsättningar att uppföra den planerade utbyggnaden så att initialtillståndet för berg och bergutrymmen kan uppfyllas. Denna bedömning stöds av SKB:s kontrollprogram för driftskedet av den befintliga anläggningen som årligen redovisas till SSM (se t.ex. SKB dokID 1675025; SKB dokID 1585432). SSM:s bedömning baseras även på de beräkningar, baserade på platsspecifika data, som SKB utfört vilka bl.a. visar att silokupolen är stabil i sitt nuvarande skick (SSM2016-4222-12). SKB:s redovisning indikerar att bergsalarna 1BMA och 1BLA samt pelaren mellan salarna är stabil för dagens bergförhållanden även om den stabiliserande effekten av bergförstärkningen bortses (SKB R-13-53). SSM noterar att SKB inte använt in-situ deformationsmätningar från den befintliga anläggningen till att kalibrera stabilitetsanalyserna som rapporterats i SKB-R-13-53 (SSM 2016:12 del III, avsnitt 2,1,2; SSM 2017:31 del I, avsnitt 2.2). Sådana data samlas rutinmässigt in vid uppförandet av exempelvis tunnlarna. SKB borde därför ha tillgång till mätdata att kalibrera och validera den numeriska modellen som använts i SKB R-13-53. SSM bedömer att en sådan validering ökar tilltron till den numeriska modellens lämplighet att analysera den långsiktiga stabiliteten av bergsalarna.

SSM bedömer att SKB:s metodik för anpassning av layouten för den utbyggda delen till de lokala förhållandena i den planerade förvarsvolymen är tillräckligt tillförlitlig i detta steg av SKB:s program. Bergsalarna är orienterade N30E, parallellt med den regionala riktningen för grundvattenflödet, därmed kommer bergsalarnas minsta tvärsnittarea vara riktad mot flödet. Den befintliga anläggningens bergsalar har samma orientering och deras stabilitet påvisar utbyggnadens genomförbarhet. Den valda orienteringen är nästan vinkelrätt mot huvudriktningen för den största bergspänningen vilket medför att spänningarna som verkar på tvärsnitten i den utbyggda SFR är något högre än om bergsalarna var orienterade i annan riktning. Bergsalarnas orientering leder dock även till högre horisontella spänningar mot bergsalarnas väggar, vilket skapar gynnsamma tryckförhållanden i bergsalarnas tak och golv. Riktningen N30E är, enligt resultaten av den platsbeskrivande modellen (SDM-PSU), även fördelaktig för att bergsalarna ska kunna korsa de branta och mest vattenförande WNW strykande sprickorna med rät vinkel. Riktningen ger även förutsättningar till att färre av de vattenförande NE-SW strykande sprickorna med brant stupning korsas av bergsalarna. En ortogonal skärning mellan

bergsalarnas längdaxel och de mest vattenförande sprickorna förenklar även tättnings- och injekteringsarbetet.

SKB har inte genomfört några studier för att kvantifiera förekomsten av skadezonen till följd av uttaget av berg. Förekomst av bergskadezon utesluts inte av SKB som föreslår rensning av bergväggarna med skonsamma metoder i samband med uppförande av pluggarna för förslutning av anläggningen (SKB, 2015, avs. 4.6.4). En skadezon med djup på mindre än 30 cm förväntas förekomma, vilken lokalt behövas avlägsnas för att undvika att vattenflödet går förbi pluggarnas täta bentonitsektioner. SSM bedömer att SKB:s hantering av bergskadezonen är rimlig.

SSM:s egna studier (SSM Rapport 2017:31 del 1) visar att berguttaget leder till en ökning av berggrundens hydrauliska konduktivitet. Denna ökning är högst närmast bergsalarna och kan härledas till motsvarande ökning av bergsprickornas apertur. Ökningen av sprickapertur kommer att fortsätta tiden efter förslutningen med markant ökning efter en nedisning. SSM har i en komplettering till SKB begärt förtydliganden bl.a. gällande ökningen av berggrundens hydrauliska konduktivitet med tiden samt betydelsen av denna ökning med avseende på vattenflödet genom bergsalarna (SSM2015-725-45, punkt 4). I SKB:s svar framgår att SKB bedömer att en ökning av den hydrauliska konduktiviteten runt bergsalarna har marginell påverkan på vattenflödet genom bergsalarna. SKB motiverar svaret med att storleken på vattenflödet genom bergsalarna styrs av vattenflödet genom det opåverkade berget utanför zonen närmast bergsalarna. SSM delar denna uppfattning. SSM bedömer dock att för bergpelaren mellan bergsalarna bör SKB i nästa steg i sitt program utvärdera om en ökad hydraulisk konduktivitet i pelaren mellan bergsalarna har någon strålsäkerhetsmässig betydelse.

SSM anser att SKB:s val att den utbyggda delen av SFR ska ligga så nära som möjligt befintligt SFR bör tydliggöras med avseende på eventuell påverkan på den befintliga anläggningen, dels under drift dels den långsiktiga strålsäkerheten efter förslutningen. Med hänsyn tagen till transmissivitetens utveckling i bergpelarna, särskilt för BLA salarna som inte avses återfyllas, efterfrågar SSM ytterligare motivering till kravet på att bergpelare mellan bergrum ska ha minimal bredd samt att anläggningsyta ska vara minsta möjliga. Detta med hänsyn till strålsäkerheten efter förslutning och optimering av anläggningens utformning inför mera detaljerade layouter för den utbyggda anläggningen som kommer att tas fram i den fortsatta processen för etablering av en utbyggnad av SFR. Ytterligare diskussioner om bergpelarna när det gäller den långsiktiga utvecklingen av strålsäkerheten förs i avsnitt 5.5 och kapitel 7 i denna del av granskningsrapporten.

Enligt SKB kommer ett monitoringsprogram (s.k. kontrollprogram, se t.ex. SKB Dok 1261627) anpassat till den valda layouten för utbyggnaden av SFR att tas fram (SKB R-14-17, avsnitt 6.5). Med de erfarenheter som SKB har samlat under uppförande och drift av befintlig anläggning bedömer SSM att SKB har förutsättning att uppfylla krav kopplade till slutförvarets tålighet mot förhållanden, händelser och processer som kan påverka barriärernas funktioner efter förslutning (§5 SSMFS 2008:21). I säkerhetsanalysen SR-PSU framgår det att SKB avser att ta fram ett preliminärt monitoringsprogram under projektering av utbyggnaden (SKB, 2015, avsnitt 4.1). Detta ser SSM positivt på då det möjliggör att kontrollernas omfattning samt tillräcklighet med hänsyn till kraven på kärntekniska anläggningar kan säkerställas (5 kap §3 SSMFS 2008:1; §4 SSMFS 2008:21). SSM anser att SKB bör se till att erforderlig monitoring av geosfären påbörjas innan utbyggnaden uppförs. Insamlingen av platspecifika data innan uppförandet är nödvändig för att etablera geosfärens bakgrundsvärden, vilka ligger till grund för utvärderingen av berguttaget och driftens påverkan på geosfären. Avvikelse från

bakgrundsvärdena kan vara av betydelse för utvärdering av initialtillståndet inför förslutning och för analysen av den långsiktiga strålsäkerheten efter förslutningen.

SSM bedömer att bortfallet av reaktortransporttunnel 1RTT samt mindre ändringar i layouten för 1BRT inte kommer att medföra negativa konsekvenser för den bergtekniska stabiliteten av utbyggt SFR.

SSM:s externa expert bedömer att bergutfall kan, i mindre utsträckning, förekomma vid vissa sprickstrukturer i berget om bergförstärkningen inte finns eller har degraderats (SSM Rapport 2017:31 del 1). Med detta som stöd bedömer SSM att bergspänningskoncentrationer och eventuell spjälkning i berget kring bergutrymmena kan förekomma men kan betraktas som ett lokalt fenomen som kan åtgärdas med selektiv förstärkning i form av bultning och/eller sprutbetong. Bergförstärkningen tillgodoses ej som en barriär i SFR och fyller inte heller någon roll som säkerhetsfunktion för förvarets långsiktiga strålsäkerhet (SKB, 2015, tabell 5-3.). Laster från fallna bergblock är dock ett av de konstruktionsstyrande lastfallen för betongbarriärerna i 1-2BMA, Silo och 1BRT (SKB TR-14-02). Även för övriga bergutrymmen har bergförstärkningar och bergkonstruktioner ingen barriär- eller säkerhetsfunktion för förvarets långsiktiga strålsäkerhet. Eventuella selektiva bergförstärkningar och bergkonstruktioner har dock en funktion för utbyggnadens driftsäkerhet under dess tekniska livslängd. Detta medför att ett program för kvalitetssäkring av installerade konstruktioner samt kontroller och underhåll måste tillämpas för att följa upp bergförstärkningarnas status och driftsäkerhet fram till förslutning så att eventuella bergutfall eller degraderad bergförstärkning såsom sprutbetong ersätts och inte faller på de installerade barriärerna. Då detta redan tillämpas för den befintliga anläggningen bedömer SSM att SKB har förutsättningar att ett liknande förfarande kan implementeras för utbyggnaden.

4.6 Förslutningen

Förslutning av SFR innefattar insatser för att försegla alla delar i undermarksanläggningen genom återfyllning, pluggning, toppförslutning och borrhålsförslutning, enligt en på förhand till SSM uppgiven förslutningsplan. Förslutningen av undermarksanläggningen sker först när ett beslut har fattats att stänga SFR. Genom att försluta den underjordiska anläggningen försvåras, och därigenom minskar risken för, oavsiktliga mänskliga intrång i förvaret. En annan viktig funktion förslutningen fyller är att agera mekaniskt stöd till omgivande berg, begränsa vattenflödet genom bergsalarna och silon samt att förhindra en kortslutning av bergsalar och nedfarttunnlar vilket kan utgöra en snabb radionuklidtransportväg upp till markytan. SSM bedömer i detta avsnitt SKB:s redovisade preliminära förslutningsplan av anläggningens undermarksutrymmen.

SKB:s förslutningsplan behandlar både kringgjutning av avfall och förslutning efter att driftskedet är avslutat. Kringgjutningen av avfall sker antingen succesivt under drift eller efter avslutad drift innan förslutningen. Kringgjutningen under drift samt övrigt tillslutning av förvarsutrymmen under drifttiden benämner SKB för driftförslutning. Avsnittet är uppdelat i två delar, kringgjutning av avfall och förslutning efter avslutad drift. En bedömning av barriärfunktion och långsiktig utveckling för förslutningskomponenterna betong och bentonit ges i del III avsnitt 4.3 och 4.4, 5.3 och 5.4 respektive 6.3 och 6.4 samt del III kapitel 7.

SKB redovisar en konceptuell utformning av kringgjutning av avfall och förslutningen av SFR (SKB dokID 1358612) vilket är en vidareutveckling av den tidigare planen för förslutning (SKB dokID 1240154) som gavs som svar på SSM:s föreläggande om plan för

förslutning av befintligt SFR (SSM, 2009). En sammanfattning av förslutningsplanen ges i huvudrapporten för SR-PSU (SKB, 2015, avsnitt 4.3). Där uppger SKB att en slutgiltig och detaljerad förslutningsplan kommer att tas fram i god tid innan förslutningen av anläggningen ska inledas. SKB avser även att fördjupa kunskapen kring material, konstruktion och installation inför PSAR (Fud-program 2016, avsnitt 10.8.2).

4.6.1 Kringgjutning av avfall

Beskrivning av SKB:s underlag

I förslutningsplanen antar SKB att kringgjutningen av avfall är genomförd innan förslutningen inleds. SKB lämnar dock öppet för att kringgjutningen även kan ske i ett senare skede, parallellt med förslutningen om så visar sig vara det bästa förfarandet. Ett sådant tillvägagångssätt innebär bl.a. att avfallskollinas/behållarnas tillstånd innan förslutningen kan kontrolleras. SKB ger en översiktlig beskrivning av kringgjutning av avfall och dess genomförande (SKB dokID 1358612, avsnitt 3.2).

SKB har inom ramen för ansökansberedningen utifrån SSM:s begäran av kompletteringar och svar avseende ansökan om utbyggnad av slutförvaret för kortlivat radioaktivt avfall (SSM2015-725) inlämnat följande kompletterande information:

- SKB dokID 1548610. Motivering av vald utformning för 2-5BLA. Bilaga SFR-U K:5 till SKB dokID 1550443. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB dokID 1569813. Vidareutvecklad utformning av förvarsutrymmet 2BMA i utbyggd del av SFR. Bilaga SFR-U K:13 till SKB dokID 1590441, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB dokID 1571075. Komplettering av ansökan om utökad verksamhet vid SFR - avfallskollin och kringgjutning i 1BMA och 2BMA. Bilaga till SKB dokID 1590907. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB dokID 1577237. Hållfasthetsegenskaper hos betongkonstruktionerna i 1-2BMA under de första 20 000 åren efter förslutning. Bilaga till SKB dokID 1572176. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB dokID 1604614. Redovisning av teknisk barriär vid övergång till segmenterade reaktortankar. Bilaga till SKB dokID 1604998. Svensk Kärnbränslehantering AB.

Kringgjutningen av avfallskollin syftar till att stärka anläggningens driftsäkerhet och långsiktiga strålsäkerhet (SKB dokID 1358612, avsnitt 3.1). Gällande den långsiktiga strålsäkerheten har kringgjutningen hydrauliska, mekaniska och kemiska barriärfunktioner (SKB, 2015, tabell 5. 2). Kringgjutningen har även en funktion att bidra till att begränsa den mikrobiella aktiviteten och medge borttransport av gas som en följd av mikrobiell nedbrytning av organiskt material, radiolys och metallkorrosion. SKB förutsätter vidare att kringgjutningen inte försämrar övriga förvarskomponenters funktion att bidra till att säkerställa säkerhetsprincipen *fördröjning av uttransport av radionuklider*. För att kringgjutningens olika funktioner ska kunna uppfyllas i den utbyggda delen avser SKB att innan förslutningen projekteras ta fram en detaljerad kravspecifikation avseende kvantitativa och kvalitativa materialkrav samt krav på den tekniska genomförbarheten.

Kringgjutning under drift sker för Silo och för deponerade askfat i 1BTF. SKB avser även att kringgjuta avfallet i BRT, vilket ska ske antingen succesivt under drift eller vid förslutningen (SKB dokID 1604614). I en komplettering gällande utformningen av 2BMA uppger SKB att kringgjutning av avfallsbehållarna inte är nödvändigt ur mekanisk aspekt,

men möjligheten att kringgjuta bibehålls (SKB dokID 1569813). Driftförslutning av 1-2BMA, 1-2BTF och BRT omfattar även placeringen av prefabricerade betongelement över deponerat avfall i betongkonstruktionen (SKB dokID 1358612, SKB dokID 1577237, SKB dokID 1604614). 2BTF ska kringgjutna efter avslutad drift. Det bitumeningjutna avfallets svällande egenskaper avser SKB ta hänsyn till genom att för 1BMA se till att det finns tillräckligt med expansionsutrymme. Vidare avser SKB utveckla nytt kringgjutningsbruk för 1BMA samt utreda konsekvensen av att kringgjuta bitumeningjutna avfall. Likaså ska utrymmet mot berg, betongtankarna och betongkokiller i 1-2BTF kringgjutna efter driften. Utrymmet mellan berget och betongtankar i 1-2BTF kommer att förberedas innan kringgjutningen efter avslutad drift genom att exempelvis stenuvmattor installeras mot bergväggen. Stenuvmattan syftar till att öka den hydrauliska kontrasten runt avfallet samt att minska påverkan på avfallet av rörelser i det omkringliggande berget. Vidare avser SKB för 1-2BTF placera 400 mm tjocka strålskärmande prefabricerade betongelement ovanpå avfallskollin (SKB dokID 1358612, avsnitt 3.1). Problemet med svällande avfall föreligger inte i 2BMA eftersom inget bitumeningjutet avfall avses deponeras där (SKB 2015, tabell 4-1). I kompletteringen vidareutvecklad utformning av förvarsutrymmet 2BMA i utbyggd del av SFR (SKB dokID 1569813) uppger dock SKB att 2BMA:s nya utformning med innerväggar i betongkonstruktionen medför utrymme för eventuell svällande avfall, vilket orsakas av korrosion och återmättnad av jonbytmassor. Det expansionsutrymme som finns i Silo för det bitumeningjutna avfallet är möjligen inte tillräckligt för att Silons inre betongkonstruktion ska vara opåverkad av expansionen. SKB menar dock att den yttre betongkonstruktionen inte kommer att påverkas av avfallspaketets volymförändring (SKB, 2015, avsnitt 6.3.7). Gällande BTF bedömer SKB att hålrumsvolymer är tillräckliga för att ackommodera potentiellt svällande avfall.

SSM har begärt kompletteringar för 1-2BMA gällande bl.a. kringgjutningens bidrag till den mekaniska stabiliteten efter förslutningen samt hur olika processer i densamma påverkar den långsiktiga strålsäkerheten efter förslutningen (kompletteringsbegäran SSM2015-725-46)¹⁷. Med anledning av denna kompletteringsbegäran har SKB inkommit med en komplettering som betonar att genom att ändra på betongkonstruktionens ytterdimensioner i 2BMA behöver kringgjutningen inte fylla en mekanisk funktion (SKB dokID 1571075). SKB bedömer att genom att öka ytterdimensionerna i 2BMA, dvs. förstärka betongkonstruktionen, kan lasten från återfyllnad och grundvattentryck hanteras utan lastbärande samverkan från avfallskollin och kringgjutning (SKB dokID 1577237). I SKB:s föreslagna reparation/förstärkning av 1BMA ansätts att: i) betongkonstruktionens ytterväggar utvändigt kläs med 1,2 m tjocka utanpåliggande betongväggar (betongklass C 45/55 används); ii) bottenplattans grundläggning injekteras med cementbruk (1BMA); iii) tjockleken på betongkonstruktionens lock ökar något till 1 m. Förstärkningsåtgärder av 1-2BMA:s betongkonstruktioner innebär att ingen kringgjutning behövs för att upprätthålla betongkonstruktionens mekaniska integritet. Därmed bedömer SKB att tidsutvecklingen för hållfasthet-, deformations- och gasgenomsläpplighetsegenskaper för avfallskollin och kringgjutningen är därmed inte av intresse i analysen av förvarets säkerhet efter förslutning (SKB dokID 1571075). SSM noterar att omfattningen av kringgjutning av avfallet i förvardsdelen 2BMA har minskat i den vidareutvecklade referensutformningen av förvardsdelen. SSM konstaterar även att SKB kan komma att uppdatera planerna med avseende på kringgjutning i vissa fack. Även i fråga om 1BMA bedöms frågan om kringgjutning av avfallet som oklar givet de utredningar som ännu pågår (se SSM2015-

¹⁷ Frågeställningar rörande svällande avfall i SFR har också hanterats inom ramen för SSM:s granskning av SKB:s redovisning av acceptanskriterier för SFR (SSM2012-4914).

2432). Åtgärder för beskrivning av borttransport av gas i förvarsdelarna 1-2BMA redovisas i (SKBdokID 1577237).

För 2-5BLA avser SKB använda en liknande teknisk lösning som för 1BLA. SKB har undersökt vilka strålsäkerhetsmässiga fördelar ytterligare barriärer, som exempelvis att kringgjuta avfallet i containrarna, medför och jämfört det med vilka nackdelar det innebär, så som ökad miljöpåverkan och en ökad kostnad (SKB dokID 1548610). Vid analysen av riskbidraget från dess förvarsutrymmen antar SKB konservativt att en fullständig blandning av radionuklider antas ske direkt vid 3000 e.Kr, dvs. då området ovanför SFR blivit land. SKB:s slutsats är att den ansökta utformningen för 2-5BLA tillgodoser kraven under och efter driften av anläggningen (SKB dokID 1548610).

För de befintliga förvarsutrymmena, 1BMA, Silo och 1-2BTF, behöver även en översyn av redan framtagna krav utföras med hänsyn tagen till ny utförd teknikutveckling (SKB dokID 1358612, avsnitt 3.1.1). Förslutningsplanen beskriver även den befintliga anläggningens skador och brister, såsom 1BMA:s behov av reparation pga. sprickbildning och armeringskorrosion.

SSM:s bedömning

SSM har i granskningen utgått från SKB:s redovisning som sammanfattas ovan. Frågor kopplade till förslutningen av den befintliga anläggningen har också varit föremål för myndighetens tillsyn (SSM2012-4914, SSM2014-54 och SSM2015-2432). Eftersom denna tillsyn delvis har ägt rum efter tillståndsansökan inlämnades har SKB:s underlag och planering successivt justerats på ett sätt som inte fullt ut återspeglas i det underlag som inkommit som en del av tillståndsansökan. Förutom detta material har SSM beaktat granskningsarbetet som har utförts av externa experter på uppdrag av SSM (SSM 2016:12; SSM 2017:31).

SSM ser positivt på att SKB ämnar ta fram en detaljerad kravspecifikation för kringgjutningen i de olika förvarsdelarna. SSM konstaterar att den nuvarande förslutningsplanen inte omfattar fastställda specifika säkerhetsfunktionskriterier för att visa att kringgjutningens barriärfunktion är uppnådd. SSM bedömer att fastställda säkerhetsfunktionskriterier är viktiga för att fastställa att uppställda säkerhetsfunktioner är uppnådda. Detta diskuteras mer i Del III, avsnitt 4.6.3 nedan. Vidare ser SSM positivt på SKB:s redovisning av metodutveckling för BMA, men bedömer att det bör klargöras hur dessa ändringar påverkar den hydrauliska kontrasten mellan återfyllnaden och betongkonstruktionen. Även detta diskuteras mer i Del III, avsnitt 4.6.3.

SSM:s externa expert bedömer att observationerna av skadorna i 1BMA:s betongkonstruktion bör resultera i känslighetsanalyser av hur betongens initiala hydrauliska konduktivitet påverkar strålsäkerheten efter förslutningen (SSM 2017:31 del 2). Denna bedömning delar SSM. Likaså delar SSM den externa expertens bedömning att SKB bör tydliggöra hur kontrollprogram av betongens egenskaper samt åtgärdsprogram vid upptäckten av defekter i betongen ska möjliggöra att initialtillståndet för betongen i förvaret kan uppnås. SSM har inom ramen för tillsynen ställt sig tvekan till om ansatt initialtillstånd kan komma att uppnås, särskilt för bottenbarriären i redan driftförslutna avfallsfack (SSM2015-2432-26). I nuläget är det inte klart om SKB spårar alla antaganden för strålsäkerheten efter förslutningen som är beroende på hur väl kontroll- och åtgärdsprogrammen fungerar.

SSM noterar att SKB efter avslutad drift inför kringgjutningen av utrymmet mellan betongtankar och bergvägg i BTF överväger att installera en hydraulisk struktur i form av exempelvis stenullsmattor. SKB bör överväga vilken skillnad det innebär att använda

bergskadезonen som hydraulisk struktur istället för att ta bort de sektioner av berget som skadats vid berguttaget och installera stenullmatta som hydraulisk struktur.

Gällande SKB:s svar på kompletteringsbegäran SSM2015-725-46, håller SSM med om att den föreslagna konstruktionslösningen av 1BMA innebär att avfallet, tillsammans med kringgjutningen, inte behöver tillskrivas lastbärande egenskaper. Däremot bedömer SSM att det inte är klarlagt hur stor effekt den föreslagna konstruktionslösningen har på makadamåterfyllnadens säkerhetsfunktion att bidra till en hög hydraulisk kontrast mot betongkonstruktionerna. Säkerhetsfunktionsindikatorn hydraulisk kontrast påverkas av den omgivande makadamåterfyllnadens tjocklek. Enligt SKB:s föreslagna dimensionering för 1BMA kommer makadamåterfyllnadens mäktighet längs betongkonstruktionens väggar att minska med 1.2 m och försvinner helt under 1BMA:s bottenplatta i samband med injekteringen av dess bottenbädd med cementbruk. Hur stor effekt detta har på den hydrauliska kontrasten framgår inte av SKB:s kompletterande redovisning. SSM bedömer detta vara en brist och bedömer att SKB behöver utreda kvantitativt vilken effekt detta har på den hydrauliska kontrasten. SSM har i samband med tillsynen ställt sig frågande till genomförbarheten i denna reparationsåtgärd (se exempelvis SSM2015-2432-26). Detta ska läggas till effekten av att den hydrauliska kontrasten minskar över tid i takt med att betongen degraderar, vilket diskuteras mer i detalj i del III, avsnitt 5.3 och 6.3.

Driftförslutningen av 1BMA samt 1BRT sker genom placering av prefabricerade betongelement på avfallet enligt redovisningen i SKB dokID 1358612 respektive beskrivningen i SKB dokID 1604614. För 2BMA redovisas i SKB dok ID 1577237 att även här kommer prefabricerade betongelement att tillämpas för driftförslutningen. SSM anser dessa vara acceptabla driftförslutningsmetoder. SSM antar baserat på SKB:s redovisning i F-PSAR Allmän del 1 kapitel 5 samt SKB dokID 1604614 att dimensioneringen av driftförslutningen är gjord med hänsyn till erforderlig bärighet samt strålskärning som de prefabricerade betongelementen behöver ha i 1-2BMA samt i 1BRT under driftskedet. SSM observerar att, om dessa prefabricerade betongelement tillgodoräknas i bärigheten hos platsgjutna betongblock, måste SKB säkerställa att materialegenskaperna är ändamålsenliga samt att tillståndet med hänsyn till armeringskorrosion och betongdegradering hos dessa element vid tidpunkten för pågjutning är ändamålsenliga med den mekaniska och kemiska funktionen efter förslutning för toppförslutningen i dessa förvarsdelar.

SSM bedömer att driftförslutningen av 1-2BTF med kringgjutning samt strålskärmande prefabricerade betongelement är acceptabla driftförslutningsmetoder. Dessa komponenter erhåller inte någon barriärfunktion efter förslutning av dessa förvarsdelar. SSM antar baserat på SKB:s redovisning i F-PSAR Allmän del 1 kapitel 5 att dimensioneringen av driftförslutningen i 1-2BTF är gjort med hänsyn till erforderlig bärighet samt strålskärning som de prefabricerade betongelementen behöver ha i driftskedet. En relaterad frågeställning gäller de egenskaper som SKB tillskriver avfallskollinas långsiktiga funktion i förvarsdelarna 1-2BTF. Frågan diskuteras vidare inom ramen för SSM:s granskning av SKB:s framtagande av acceptanskriterier för SFR-1 (SSM2012-4914).

4.6.2 Förslutning efter avslutad drift

Beskrivning av SKB:s underlag

SKB ger en översiktlig beskrivning av en möjlig förslutningssekvens och dess genomförande (SKB dokID 1358612, avsnitt 4.2 respektive bilaga 1). När SKB:s aktiviteter är avslutade är planen att markytan vid SFR ska vara återställd till så nära ursprungliga förhållanden som möjligt. För att försvåra oavsiktliga mänskliga intrång ska SFR

toppförslutas vilket innebär att tillfartstunnlarnas översta 50 längdmetrar fylls med stenblock vilket avslutas med betongpluggar. Dessa, och andra betongpluggar i tillfartstunnlarna, ska placeras i anslutning till förbindelser (genomstick) mellan drift-, bygg- och reaktortanktunnlarna (SKB dokID 1358612, figur 4-1). Ytterligare pluggar ska installeras för att försluta schakt mellan olika förvarsdelar. Tunnelsektionerna närmast bergsalarna och silo ska efter förslutningen utgöra hydraulisk täta sektioner. SKB ämnar uppnå detta genom att återfylla dessa delar med kompakterade block och pellets av bentonit. SKB antar att dessa bentonitfyllda sektioner har en hydraulisk konduktivitet $< 10^{-10}$ m/s, dvs samma som kravet på att begränsa den advektiva transporten i kärnbränsleförvarets deponeringstunnlar (SKB TR-14-02, avsnitt 12.8.3). Men den faktiska hydrauliska konduktiviteten kan bli två till tre storleksordningar lägre i SFR:s bentonitsektioner (SKB dokID 1358612). Övriga delar av tunnelsystemet återfyllas med makadam. Betongpluggar ska även installeras i anslutning till bergsalarna och silo. Om tunnelgeometrin och bergets egenskaper inte medger installationen av betongpluggar kommer övergångsmaterial, vilket utgör en 30/70 blandning av bentonit/makadam, att installeras. Huvudsyftet med övergångsmaterialet och betongpluggarna är att utgöra en hydrologisk barriär och att hålla bentonit- och makadamåterfyllnaden på plats (SKB, 2015, figur 4- 4). Pluggarna fyller även en kemisk barriärfunktion (sorption). För att pluggarna ska hindra vattengenomströmningen ställer SKB krav på att pluggkonstruktionen ska ha en resistans, vilket är kvoten mellan pluggens tjocklek och dess hydrauliska konduktivitet, på $> 2 \cdot 10^9$, vilket motsvarar en hydraulisk konduktivitet om $5 \cdot 10^{-10}$ m/s för en pluggsektion på 1 m. För att undvika att vattenflödet passerar pluggarnas hydrauliskt täta bentonitsektion genom sprängskadezonen planerar SKB att ta bort den skadade zonen vid pluggens bentonitsektion med skonsamma metoder, exempelvis genom vajersågning. Strategin att minimera vattenflödet med material med låg hydraulisk konduktivitet tillämpas även i Silo, vilken omges av bentonitbuffert som förväntas erhalla en hydraulisk konduktivitet $< 10^{-9}$ m/s (SKB TR-14-02, avsnitt 12.5.3). I bergsalarna BMA, BTF och BRT har SKB istället valt strategin att begränsa den advektiva transporten i avfallet genom att installera makadam med en undre och övre kornstorlek på 16 respektive 32 mm. Den valda kornstorleksfördelningen ger en hög hydraulisk konduktivitet vilket bildar ett hydrauliskt inneslutningssystem (hydraulisk bur) som styr vattenflödet i bergsalarna runt avfallskollina. Denna effekt bedöms av SKB uppfyllas om makadamåterfyllnaden har en hydraulisk konduktivitet över 10^{-5} m/s. Baserat på materialvalets kornstorleksfördelning uppskattar SKB makadamåterfyllnadens hydraulisk konduktivitet till $6 \cdot 10^{-1}$ m/s. Med anledning av detta antar SKB att den initiala hydrauliska konduktiviten är $> 10^{-2}$ m/s (SKB dokID 1358612), men vid modelleringarna av närzonshydrologin antar SKB konservativt en hydraulisk konduktivitet på 10^{-3} m/s (SKB TR-13-08). På samma sätt bedömer SKB att vattenflödet kan avledas från bergsalarna till centraltunneln genom att ha en hög hydraulisk kontrast mellan makadamåterfyllnaden i centraltunneln och de lågkonduktiva, tekniska barriärerna som omger bergsalarna.

Makadamåterfyllnaden i BMA, BTF och BRT fyller även en funktion att skydda betongbarriärer från fallande block. För att undvika skador från fallande block bedömer SKB att spalten mellan fyllningens ovansida och bergsalstaket inte bör överstiga 2 m och i referensutformningen gäller att spalten för fyllda bergsalar ska vara 1 m. Att BLA inte toppfylls beror på att ingen betongkonstruktion, som kan bära laster i samband med installationen av makadamåterfyllnaden, är uppförd eller planerad att uppföras runt avfallet (SKB dokID 1358612bilaga A1). SKB bedömer även att den låga radioaktiviteten i avfallet som deponeras i BLA motiverar att pluggarna är de enda flödesbegränsande tekniska barriärerna i BLA (SKB, 2015, avsnitt S2.2). Makadamåterfyllnaden medverkar även till att stabilisera bergsalarna och övriga förvarsdelar samt utgör ett mekaniskt

mothåll till degraderade betongpluggar och övergångsmaterial. För att makadam-materialets mekaniska och hydrologiska funktion ska fungera som antaget behöver dess sättningsegenskaper vara tillräckligt välkända så att en uppskattning kan göras av överytans potentiella nedsjunkning och att riktmärket för den hydrauliska konduktiviteten kan uppfyllas (SKB P-13-05). Ytterligare förutsättningar som makadamaterialet ska uppfylla är att det inte ska skada betongbarriärer vid installationen. Dessutom ska friktionsmaterialet ge förutsättningen för en effektiv installation. SKB uppger att det finns ett behov av ytterligare tester på återfyllnadsmaterialet för att styrka referensmaterialets sättningsegenskaper och hydraulisk konduktivitet (SKB P-13-05). Vid små marginaler mot sättningen bör en utvärdering göras av den framtida seismiska aktiviteten eftersom det dominerande bidraget till sättningar är vibrationer i samband med ett jordskalv (SKB P-13-05).

Som redan nämnts fyller bentonitmaterialen främst en funktion som hydrologisk barriär. För Silo fyller den omgivande bentonitbufferten även en mekanisk funktion i att bentonitens svälltryck ska stabilisera och stödja silon samt det omgivande berget. Silos betongkonstruktion är konstruerad för att tåla ett svälltryck på 500 kPa.

Eftersom SKB inte avser att toppfylla BLA innebär det att väggar och tak med tiden kommer att luckras upp. SKB bedömer att bergbultarnas och sprutbetongens bärförmåga helt har förlorats efter 200-250 år. Efter uppskattningsvis ytterligare 50-150 år har BLA fyllts av rasmassorna vilka bildar ett mottryck mot kvarvarande berg som motverkar fortsatt uppluckring. SKB betonar att om inte 1BMA toppfylls kan det föreligga en risk att det ställvis kan bildas öppningar mellan 1BLA och 1BMA (SKB dokID 1237025). Bergsalarnas mekaniska stabilitet diskuteras mer utförligt i del III, avsnitt 5.5 och 6.5 samt i kapitel 7.

Plugginstallationen, tunnelsektioner som ska återfyllas med bentonit och övergångsmaterial är känsliga för större punktinflöden. SKB ämnar därför injektera bergmassan där större punktblöden har observerats. SKB bedömer att samma kriterium som används för deponeringstunnlarna för använt kärnbränsle gällande ett accepterat totalt inflöde på <10 l/minut kan ses som ett riktmärke där inga särskilda insatser krävs för att avhjälpa inflödet vid tunnelsektioner som ska återfyllas med bentonit i SFR (SKB dokID 1358612, avsnitt 4.6.4.2).

Även de borrhål som inte är förslutna efter att driften av anläggningen är avslutad ska toppförseglas och förslutas. Detta för att förhindra eventuella, framtida spridningsvägar för nuklider samt att återställa bergets hydrauliska konduktivitet till ursprungliga förhållanden. SKB bedömer vidare att förslutningens olika komponenter, så som pluggar, kan komma att utvecklas vidare och optimeras innan anläggningen tas ur drift och försluts (SKB dokID 1358612, avsnitt 6).

Remissinstansers synpunkter

Kungliga vetenskapsakademien

Kungliga vetenskapsakademien anför (SSM2015-1640-29) att det bör förtydligas och bättre beskrivas om/hur man i samband med förslutning avser att kontrollera att ”initialtillstånd” uppnåtts eftersom mätningar och kontroller inte är planerade. Vidare kan samma kritik riktas mot planeringen för kärnbränsleförvaret, dvs. att man här inte heller avser att ha uppsikt eller kontroll över förvaret efter förslutning

Kärnavfallsrådet

Remissinstansen lyfter samma synpunkt (SSM2015-1640-22) som Kungliga vetenskapsakademien, se ovan.

Boverket

Boverket (SSM 2015-1640-12) har en generell synpunkt att avsnittet om förslutningen och avvecklingen av SFR i ansökans toppdokument (SKB dokID 1359931, avsnitt 4.5) inte utvecklas närmare.

SSM:s beaktande av remissynpunkter

SSM har begärt förtydliganden av SKB gällande säkerhetsfunktionsindikatorerna för barriärkonstruktioner och definitionen av hydraulisk kontrast mellan återfyllnadsmaterial och barriärkonstruktionerna i 1-2BMA (kompletteringsbegäran SSM2015-725-36, punkt 1-2; kompletteringsbegäran SSM2015-725-43, punkt 8). Säkerhetsfunktionerna ska kunna utvärderas med mätbara eller beräkningsbara egenskaper. SSM bedömer att SKB:s svar på SSM:s begäran om kompletterande information även beaktar remissinstansernas synpunkt. En mer utförlig diskussion i frågan ges i SSM:s bedömning till del III avsnitt 4.6.

SSM bedömer att övervakning i någon form kan förekomma efter förslutning. Vidare framgår det av SKB:s villkorsförslag till ansökan enligt miljöbalken (Bilaga PSU-U K:15 Förslag till villkor) att SKB ska bedriva en strukturerad omvärldsbevakning under drifttiden avseende övervakning av slutförvar efter förslutning samt informera tillsynsmyndigheterna samt Östhammars kommun om resultatet av omvärldsbevakningen. SSM bedömer att detta tillvägagångssätt är ändamålsenligt och beaktar remissinstansernas synpunkt på övervakning efter förslutning. Vidare ligger SKB:s villkorsförslag i linje med Artikel 17 i "IAEA Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management" skrivning om övervakning efter förslutning.

SSM bedömer att syftet med toppdokumentet är att ge en generell beskrivning av vald förslutnings- och avvecklingsstrategi, inte att ge en detaljerad beskrivning. Vidare hänvisar toppdokumentet till var i ansökan mer detaljerade beskrivningar av förslutning och avveckling ges. SSM bedömer därför att Boverkets synpunkt är beaktad.

SSM:s bedömning

SSM bedömer att SKB:s underlag för beskrivning av förslutning av slutförvaret är godtagbar. SSM anser att det finns förutsättningar för SKB att installera de olika komponenterna så att förslutningens antagna barriärfunktioner kan uppnås. Denna bedömning baseras delvis på myndighetens tidigare granskning av SKB:s redovisning av förslutningen av i slutförvaret för använt kärnbränsle. Där gjorde SSM bedömningen att de flesta detaljer gällande förslutning är väl genomtänkta och grundar sig på etablerade eller beprövade metoder. Detta gäller t.ex. erfarenheter inom packning av bergkross i jordddammar och gjutning av massiva betongkonstruktioner. Vissa andra lösningar är idag inte etablerade, men har använts av SKB i prototyp tester eller i forskningssyfte. Detta gäller t.ex. tillverkning, transport och installation av bentonitblock. SSM bedömer dock att SKB i senare steg i prövningsprocessen behöver visa att förslutningskomponenterna kan installeras enligt uppställda krav under faktiska förhållanden under jord och de måste fortsätta arbeta för att fullt ut utveckla nödvändiga tekniker och planer. Utvecklingen förväntas bidra till förbättrade krav och ett system för kvalitetskontroll av de installerade förslutningskomponenterna så att det önskade initialtillståndet kan uppnås. Vid SSM:s bedömning av SKB:s svar på föreläggande om plan för förslutning av det befintliga SFR kommenterade SSM pelarstabiliteten mellan 1BLA och 1BMA då 1BLA, vilken kan komma att påverkas negativt eftersom 1BLA inte ska återfyllas (SSM2010-4540-3). Denna fråga diskuteras mer i detalj i del III avsnitt 5.5, där det framgår att SSM bedömer

att risken för att en öppning ska bildas mellan bergsalarna som kortsluter vattenflödet har minskat baserat på ny tillkommen information (SSM2017-31, del 1, SKB R-13-53). SSM bedömer dock att frågan om återfyllning av förvarsdelen av 1BLA fortsatt bör analyseras för att så långt som rimligt möjligt minimera risken för kortslutning mellan 1BLA och 1BMA. SSM har även, som framgår av del III avsnitt 5.5, en synpunkt på att SKB bör tydliggöra betydelsen för den långsiktiga strålsäkerheten om den hydrauliska konduktiviteten i pelaren mellan bergsalarna ökar.

SSM har i granskningen utgått från SKB:s redovisning som sammanfattas ovan. Förutom detta material har SSM beaktat SKB:s kompletteringar samt granskningsarbetet som har utförts av externa experter på uppdrag av SSM (SSM Technical Note 2016:12).

SSM delar SKB:s uppfattning att större punktinflöden försvårar installationen av de olika förslutningskomponenterna och kan orsaka s.k. kanalbildningserosion i bentonit-återfyllnaden. SSM bedömer vidare att SKB:s föreslagna åtgärder är ändamålsenliga. Gällande SKB:s riktmärke på maximalt inflöde på 10 l/min innan särskilda insatser bör utföras för att minska vattenflödet bedömde dock SSM vid granskningen av förvaret av använt kärnbränsle att detta riktmärke bör underbyggas bättre inför kommande provningssteg. Denna bedömning står SSM fast vid och gäller även för denna granskning. SKB behöver visa att utformning och kravspecifikation där bentonit ingår som förslutningskomponent inte leder till oacceptabel omfattning av kanalbildningserosion. SSM anser att kravet på begränsning av vatteninläckage i tunnlarna är otillräckligt för att skapa gynnsamma förhållanden vid installation av återfyllnadsmaterialet. Ett system för länshållning vid schaktningsarbeten behöver projekteras så att vattenläckage från andra delar av slutförvarsanläggningen inte kan störa installation av återfyllnad i ramp, schakt och tunnlar.

SSM kan konstatera att inga entydiga säkerhetsfunktionsindikatorer för enskilda förslutningskomponenter har definierats i detta skede. Istället utgår SKB från generella krav som ska vara uppfyllda för att pluggar och andra förvarskomponenter ska fungera väl (SKB TR-14-04, avsnitt 3.2.6). Detta har föranlett SSM att begära kompletteringar för BMA gällande SKB:s val av hydraulisk kontrast som säkerhetsfunktionsindikator (kompletteringsbegäran SSM2015-725-36, punkt 1-2; kompletteringsbegäran SSM2015-725-43, punkt 8). SSM:s kompletteringsbegäran har resulterat i ett förtydligande av den dokumentation som ursprungligen levererats av SKB (SKB dokID 1578211). Sammantaget bedömer SKB att den hydrauliska kontrasten bättre visar hur säkerhetsfunktionen att begränsa vattenflödet i BMA upprätthålls eftersom den advektiva transporten är beroende av den hydrauliska konduktiviteten i både återfyllnaden och betongkonstruktionen (SKB dokID 1578211). Den hydrauliska kontrasten är dock över tid mest beroende av betongegenskapernas utveckling och tidigare har SKB angett att för BMA, och även BTF, är den hydrauliska konduktiviteten primär säkerhetsfunktionsindikator (SKB TR-14-04, avsnitt 3.2). SKB förutsätter att återfyllnadsmaterialet i bergssalar och siloförvaret ska ha en konduktivitet $> 10^{-5}$ m/s (SKB dokID 1358612, avsnitt 4.1.1). För betongkonstruktioner antar inte SKB någon konstruktionsförutsättning gällande den hydrauliska konduktiviteten. Däremot anges att konduktiviteter i storleksordningen 10^{-12} m/s för sprickfri portlandcement är lätt uppnåelig (SKB TR-14-04, avsnitt 5.2.2). För BMA-salarna, vilka baseras på den nya designen för 2BMA, antar SKB att den hydrauliska konduktiviteten för intakt betong är 1×10^{-11} m/s. Baserat på antagandet av en sprickfrekvens på 1 spricka per meter med en apertur på 10 μ m ger en initial hydraulisk konduktivitet för betong, både i kringgjutning och i konstruktion, på 8.3×10^{-10} m/s (SKB R-13-40, avsnitt 9). SKB uppger att framtagandet av enskilda säkerhetsfunktionsindikatorer för betongkonstruktionerna och återfyllnaden kan bli aktuellt i tillägg till

analyserna av den hydrauliska kontrasten (SKB dokID 1578211). Ett sådant tillvägagångssätt ser SSM positivt på och bedömer att detta tydliggör och förenklar kvalitets- och acceptanskontroll vid installation och tillverkning av betongbarriärerna (se inspektionsavsnitt för 1-2BMA i SKB TR-14-02, avs. 4.3 och 5.3). Det tydliggör även vilka installations- och materialkrav som krävs på betongen för att den hydrauliska kontrasten ska kunna upprätthållas tillräckligt lång tid efter förslutningen. Betongkonstruktionernas tillstånd vid förslutningen och vid olika tidpunkter efter förslutningen diskuteras mer i detalj i Del III, avsnitt 5.3, 6.3, och 7.3.

Kompletteringsbegäran SSM2015-725-36 innefattar även en begäran (punkt 8) om förtydligande av hur långtidsutvecklingen av makadamåterfyllnaden, både i grundläggningen under betongkonstruktioner och i bergsalar, påverkar den hydrauliska kontrasten. SKB:s förtydligande sammanfattar processerna som påverkar makadamåterfyllnadens hydrauliska konduktivitet efter förslutning och bedömer att de har en begränsad påverkan på återfyllnadens hydrauliska egenskaper (SKB dokID 1568423). SSM bedömer att SKB:s underlag för beskrivning av makadamåterfyllnadens hydrauliska egenskaper är godtagbar och kan anses vara tillräcklig för det nuvarande granskningssteget. SSM anser dock att det finns vissa återstående osäkerheter som SKB behöver åtgärda. SKB:s konsulter uppger att det är svårt att förutspå hydraulisk konduktivitet för ett material med hög permeabilitet. SSM bedömer därför, i likhet med SKB:s konsulter, att beräknade värden för den hydrauliska konduktiviteten bör användas med försiktighet och referensmaterialets hydrauliska konduktivitet bör verifieras med experiment. Vidare finner SSM att en viss osäkerhet finns gällande i vilken utsträckning mikrobiell tillväxt på återfyllnadens kornytor och i återfyllnadens porer påverkar makadamåterfyllnadens hydrauliska konduktivitet. I förtydligandet hänvisar SKB till en studie av kartläggningsmetoder av aktiva mikrobiella populationer i berggrunden som vidhäftar på sprickytor (SKB R 16-09) men denna studie adresserar inte långtidsutvecklingen i makadamåterfyllnaden. SSM bedömer därför att SKB behöver utreda denna process inför nästa provningssteg.

4.7 Sammanfattande bedömning

SSM anser att SKB:s redovisning av anläggningens initialtillstånd som presenterat i säkerhetsanalysen SR-PSU (SKB, 2015) sammanfattningsvis är godtagbar. Detta baseras på följande bedömningar avseende redovisat initialtillstånd för avfallet, betongbarriärer och betongkonstruktioner, lerbarriärer, berget och bergutrymmen, samt redovisningen av förslutningsplanen för att uppnå initialtillståndet vid förslutning.

Avfall

SSM konstaterar att befintliga erfarenheter inte nödvändigtvis i alla avseenden är tillämpliga för de tillkommande förvarsdelarna 2BMA, 2-5BLA samt BRT. Det kommer därför krävas ytterligare omfattande utredningar och redovisning innan dessa förvarsdelar kan börja uppföras och tas i drift. Resultat av sådana kommande insatser behöver inarbetas i kommande säkerhetsanalyser. En övergripande bedömning av rivningsavfallet och de tillkommande förvarsdelarna är dock att vissa omständigheter snarare är enklare än svårare i förhållande till förvarsdelar och avfallsströmmar för befintliga SFR. Exempel på detta är att konstruktionen av 2BMA kan baseras på erfarenheter från 1BMA, samt att avfallet i 2-5BLA förväntas innehålla en lägre andel av reaktivt organiskt material i förhållande till avfallet i befintliga BLA. SSM har inte identifierat några nya frågor av avgörande betydelse för karaktärisering och bedömning av avfall till de nya förvarsdelarna men konstaterar att förvarsdelen BRT, som planeras att inrymma segmenterade reaktortankar, saknar motsvarighet i det befintliga SFR.

Avseende SKB:s acceptanskriterier och har SSM funnit att de ses som ett betydande steg framåt och att de generellt har haft en lämplig struktur så som kategoriseringen i punktlistan ovan under SKB:s redovisning. Kraven har dock i många avseenden ansetts vara vaga och att det även har ansetts förekomma behov av förtydliganden avseende ansvarsfördelning (med avseende på kravuppfyllelse), kravformulering och –motivering, samt möjligheter till verifiering (SSM2012-4914-4). En viktig fråga är huruvida kravet är tillämpligt och verifierbart med avseende på varje enskilt kolli eller om kravet snarare enbart gäller förvaret eller en förvarsdel i sin helhet. Skillnaden har en betydelse eftersom ett krav på kollinivå avser avfallsproducenten, medan krav på förvarsdelsnivå enbart avser SKB.

Rörande avfallens inventarium av radioaktiva ämnen kan SSM konstatera att SKB har genomfört ett omfattande arbete i syfte att härleda ett inventarium som ett underlag för tillståndsansökan. Härledningen innehåller ett stort antal principiella frågor och oklarheter att hantera, vilket är särskilt svårt för rivningsavfallet eftersom endast begränsade mängder sådant avfall har producerats i dagsläget. Uppskattningen måste av denna anledning av nödvändighet innehålla en del antaganden om hur omhändertagandet kommer att genomföras vid den framtida avvecklingen. SSM bedömer att SKB på ett tydligt sätt har dokumenterat vilka antaganden som arbetet har utgått ifrån. Den metodik som tillämpats för avfall som härstammar från kärnkraftverken bedöms till stor del vara ändamålsenlig.

Vad gäller uppskattningen av aktivitetsinnehållet är det enligt SSM:s bedömning positivt att SKB i större omfattning än tidigare baserar uppskattningen på en analys och värdering av olika typer av undersökningar. Detta gäller särskilt hur avfallens förekomst av olika långlivade radionuklider som C-14, Ni-59, Ni-63, Mo-93, Tc-99, I-129. För dessa radionuklider har det skett en betydande utveckling, delvis föranlett av den tillsyn som har skett inom området sedan myndighetens granskning av de säkerhetsanalyser och andra redovisningar som inkommit under de senaste tio åren.

I större utsträckning än SKB:s uppskattningar av aktivitetsinnehållet i driftavfall, måste uppskattningarna för rivningsavfallet utgå från stiliserade beräkningar och gjorda antaganden. Till detta hör ofrånkomliga oklara förutsättningar som är kopplade till rivningsavfallet, vilket inkluderar uppenbara oklarheter kring reaktorernas återstående drifttid, åtgärder som vidtas i samband med driften och i samband med avställningen, t.ex. systemdekontamination. Givet dessa oklarheter bedömer SSM att den metodik som tillämpas, dvs. att utgå från rivningsstudiernas uppskattade aktivitetsinnehåll för varje komponent och fördela denna aktivitet i ett antal avfallskollin, som i sin tur fördelas mellan olika förvarsdelar, förefaller ändamålsenlig. I det fortsatta arbetet behöver gjorda antaganden verifieras genom faktiska mätningar. Detta gäller inte minst förekomsten av inducerad aktivitet i de delar av avfallet som kommer från hårdnära områden.

Avseende feldponerat avfall (typbeskrivning S.14) i BLA har SSM inom ramen för tillsynen av SFR begärt en utvecklad handlingsplan från SKB som klargör vilka åtgärder som har vidtagits för att underlätta ett återtagande av avfallet. Förutsättningarna för ett återtag av avfallet påverkas i olika grad av andra verksamheter. Detta gäller exempelvis den planerade utbyggnaden av SFR, den planerade hanteringsanläggningen (SAGA) vid AB Svafo och det planerade mellanlagret (SALUT) också vid AB Svafo. I enlighet med SSM:s förhållningssätt avseende tillsynsfrågor vid tillståndsprövning (SSM 18-2660) hanteras ärendet inom ramen för ordinarie tillsyn av anläggningen.

SSM bedömer att SKB:s redovisning av materielmängder för avfallsströmmar till SFR är rimlig och ger den information som behövs för den aktuella tillståndsprövningen. De befintliga prognoserna kommer behöva uppdateras och förfinas i framtiden men detta

behov är, som även SKB påpekar, i hög grad kopplade till i detta steg icke-reducerbara osäkerheter kopplade till externa svårförutsägbara förhållanden som drifttider för de svenska kärnkraftverken och driftförhållanden i de svenska kärnkraftverken långt in i framtiden.

SSM anser att SKB:s redovisning av komplexbildande ämnen i SFR generellt är utförlig och välmotiverad. Frågans betydelse för SFR-förvaret har varit känd länge och insatser har genomförts för att i första hand minimera och i andra hand karakterisera och dokumentera mängder av komplexbildare och material som kan bilda komplexbildare genom degraderingsprocesser. Betydande forskning har även genomförts såväl nationellt som internationellt för att utröna effekter av komplexbildare för radionuklidens speciering, liksom kring sönderdelningen av cellulosa i cementmiljö. SSM bedömer att den analys som SKB har genomfört för att uppskatta troliga koncentrationer av komplexbildare i slutförvarsmiljön baserat på uppgifter från sammanställningen av avfallets sammanställning är trovärdig (SKB TR-14-03).

Betongbarriärer och betongkonstruktioner

SSM anser att SKB har identifierat de kemiska processer som är av relevans för att med en rimlig detaljeringsgrad kunna beskriva betongens kemiska degradering. SKB:s tillvägagångssätt att utföra reaktiv transportberäkningar på två olika databaser för olika mineral och sedan jämföra tidsutvecklingen av hela det kemiska systemet anses vara ändamålsenligt och SSM noterar även att denna metodik tillämpats i andra sammanhang (Damidot m.fl. 2011). Att underlagsrapporten SKB R-13-40 inte tillämpar den grundvattensammansättning som ansatts i säkerhetsanalysen i modelleringen anser SSM behåfter resultaten med onödiga osäkerheter. Dessa bedöms dock inte vara avgörande för materialets relevans. Dock anser SSM att modelleringen av den kemiska betongdegraderingen inför en kommande säkerhetsanalys bör inbegripa analys av hur interaktion med salint grundvatten påverkar betongdegraderingsprocesserna.

Avseende konceptualiseringen och modelleringen av betongkrympning som följd anser SSM att SKB:s tillvägagångssätt är ändamålsenligt. Det baseras på vedertagna modeller och innefattar rimliga antaganden som förankras i uppmätta värden från befintliga SFR.

SSM bedömer att SKB:s modellering av sprickbildning som följd korrosion av armeringsstål överlag är ändamålsenlig. SSM anser vidare att armeringskorrosion i sig dock inte är avgörande för betongkonstruktionens statiska stabilitet. SKB har tillämpat vedertagna modeller och gör underbyggda antaganden avseende korrosionshastigheter och korrosionsprodukters porositet. SSM bedömer att en välmotiverad redovisning av uppkomst och omfattning av genomgående sprickor i betong är avgörande för att realistiskt kunna uppskatta betongbarriärens vattengenomsläpplighet.

SSM anser att SKB bör utföra dimensionerings- eller kravställande åtgärder mot genomgående sprickbildning i de betongkonstruktioner som innehar en barriär- eller säkerhetsfunktion.

SSM bedömer vidare att IBMA i befintligt skick inte besitter de egenskaper som förvardsdelen i säkerhetsanalysen SR-PSU antas inneha i sitt initialtillstånd vid förslutning. Detta baseras på att SKB har visat att: i) konstruktionen inte kommer att kunna hålla mot de laster som har identifierats genom de konstruktionsstyrande fallen i säkerhetsanalysen SR-PSU (i synnerhet grundvattentryck och utökad återfyllningsmaktighet), ii) att konstruktionens vattengenomsläpplighet (också kallad "täthet") är för hög jämfört i jämförelse med de värden som antas i säkerhetsanalysen SR-PSU. För höga värden hos vattengenomsläppligheten kan redan förekomma vid tidpunkten för förslutningen.

Baserat på sprickstorlek och sprickornas omfattning i betongbarriären i 1BMA har SKB uppskattat vattengenomsläppligheten i konstruktionens befintliga skick till omkring 10^{-4} - 10^{-5} m/s beroende på vilken del av förvardsdelen som avses (SKB dokID 1430853). Detta värde motsvarar en sprickvidd på 0,5 mm med sprickfrekvensen en spricka per meter, eller en sprickvidd på 1 mm och sprickfrekvensen en spricka var 10:de meter (SKB R-13-40, figur 6-1). Detta värde är jämförbart med det värde på hydraulisk konduktivitet (10^{-5} m/s) som SKB har antagit för samtliga betongbarriärer i SFR i det mindre sannolika *scenariot med accelererad betongdegradering* (SKB TR-14-09, tabell 4-7). Den maximala årliga dosen för detta scenario är 15,8 $\mu\text{Sv}/\text{år}$ (SKB dokID 1585173, tabell 3-1) vilket överskrider den dos (14 $\mu\text{Sv}/\text{år}$) som motsvarar riskkriteriet på $1 \cdot 10^{-6}$ (SSMFS 2008:37). Detta indikerar att de långsiktiga strålsäkerhetskONSEKVENSERNA givet ett initialtillstånd som är jämförbart med befintligt skick på 1BMA med markant försämrat flödesmotstånd jämfört med det initialtillstånd som ansätts i huvudscenariot är relativt små. Och då måste det beaktas att det försämrade initialtillståndet, och accelererade degraderingsförlopp, som ger upphov till nämnda dos antas gälla för samtliga betongbarriärer i SFR, både befintlig del och planerad utbyggnad.

SSM bedömer att SKB:s planerade konstruktion, utifrån den referensutformning som beskrivs i SKB:s underlag, har förutsättningar att kunna uppföras i bergrummen för det utbyggda SFR med tillhörande barriärsfunktioner motsvarande de som ansätts i säkerhetsanalysen. Det återstår vissa frågeställningar rörande genomförbarhet att uppföra stora och slanka oarmerade konstruktioner, liksom avseende möjligheten att uppfylla uppsatta produktionskrav. SSM anser dock att SKB har förutsättningar att, under tiden fram till idrifttagning av anläggningen, kunna utveckla de tekniska lösningar som fordras för att erhålla ett medgivande för uppförande av utbyggnaden av SFR. Den detaljeringsnivå som skulle krävas för att besvara dessa frågeställningar bedöms inte vara rimlig att kräva i detta skede av prövningsprocessen då konstruktionen är baserad på en referensutformning. SSM vill dock betona vikten av att i ett eventuellt uppdaterande av uppsatta produktionskrav beakta relevansen av långsiktiga strålsäkerhetskONSEKVENSER.

SSM bedömer att användningen av den hydrauliska kontrasten som säkerhetsindikator för säkerhetsfunktionen hos den hydrauliska buren är godtagbar som formulerat i säkerhetsanalysen SR-PSU. På detta sätt slås säkerhetsfunktionerna hos två komponenter i slutförvarssystemet, återfyllnaden och betongbarriärkonstruktionen, ihop till en enda storhet. SSM anser dock att kopplingen till modelleringen i säkerhetsanalysen inte blir helt tydlig eftersom värden på hydraulisk konduktivitet snarare än hydraulisk kontrast används direkt som ingångsparametrar i konsekvensberäkningarna. Ur perspektivet kvalitets- och acceptanskontroll vid installation och tillverkning (se inspektionsavsnitt för 1-2BMA i SKB TR-14-02, avsnitt 4.3 och 5.3) är det inte fördelaktigt med en enda säkerhetsfunktionsindikator för två slutförvarskomponenter, dvs betongbarriärer och återfyllnader. Dessa komponenter kommer dessutom att förändras under utvecklingen av slutförvaret efter förslutning på grund av förhållanden, händelser och processer som uppstår i återfyllnaden och betongen i barriärkonstruktionen. SKB har dock indikerat att valet av säkerhetsfunktionsindikatorer kan ses över inför en kommande PSAR (SKB dokID 1578211) och att ett möjligt alternativ är att använda separata indikatorer för återfyllnaden och betongkonstruktionerna samt fortfarande behålla kontrasten i analysen av strålsäkerhet efter förslutning.

Lerbarriärer

SSM bedömer att SKB:s redovisning av initialtillståndet för de förvarsutrymmen och förvarskomponenter där bentonit används, antingen som ren bentonit eller med olika blandningar med krossat berg, är ändamålsenlig. SSM anser att säkerhetsfunktionerna av dessa förvarsutrymmen eller förvarskomponenter har tagits fram av SKB med hänsyn till

den sammanvägda långsiktiga strålsäkerheten för hela förvarssystemet. SSM bedömer att angivna hydrauliska konduktiviteter hos olika bentonitkomponenter, som även konservativt har ansatts för motsvarande bentonitkomponenter i säkerhetsanalysen (SKB TR-13-08, tabell 3-3), är rimliga och kan uppnås för de specificerade referensutformningarna av respektive förvarsutrymmen som innefattar bentonit i något avseende. SSM:s bedömning baseras i stor utsträckning på bedömningar gjorda i SSM:s tidigare granskning av liknande frågor för återfyllnaden i deponeringstunnlarna i slutförvaret för använt kärnbränsle (SSM 2018:07, avsnitt 3.5.6).

Berg och bergutrymmen

Avseende berg och bergutrymmen bedömer SSM sammanfattningsvis att SKB har förutsättningar att uppföra den planerade utbyggnaden så att initialtillståndet kan uppfyllas. Denna bedömning stöds av SKB:s kontrollprogram för driftskedet av den befintliga anläggningen som årligen redovisas till SSM (se t.ex. SKB dokID 1675025; SKB dokID 1585432). SSM bedömer att bortfallet av reaktortransporttunnel 1RTT samt mindre ändringar i layouten för 1BRT inte kommer att medföra negativa konsekvenser för den bergtekniska stabiliteten av utbyggt SFR.

Förslutningen

SSM bedömer att SKB:s underlag för beskrivning av förslutning av slutförvaret är godtagbar och kan anses vara tillräcklig för prövningen av ansökan. SSM anser att det finns förutsättningar för SKB att installera de olika komponenterna så att förslutningens antagna barriärfunktioner kan uppnås. Denna bedömning baseras delvis på myndighetens tidigare granskning av SKB:s redovisning av förslutningen av i slutförvaret för använt kärnbränsle. Där gjorde SSM bedömningen att de flesta detaljer gällande förslutning är väl genomtänkta och grundar sig på etablerade eller beprövade metoder. Detta gäller t.ex. erfarenheter inom packning av bergkross i jorddammar och gjutning av massiva betongkonstruktioner. Vissa andra lösningar är idag inte etablerade, men har använts av SKB i prototyp tester eller i forskningssyfte. Detta gäller t.ex. tillverkning, transport och installation av bentonitblock. SSM bedömer dock att SKB i senare steg i prövningsprocessen behöver visa att förslutningskomponenterna kan installeras enligt uppställda krav under faktiska förhållanden under jord och de måste fortsätta arbeta för att fullt ut utveckla nödvändiga tekniker och planer. Utvecklingen förväntas bidra till förbättrade krav och ett system för kvalitetskontroll av de installerade förslutningskomponenterna så att det önskade initialtillståndet kan uppnås.

5 Slutförvarets utveckling de första 1000 åren

5.1 Inledning

SSM redogör i detta kapitel för granskningen av SKB:s redovisning avseende slutförvarets utveckling under de första 1000 åren efter förslutning.

Innan förslutning av förvaret samt genom uppförande av förvarets bergutrymmen, genom upprättande av tekniska barriärer och genom konditionering och deponering av avfall, uppnår man förvarets initiala tillstånd. SKB:s redovisning av förvarets initiala tillstånd granskas och bedöms i kapitel 4 i denna granskningsrapport.

Efter förvarets förslutning påbörjas utvecklingen av de interna processerna i förvaret under inverkan av de externa naturliga förhållandena. I denna granskningsrapport delas beskrivningen och bedömningen av förvarets utveckling efter förslutning in i tre delar; de

första 1000 åren efter förslutning (detta kapitel i föreliggande granskningsrapport), efter 1000 år med tempererade klimatförhållanden (kapitel 6), samt efter 1000 år med periglaciala klimatförhållanden (kapitel 7).

SKB redovisar förvarets utveckling under de första 1000 åren efter förslutning i avsnitt 6.3 i SR-PSU (SKB, 2015). Att förvarets utveckling under denna period redovisas separat beror på att transienta förhållanden råder under denna period då de naturliga förhållanden som blir störda vid uppförandet av förvaret håller på att återställa sig (återställning av grundvattnets hydrauliska gradient kring förvaret), samt de olika komponenterna i förvaret tenderar att uppnå mer eller mindre jämviktsförhållanden med varandra och med det intilliggande berget (återmättnad av de olika tekniska barriärerna i förvaret, m.m.) Skiljelinjen vid tusen år efter förvarets förslutning ska betraktas som ungefärlig.

I enstaka fall skiljer sig SSM:s indelning av processerna för förvarets utveckling till denna period och till förvarets senare utvecklingsperioder (som granskas i efterföljande kapitel i denna granskningsrapport) från SKB:s uppdelning. Ett exempel är vissa processer i Silos bentonitbuffert, såsom montmorillonitombildning och bentonit-järn-interaktion, vilka SKB redovisar i avsnittet som avser förvarets utveckling de första 1000 åren efter förslutning medan SSM granskar dessa processer i nästa kapitel av granskningsrapport som rör perioder med tempererat klimattillstånd mer än 1000 år efter förslutning. Anledning till detta är att processerna förväntas börja initieras direkt efter förslutning av slutförvaret men deras största inverkan på förvarets långsiktiga strålsäkerhet bedöms dock ske tusentals år efter förslutning pga. processernas långsamma utveckling. Liknande skillnader i uppdelning kan även finnas för andra processer. Det framgår dock av redovisningen om så är fallet.

SSM ställer specifika krav vid bedömningen av slutförvarets skyddsförmåga på kvantitativa analyser av effekterna på människors hälsa och miljön som särskilt är kopplat till slutförvarets utveckling under de första 1000 åren (§11 SSMFS 2008:37). I de tillhörande allmänna råden framgår att det inte enbart är processer, händelser och egenskaper som direkt kan leda till utsläpp av radioaktiva ämnen som avses utan att en utförlig redovisning även ska avse en sådan utveckling som indirekt påverkar slutförvarets långsiktiga skyddsförmåga så som transienta förhållanden, återmättnad och stabilisering av hydrogeologiska och geokemiska förhållanden. Föreskriftskrav som är relevanta men inte specifika för tidsperioden är t.ex. kravet på barriärsystemets tålighet (§5 SSMFS 2008:21) och kravet på att nödvändig säkerhet ska upprätthållas trots enstaka brist i en barriär (§7 SSMFS 2008:21). SSM:s granskning som redovisas i detta kapitel har betydelse för bedömningen av om det finns förutsättningar för SKB att uppfylla kravet på skydd av människors hälsa och den maximala årliga risken för en representativ individ i den kritiska gruppen (§5 SSMFS 2008:37). Eftersom en sådan bedömning även behöver innefatta resultat från granskning av slutförvarets initialtillstånd, tidsperioden mellan 1000 år och 100 000 år samt granskning av SKB:s konsekvensanalys, kommenteras inte förutsättningarna för kravuppfyllelse i detta kapitel.

5.2 Avfallskollin och –matris

5.2.1 Svällningsproblematik jonbytmassor, industarkoncentrat och avfallskollin

Beskrivning av SKB:s underlag

Jonbytmassor och industarkoncentrat sväller efter långvarig kontakt med vatten, vilket i synnerhet för bitumeningjutna jonbytmassor har en betydelse för slutförvarets långsiktiga säkerhet. En svällning som överstiger det tillgängliga por- och/eller voidutrymmet ger upphov till mekaniska laster på omgivande cementkonstruktioner vilket kan leda till sprickbildning och i en förlängning mer omfattande grundvattenflöden och transport av radionuklider i direkt anslutning till avfallet.

Frågan om svällning måste därför beaktas i samband med tillverkning av avfallskollin och i samband med förvarets detaljutformning för att minimera påverkan på förvarets skyddsförmåga och långsiktiga strålsäkerhet. Svällningens omfattning kan påverkas genom att reglera den procentuella inbladningen av avfall vid tillverkning av avfallskollin. Svällningen påverkas även av torkningsprocessen för jonbytmassor och industarkoncentrat.

Förståelsen för svällningsfenomen för rena jonbytmassor, cementingjutna jonbytmassor och bitumeningjutna jonbytmassor har baserats främst på experiment som utfördes under 1980- och 1990-talet, dels för obegränsad svällning, dels för svällning i ett begränsat utrymme under utveckling av ett svälltryck. Det maximala svälltrycket som kan uppstå beror på den maximalt möjliga volymökningen som kan ske. Ett sätt att begränsa uppkomsten av svälltryck är därför att tillgodose erforderligt svällutrymme. Experiment visar att om ingen volymökning kan ske överhuvudtaget blir svälltrycken höga, i storleksordningen 30-60 MPa (SKB TR-14-10). Andra experiment visar att en fixerad volymökning på 10 %, 20 % respektive 30 % ger upphov till väsentligt lägre svälltryck. Vissa experiment har också gjorts under konstant tryck vilka istället mäter den slutliga volymökningen; exempelvis kan ett fixerat svälltryck på 2,5 MPa ge upphov till en svällning runt 6 % (SKB TR-14-10).

Försök med oanvända katjonbytmassor visar på möjliga volymökningar med en faktor ca. 2,5. Resultatet av en längre värmebehandling (140°C under 12 timmar) av anjonbytmassor har visat sig ge väsentligt mindre svällning, medan värmebehandling av katjonbytmassor inte får samma positiva effekt (SKB TR-14-10 med tillhörande referenser). Efter värmebehandling genomgick en blandning av kat- och anjonbytmassor en volymökning på cirka 70 %. Effekten av värmebehandlingen tros vara en minskad jonbytesförmåga eftersom funktionella grupper degraderas medan jonbytmassans grundstruktur bibehålls. Aktiva bestrålade jonbytmassor svällde i något mindre omfattning än oanvända icke-bestrålade jonbytmassor. Oanvända jonbytmassor gav generellt upphov till något högre svälltryck än använda. Pulverformiga jonbytmassor svällde snabbare och till högre tryck i jämförelse med granuler. En högre initial vattenhalt innebär ett lägre svälltryck vilket kan förväntas med tanke på den minskade adsorptionsförmågan som den högre vattenhalten medför. Den specifika jonbytmassans jonbytesförmåga mätt i mekv./g har också en stor betydelse. Experiment visar på en mer än proportionell minskning i svälltryck med en minskning i jonbytesförmåga. Jonbytesförmågan är relaterad till förekomsten av funktionella grupper, vilket i sin tur styrs med hjälp av tillverkningsprocesser. Korslänkning mellan jonbytmassans kedjestruktur är en annan egenskap som kan styras genom tillverkningsprocesser. Denna egenskap påverkar också svällningen eftersom en ökad andel korslänkning ger ett styvare material och ett minskat

svälltryck eftersom materialets mindre elastiska egenskaper då i högre grad kan motverka den osmotiska svällningen.

Det har även gjorts ett antal studier av svällningsegenskaper för bitumeningjutna jonbytarmassor (SKB TR-14-10 med tillhörande referenser). Dessa experiment visar på en verklig svällning som motsvarar 10 – 100 % av en teoretiskt framräknad maximal svällning. För dessa material visade sig dock bestrålade prover ha en högre grad av svällning än icke-bestrålade prover. Vattenupptag i dessa material sker med en hastighet som är proportionell mot kvadratroten av tiden, vilket är en tydlig indikation på att vattenupptaget är diffusionskontrollerat. Experimenten visade som väntat att vattenupptaget ökade med ökad inblandning av jonbytarmassor. Låga temperaturer ger ett ökat vattenupptag, vilket är signifikant eftersom de allra flesta experimenten har genomförts vid rumstemperatur. Vid mycket höga inblandningsandelar sker enligt SKB en del av vattenupptaget genom bildning av sprickor och porer i bitumenmatrisen. Prover som tagits från inaktiva bitumeningjutna jonbytarmassor visar på en svällning runt maximalt 30 % vid en konstant yttre tryck på 1 MPa, där en högre grad av svällning är korrelerad med en högre inblandningsgrad av jonbytarmassa och en högre andel av katjonbytarmassa. Ett sätt att minska svälltrycket och volymexpansionen är att låta en viss svällning ske innan själva ingjutningen utförs.

Bitumen används även för ingjutning av indunstarkoncentrat och denna form av avfallsmatris kan i slutförvarsmiljön påverkas av en osmosinducerad svällning. Experiment har visat att vid andelar av avfall kring 40 % blir svälltryck och volymexpansion av samma storleksordning som för bitumeningjutna jonbytarmassor med maximala svälltryck runt 40 MPa (SKB TR-14-10 med tillhörande referenser). Vid en konstant svälltryck på 2 MPa blev den experimentellt uppmätta volymökningen cirka 8 % efter flera års vattenupptag. Runt det bitumeningjutna avfallet bildas successivt ett hydrerat lakat lager.

SKB har även berört teoretiska angreppssätt för att uppskatta bitumensvällning (SKB TR-14-10). Dessa redovisas inte explicit men de grundläggande koncepten har hämtats från tidigare vetenskapliga arbeten av Matsuda m.fl. (1992) och Nilsson m.fl. (1988). De teoretiska beräkningarna ger upphov till svälltryck som är minst tre gånger större än de experimentella mätningarna vid motsvarande volymutvidgningsandelar. SKB konstaterar dock att de teoretiska beräkningarna inte beaktar deformation av jonbytarmassor respektive att bitumenmatrisens inverkan minskar vattenupptag och svälltryck hos jonbytarmassorna. Av dessa skäl bedömer SKB att de experimentellt uppmätta lägre svälltrycken ska beaktas vid utvärdering av svällningens säkerhetsmässiga betydelse.

Teorin för jonbytarmassors svällning baseras på en kraftbalans mellan det totala osmotiska trycket och en motverkande fjäderkraft som beror på materialets elastiska egenskaper (Gregors modell, se Nilsson m.fl., 1988). Skillnaden mellan dessa utgörs av materialets effektiva svälltryck vid ett visst vattenupptag. Jonbytarmassan kan betraktas som en stark elektrolyt i vilken osmotisk vattenupptag ger upphov till en svällning. Den aktuella jonbyttkapaciteten är avgörande för det totalt möjliga vattenupptaget. Svällningen fortgår tills jämvikt uppnås dvs. då jonbytarmassans funktionella grupper har dissocierats helt. Denna kraft motverkas dock av fjäderkraften vilken ökar med ökande vattenupptag. Sambandet mellan fjäderkraft och vattenhalt måste bestämmas empiriskt men har baserats på experimentella resultat och bedömts vara nära linjärt (Matsuda m.fl. 1992). Korslänkning av jonbytarmassorna inverkar på fjäderkraften på så sätt att den motverkande fjäderkraften ökar med andelen korslänkar. En hög andel korslänkning innebär därför ett lägre effektivt svälltryck än vid en låg andel. I Matsuda m.fl. (1992) anges att den ovan beskrivna teoretiska formuleringen kan förklara experimentellt uppmätta effektiva svälltryck för olika typer av egenskaper för olika katjonbytarmassor. Den elastiska

konstanten som är avgörande för fjäderkraftens storlek behöver dock kalibreras med hjälp av experimentella data varför tillämpningen av Gregors modell i den ovan beskrivna problemformuleringen kan betraktas som semi-empirisk.

SKB har genomfört modelleringsstudier för att utvärdera vilka effekter svällning av deponerade bitumeningjutna jonbytarmassor har på det befintliga SFR förvarets mekaniska integritet (SKB R-13-12). Studien har baserats på förväntade och delvis hypotetiskt antagna förhållanden i förvarsdelarna Silo och 1BMA mot bakgrund av att dessa förvarsdelar innehåller betydande mängder bitumeningjutna jonbytarmassor. I 1BMA varierar förekomst av relevant avfall mellan olika fack i förvarsdelen och studien har fokuserats på fack 2,3,5,6 som är intressanta med avseende på bitumenkonditionerat avfall. Svällningen initieras av tillförsel av omgivande grundvatten och återmättnad av de olika förvarsdelarna, som för Silo förväntas vara cirka 25 år och för 1BMA enbart ett fåtal år.

En utgångspunkt för genomförda beräkningar har varit experimentellt bestämda svälltryck vid olika volymutvidgningsandelar (SKB TR-14-10, tabell 6-7). Vid hållfasthetsberäkningarna kvantifieras huvudspänningen i olika delar av ett tvärsnitt av Silo och 1BMA. I områden där kvoten mellan första alternativt tredje huvudspänningen och antingen materialets tryckhållfasthet eller draghållfasthet överstiger 1 definieras en risk för en mekanisk skada. Vissa förenklade antaganden har använts så som att samtliga material är linjärt elastiska vid relevanta laster, att symmetrivillkor föreligger, samt att skador som skulle kunna uppstå inte påverkar spänningsfältet. Det sistnämnda antagandet är konservativt eftersom om en skada väl skulle börja uppstå så relaxeras spänningar och det aktuella skadeområdet kan förmodas minska i storlek.

För Silo har sex beräkningsfall definierats, dels för att utröna betydelsen av förväntade förhållanden, dels att utvärdera systemets känslighet. Det första fallet har baserats på voidvolymen på 22 % för bitumenfat och 10 % för bitumenkokiller. Andra fall inkluderar alternativa antaganden kring voidvolymen inklusive ingen voidvolym alls, samt alternativa placeringar av bitumenavfall i förhållande till de sex centralt placerade schakt som hittills har använts. Beräkningsresultaten visar att vissa skador på Silo i centralt belägna kringgjutningsbruk, schaktväggar och avfallskollin kan förväntas i direkt anslutning till det bitumeningjutna avfallet. Området med skaderisk utvidgas betydligt för hypotetiska fall med lägre voidvolymen men i inget av fallen påverkas själva siloväggarna. SKB föreslår dock att en konsekvent placering av centralt belägna fat och kokiller kan genom en mekanisk degradering från svällningen orsaka axiellt belägna kanaler med högre hydraulisk konduktivitet, och de föreslår därför att placeringen av bitumeningjutet avfall kan alterneras mellan centrala och perifera positioner.

För utvärderingen av motsvarande frågor för 1BMA definierades två fall; ett fall utan återfyllnad av 1BMA och ett fall med återfyllnad med K30 betong, vilka representerar ytterligheter med avseende på förvarets konstruktion. Svälltryckets betydelse utvärderades för 50 kPa, 500 kPa och 1,5 MPa. Skadornas omfattning ökar med ökande svälltryck och vid 500 kPa är förutom mellan- och ytterväggar även golv och tak skadat. Efter återfyllnad med betong klarar dock golvet betydligt högre svälltryck (upp till 1,5 MPa) eftersom ytterväggarna inte deformeras i samma omfattning som annars. Återfyllnad mellan bergvägg och yttervägg måste ha en låg kompressibilitet för att kunna hålla emot svälltrycket. För att så långt som möjligt tillgodose krav på mekanisk integritet är det enligt SKB:s slutsatser viktigt att tillräcklig svällvolym i synnerhet om avfallet kringgjut.

SSM:s bedömning

SSM har granskat svällningsproblematiken i samband med driften av det befintliga SFR och i samband med granskning av acceptanskriterier för avfall till SFR. Denna granskning av SSM utgör en utgångspunkt för bedömning av säkerhetsanalysen SR-PSU och sammanfattas därför nedan.

SKB:s första utgåva av acceptanskriterier för avfall till SFR innefattade krav på homogenitet, hydrauliska egenskaper, samt inre mekanisk stabilitet (SKB dokID 1336074), vilka alla har viss bäring på svällningsproblematiken. Acceptanskriterierna kopplar främst till krav på att avfallet inte ska påverka omgivande barriärer negativt, liksom till scenariot med högre än förväntade grundvattenflöden genom förvaret. Viktiga frågor kopplade till avfallets hantering och konditionering utgör i detta fall bl.a. ingjutningsrecept, optimala blandningsförhållanden för avfall och matris, samt behovet av att tillgodose voidvolymen. SSM konstaterade dock att denna första utgåva innehöll brister i form av otydligt formulerade kriterier samt avsaknad av bakgrundstexter och texter som beskriver verifieringsprocedurer för acceptanskriterierna. SSM utarbetade ett föreläggande om utvecklad redovisning kopplat till acceptanskriterier för avfall bl.a. för att särskilja krav på kolli- och förvarsdelnivå (SSM2012-4914-7).

SKB:s reviderade acceptanskriterier för avfall i SFR1 innehöll mera utförliga beskrivningar av de inom området relevanta kraven, utförligare bakgrundstexter samt beskrivning av verifiering generellt eller verifiering på kolli- respektive förvarsdelnivå (SKBdoc 1336074 2.0). Av störst betydelse för svällningsproblematiken för jonbyttarmassor utgör bl.a. vattencementtal för cementkonditionerat material och maximala andelar jonbyttarmassor för bitumenkonditionerat material. Avfallsproducenten är ansvarig för att fullfölja specificerad konditioneringsprocess så att omfattning av svällningen inte medför risk för skador på omgivande barriärer. Detta gäller såväl cement- och bitumenkonditionerade jonbyttarmassor som bitumenkonditionerade indunstarkoncentrat. Lägre definierade krav ska ses som riktlinjer för att uppfylla övergripande krav som däremot ska anses vara styrande.

SSM konstaterade att denna redovisning har en lämplig struktur och innebar en vidareutveckling i jämförelse med tidigare version (SSM2012-4914-15). Beträffande svällningsproblematiken ansågs dock redovisningen inte vara tillräckligt utförlig och SKB:s allmänt hållna krav, samt angreppssätt för att begränsa svällningen inte var tillräckligt försiktigt formulerade mot bakgrund av de konceptuella osäkerheter som föreligger med avseende på svällningens omfattning och hur stora svälltryck som kan uppnås vid olika volymutvidgningsgrader (SKB TR-14-10, tabell 6-7). SSM menade att detta kan vara en kritisk fråga för den långsiktiga barriärsutvecklingen, i synnerhet för förvarsdelen 1BMA, som kan förmodas ha en lägre tålighet för svällningsproblematik i jämförelse med Silo. Av särskild stor betydelse för SSM:s bedömning av denna fråga är att SKB har utgått från vissa experimentella resultat med avseende på svälltryck och att dessa resultat på ett avgörande sätt skiljer sig från teoretiskt framräknade resultat. SSM bedömer att experimentellt motiverade lägre svälltryck delvis har sin grund i ett lågt blandningsförhållande mellan katjon- och anjonbyttarmassor (1:2) medan vissa avfallstyper till största delen innehåller katjonbyttarmassor. Detta har en betydelse eftersom det framförallt har ansetts vara katjonbyttarmassorna som ger upphov till betydande svällning. En annan fråga som kan påverka bedömningen är vilken bitumenkvalité som använts och även här är SKB:s redovisning inte heltäckande. SSM ställer sig också frågande till varför SKB inte har formulerat kriterier med avseende på totalt innehåll av jonbyttarmassor och indunstarkoncentrat snarare än enbart jonbyttarmassor. Frågan har en stark koppling till val

av deponeringsstrategi och förvarsutformning eftersom detta påverkar tillgänglig svällvolym. SSM bedömer att det finns behov av att även fortsättningsvis ställa administrativa krav på avfallets inplacering i förvaret.

I ett beslut rörande acceptanskriterierna för avfall till SFR förelägger SSM SKB att uppdatera acceptanskriterier för avfall till SFR (SSM2012-4914-33). Beträffande svällningsproblematiken och acceptanskriterier kopplade till kravet *inre mekanisk stabilitet* behöver SKB i högre grad beakta avfallets sammansättning, tillämpad deponeringsstrategi, planerad förslutningsstrategi samt förvarets konstruktion. Det behövs vidare ett bättre underlag för definition av vilka maximala svälltryck som behöver beaktas givet både tillgängliga experimentella och teoretiska resultat. Det behöver motiveras att SKB:s definition av svälltryck som utgångspunkt för analyser av påverkan på omgivande barriärer är försiktigt valt mot bakgrund av det för tillfället gällande kunskapsläget.

För bedömningen av bitumeninjutet avfall och svällningsproblematikens kontext i säkerhetsanalysen SR-PSU och SSM:s bedömning av SKB:s ansökan konstateras att implikationen för förvarets långsiktiga strålsäkerhet är degradering av betongbarriärer. Denna process påverkar den långsiktiga omfattningen av grundvattenflödet genom olika förvarsdelar och därmed uttransport och spridning av radionuklider från slutförvaret. I sitt ursprungliga opåverkade tillstånd har konstruktionsbetong i de olika förvarsdelarna en hydraulisk konduktivitet kring 10^{-9} m/s, medan avfallet i sig har flera tiopotenser högre konduktivitet (SKB TR-13-08). En omfattande lokal degradering av betong skulle kunna orsakas av svällning av jonbytmassor och industarkoncentrat om åtgärder för att tillgodose tillräckliga voidvolymen inte vidtas.

Degraderingen av betong representeras i SR-PSU av en ökning av den hydrauliska konduktiviteten, med för måttligt degraderad betong $K = 10^{-7}$ m/s, allvarligt degraderad betong $K = 10^{-5}$ m/s och för fullständigt degraderad betong $K = 10^{-3}$ m/s. SKB förutsätter i huvudscenariot inom ramen för dosberäkningar och analysen av förvarets förväntade utveckling att 1BMA är måttligt degraderad mellan 1000 – 10 000 år efter slutlig förslutning, allvarligt degraderad mellan 10 000 och 50 000 år och fullständigt degraderad därefter. Under de första 1000 åren förutsätts inget flöde eftersom SFR fortfarande befinner sig under havsbotten. Flödet genom Silo hålls på låga nivåer och påverkas litet av betongdegradering tack vare den lägre hydrauliska konduktiviteten för den omgivande bentonitbarriären. Förvarsdelarna BTF, BLA och BRT berörs inte här eftersom de inte innehåller bitumeninjutet avfall. I det särskilda fallet accelererad betongdegradering, som beaktas som ett mindre sannolikt scenario i säkerhetsanalysen SR-PSU, förutsätts 1BMA hypotetiskt vara allvarligt degraderad under de första 20 000 åren och därefter fullständigt degraderad. SKB har genomfört simuleringar av grundvattenflödet för olika stadier av och fördelningar av betongdegradering, något olika förvarsutformningar samt olika positioner av kustlinjen i förhållande till förvaret (SKB TR-13-08). Även om degraderingsförloppet har en signifikant effekt på lokala tunnelflöden är effekten i kontexten av den regionala grundvattenflödessituationen relativt liten. För BMA-förvarsdelarna och framför allt 2BMA ökar dock flödet genom avfallet på ett betydande sätt i samband med degradering av betongbarriärerna, i synnerhet vid degradering av väggarna. Förutom en modest ökning av tunnelflöden ger degraderingen också upphov till en kraftig ökning av flödet som passerar avfallet. Vid en jämförelse mellan huvudscenariot och det mindre sannolika scenariot med accelererad betongdegradering ökar den uppskattade maxdosen efter slutlig förslutning med cirka 50 % (SKB, 2015). SKB har även utfört korrigerade beräkningar för att åtgärda vissa brister i beräkningsmetoden och då funnit att den årliga dosen nästan fördubblas för fallet accelererad betongdegradering och att riskbidraget för BMA-förvarsdelarna i detta fall dominerar över Silo (SKB dokID 1585173).

Mot bakgrund av ovanstående analyser av relevanta säkerhetsanalysskontexter drar SSM slutsatsen att en snabbare betongdegradering till följd av otillräckliga åtgärder för att motverka svällningsproblematiken kan få en betydande men dock ingen dramatisk effekt på utflödet av radionuklider från slutförvaret efter slutlig förslutning. Det snabbare utflödet skulle kunna få sin största betydelse en tid efter att förvarsområdet har kommit upp från under havsytan vilket ungefärligen sammanfaller med tidpunkten för maximala doser från slutförvaret. SSM bedömer därför att det är av stor vikt att SKB vidtar nödvändiga åtgärder i samband med tillverkning av avfallskollin, detaljutformning av Silon och BMA-förvaren, samt genomför en optimal utplacering av känsliga avfallskollin för att så långt som möjligt undvika skador på förvarets betongkonstruktioner. SSM anser att svällningsproblematiken är potentiellt allvarlig men den bedöms samtidigt vara hanterbar med rimliga åtgärder och är därför inte avgörande för SSM:s ställningstagande till SKB:s ansökan. Frågan om svällning av jonbytarmassor har större betydelse för det befintliga SFR i jämförelse med tillkommande förvarsdelar. Frågan behöver en fortsatt hantering på en högre detaljeringsnivå som en del av SSM:s tillsyn av driften av det befintliga SFR.

SSM anser att identifierade brister i SKB:s redovisning, såsom den bristande analysen av experimentella och teoretiskt framräknade svällningsegenskaper för jonbytarmassor och industarkoncentrat, behöver åtgärdas. Det behövs en utökad analys, förståelse och diskussion kring vad dessa skillnader beror på med tanke på att svälltrycken vid olika volymökningsandelar har en stor betydelse för omfattningen på de åtgärder som krävs för att motverka skador på omkringliggande betongbarriärer. Uppkomna svälltryck behöver så länge samstämmighet mellan teori och experiment inte kan uppnås betraktas som en konceptuell osäkerhet och betydelsen av denna behöver belysas inom ramen för beräkningar med avseende på påverkan på förvarets betongbarriärer. SKB:s förutsatta svälltryck vid olika volymutvidgningsandelar behöver på ett tillförlitligt sätt visa på en välmotiverad spännvidd av negativa konsekvenser för omgivande barriärer, eller genom att vidta åtgärder för att säkerställa att belastningen inte överskrider konstruktionens mekaniska hållfasthet. Av SKB:s redovisning (SKB TR-14-10) framgår tydligt att experimentella insatser med avseende på svällningsegenskaper genomfördes under 1980- och 1990-talen, vilket visar på behov av att uppdatera och förbättra det experimentella underlaget. SSM har inom ramen för tillsyn av befintlig anläggning utfärdat ett föreläggande som fokuserar på acceptanskriterier för avfall till SFR (SSM2012-4941-33) som bland annat följer och reglerar denna fråga. Myndighetens förhållningssätt rörande tillsynsfrågor för befintlig anläggning av relevans vid tillståndsprövning av utbyggnad beskrivs i (SSM 18-2660).

Även om 2BMA är den förvarsdel som visats vara mest känslig för betongdegradering utifrån ett hydroperspektiv (SKB TR-13-08) konstaterar SSM att denna tillkommande förvarsdel har en begränsad betydelse i detta sammanhang eftersom inget avfall som innehåller bitumen kommer placeras där.

5.3 Betongbarriärer och betongkonstruktioner

5.3.1 Vattenmättnadsfasen

Beskrivning av SKB:s underlag

Vid uppskattning av tiden det tar för betongkonstruktionerna att vattenmättas har SKB utgått från inflödesvärden som har kalibrerats mot inflödesdata i SFR1 från 1997 (SKB R-01-02). I studien beräknades vattenmättnadstiden för Silo till ca 25 år medan övriga

bergssalar förväntas att vattenmättas på endast några år. Inflödena till SFR 1 har dock avtagit med cirka 50 % mellan 1997 och 2015, vilket innebär att den uppskattade vattenmättnadstiden kan ha underskattats (SKB dokID 1572244).

I en senare studie har varaktigheten för silons vattenmättnadsfas uppskattats genom numeriska metoder (SKB TR-14-27). Mättnadsförloppet beräknas för Silo ta mellan 13 och 53 år. Osäkerheter i uppskattningen kommer från representationen av berget i torra, dränerade och/eller odränerade förhållanden. Även egenskaperna hos siloinnehållet samt toppfyllningen har en signifikant effekt på den totala återmättnadstiden. Betongen i Silo påverkas av växelverkan med bentonitporvattnet men denna påverkan är mindre än den med grundvatten som inte har hunnit ekvibreras med bentonit (SKB dokID 1572176, SSM2015-725-61). Påverkan på betongdegradering från växelverkan med bentonit redovisas och bedöms i Del III, avsnitt 5.4 och 6.4 i vilka utvecklingen av bentonitbarriären i Silo avhandlas.

En komplettering av ansökan (SSM2015-725-60) tillfördes av SKB i samband med en förfrågan från SSM om hydrogeologifrågor och särskilt om vattenmättnadstider (SSM2015-725-40). SKB förtydligar ingående vilka beräkningar som har gjorts för att uppskatta vattenmättnadstiden för Silo och indirekt för andra delar i SFR (SKB dokID 1572244). I (SKB dokID 1564134) förtydligas även vilka antaganden som har gjorts gällande vattenflödet genom 2BMA. Känslighet för parametrering av bergets egenskaper hos resultaten har redovisats i SKB TR-13-08.

Ett belastningsfall som är avgörande för dimensioneringen av barriärkonstruktioner i betong är det yttre vattentrycket innan dess att det yttre och inre vattentrycket har jämnats ut till följd av vattenmättnadsprocessen. Barriärkonstruktionen i betong i Silo och 1-2BMA har dimensionerats för det fulla hydrostatiska vattentrycket som uppkommer när bergrummen har vattenfyllts och som beror förvarsdjupet under havsytan.

SKB antar att betongens täthet och dess hydrauliska konduktivitet förändras inom de första 100 åren efter förslutning till följd av vattenmättnadsförloppet och processer kopplade till det. Upplösta komponenter i vattenfasen så som SO_4^{2-} , HCO_3^- och Cl^- kommer att reagera med cementmineralerna, vilket ger upphov till bildning av sekundära faser (SKB R-13-40). Betydelsefulla upplösnings- och utfällningsprocesser som berörs i detta sammanhang är exempelvis ettringitbildning, bildning av Friedels salt och utfällning av taumasit. I och med att betongkonstruktionerna mättas med vatten kommer sekundära mineraler fortlöpande att bildas. Ettringit bildat efter reaktion med sulfatjoner binder vatten och fordrar stor porvolym, vilket så småningom kan leda till sprickbildning. Även om ettringit kommer att bildas som ett tunt skikt på de yttre delarna av betongkonstruktionerna, förväntas dock ingen sprickbildning till följd av denna process ske under de första 1000 åren (SKB R-13-40). Betongen kommer successivt att lakas till följd av interaktionerna med grundvattnet. Detta sker initialt genom att alkalihydroxider upplöses varpå portlandit och slutligen kalciumsilikathydraterna (C-S-H gel) lakas ur. Med urlakningsprocessen följer en viss sänkning av cementporvattnets pH som initialt är omkring pH 13 (SKB, 2015, tabell 6-4) till ca 12,5, vilket motsvarar kemisk jämvikt med portlandit (SKB R-13-40). Höga pH-värden medför en passiverande miljö som moverkar korrosion av armeringsjärn i betongen. SKB har i sin redovisning tagit hänsyn till krympningen till följd av betongens härdning, temperatursänkning till följd av vattenmättnadsfasen samt andra degraderingsprocesser på grund av korrosion av armeringsjärn respektive korrosion av genomgående formsteg i konstruktionen. Baserat på resultaten i SKB R-13-40 har parametrar föreslagits för användning i beräkningarna inom SR-PSU (SKB TR-14-10, tabell 10-4).

Sprickbildning som följd av att avfallet utövar tryck på barriärerna (SKB, 2015) diskuteras i Del III, avsnitt 6.3.8 i denna granskningsrapport. Ett antal andra processer kan även initieras som en följd vattentillströmning i betongbarriären, exempelvis gasbildning som följd av korrosion, taumasitbildning, eller svällning av jonbytarmassor. Den senare processen beskrivs utförligt i Del III, avsnitt 6.2.

Utfällning av kalcit sker huvudsakligen i en zon som börjar vid betongens ytteryta, och som rör sig genom makadamfyllningen ut mot berget där inflöde av grundvatten har antagits ske (SKB dokID 1593574). Denna utfällningszon antas förflytta sig i takt med att en alkalisk plym med förhöjd halt av löst kalcium bildas. Växelverkan mellan karbonat i grundvattnet och cementmineralerna leder till karbonatisering, vilket ger upphov till kalcitbildning. I ett förhållandevis tidigt skede efter ca 30 år, förväntas en mindre ombildning av kalcit ske vid betongens ytteryta till minerals taumasit, vars expanderande utfällningar kan verka negativt på betongens mekaniska egenskaper.

SKB har redovisat uppskattade korrosionshastigheter för kolstål under oxiderande och anoxiska förhållanden, samt vid låga och höga pH (SKB TR-14-04, tabell 5-3). För armeringsjärn i betongbarriärkonstruktionen är förhållandena med högt pH tillämpliga och korrosionshastigheter ansätts till 0,1 och 0,05 $\mu\text{m}/\text{år}$ under oxiderande respektive anoxiska betingelser. Korrosion är en viktig process för att upprätthålla reducerande redoxförhållanden genom den åtföljande förbrukningen av syre. Detta domineras dock av den betydande mängden metalliskt avfall och korrosion av avfallsmetall och förvarets redoxbuffrande förmåga beskrivs utförligt i Del III, avsnitt 6.2 i denna granskningsrapport. Efter en period med oxisk korrosion då det tillgängliga syret i slutförvaret förbrukas inställer sig reducerande betingelser varpå korrosionsprocesserna är anoxiska. För att bildad gas ska kunna läcka ut måste gasgenomsläppande passager i betongen finnas eller bildas. I betong, som har fin porstruktur, drivs gaspassager av att det uppbyggda trycket överskrider kapillärtrycket och driver bort vatten ur porer för att möjliggöra uttransport av gas. Finns det redan små sprickor i barriären är dessa tillräckliga för att släppa ut bildad gas. Som följd av korrosion av armeringsjärn och formsteg kommer ett lager av korrosionsprodukter, huvudsakligen Fe_xO_y och $\text{Fe}(\text{OH})_x$, att bildas på metallytan. Korrosionsprodukternas molvolym är större än järnets volym vilket kommer leda till en gradvis volymutvidgning i gränsytan mellan betong och metall. Detta medför mekaniska spänningar i betongen som omger armeringsjärnet (eller formstagen). Om dessa spänningar överskrider betongens draghållfasthet kommer sprickor att bildas i betongen (SKB R-13-40). Fortskridande korrosion kan medföra ökad sprickbredd. Om produkterna löses upp i genomströmmande vatten kan hålrum uppstå i det utrymme där korrosionsprodukterna bildades. Korrosionsprocessen för armerade betongbarriärer beskrivs för 1BMA i (SKB TR-14-04, avsnitt 5.4.9). Med en ansatt korrosionshastighet för kolstål under reducerande förhållanden på 0,05 $\mu\text{m}/\text{år}$, se ovan, kommer det således att ta längre än 100 000 år för armeringsjärn med tvärsnitt på 16 mm att korrodera fullständigt.

I närheten till SFR finns likströmsförbindelsen Fenno-Skan vilken orsakar potentialskillnader som eventuellt skulle kunna påverka korrosion av metalliska komponenter i förvaret. Anodisk upplösning av material skulle kunna påskyndas genom att reaktionskinetiken, som för elektrokemiska processer såsom korrosion är potentialberoende, påverkas. Redoxförhållanden skulle också kunna påverkas (SKB dokID 1434594). Påverkan på korrosionsomfattningen styrs av potentialskillnadens storlek över korroderande avfallskomponenter och armeringsjärn vilket styrs av variationen i det elektriska fältet. Baserat på mätningar och modellering av fältgradienter i närområdet uppskattas fältgradienten (vertikal) till omkring någon eller några mV/m. SKB anser i

(SKB dokID 1434594) att armering inte tillskrivs någon långsiktig funktion i SR-PSU varpå en eventuell ökad korrosionshastighet för armeringskorrosion som följd av jordströmmar inte påverkar analysens slutsatser.

1BMA

Under de första 100 åren efter förslutning antar SKB att de hydrauliska egenskaperna hos betongbarriären i 1BMA ändras jämfört med initialtillståndet. Den reparerade betongkonstruktionen antas ha en genomsnittlig hydraulisk konduktivitet på $5 \cdot 10^{-9}$ till $5 \cdot 10^{-8}$ m/s, en effektiv diffusivitet på $3,5 \cdot 10^{-12}$ m²/s och en porositet på 0,11 (SKB TR-14-10, tabell 10-4; SKB R-13-40). Även porositet i betongbarriären blir nästintill opåverkat under vattenmättnaden jämfört med initialtillståndet och ligger på ett värde på 0,11. Dessa värden används inte explicit i beräkningarna för konsekvensanalys och radionuklidtransport (SKB TR-14-09) eftersom alla scenarier antar att inget vattenflöde genom slutförvaret sker under tiden SFR ligger under havet. I beräkningen av kollektivdosen vid tidiga utsläpp tillämpas dock en hydraulisk konduktivitet på $1 \cdot 10^{-7}$ m/s i 1BMA för de första 1000 åren efter förslutning. Bottenplattan i betongkonstruktionen i 1BMA är dimensionerad för trycklast från en vattenpelare på 14,8 mvp, samt för vikten av det deponerade avfallet (SKB dokID 1577237). Initialt är kloridhalten i betongporvattnet låg men stiger till följd av inträngning av klorid i betongen från grundvattnet under de första hundra åren för att uppnå en plåtåfas mellan 200 och 600 år, då även pH buffras till ett konstant värde som följd av bildning av Friedelsalt (SKB dokID 1593574).

2BMA

Under de första 100 åren efter förslutning antar SKB att de hydrauliska egenskaperna hos betongbarriären i 2BMA förblir nästan oförändrade jämfört med initialtillståndet. Betongen antas ha en genomsnittlig hydraulisk konduktivitet på $5 \cdot 10^{-9}$ till $5 \cdot 10^{-8}$ m/s, en effektiv diffusivitet på $3,5 \cdot 10^{-12}$ m²/s och en porositet på 0,11 (SKB TR-14-10, tabell 10-4; SKB R-13-40). Kompletterande information till ansökan (SKB dokID 1564134, avsnitt 1.2.1) motsäger delvis dessa antagna värden genom påståendet att betongegenskaperna är opåverkade de första 100 åren efter förslutning. Dessa värden används dock inte explicit i beräkningarna för konsekvensanalys och radionuklidtransport (SKB TR-14-09) eftersom alla scenarier antar att inget vattenflöde genom slutförvaret sker under tiden SFR ligger under havet. För beräkning av kollektivdosen vid tidiga utsläpp används dock en hydraulisk konduktivitet på $1 \cdot 10^{-7}$ m/s i 2BMA för de första 1000 åren efter förslutning.

Analyserna i SKB R-13-40 visar att betongdegradering i större utsträckning påverkas av vidden på uppkomna sprickor snarare än frekvensen på sprickor (SKB R-13-40, avsnitt 9.3). I reaktiv transportmodelleringen av den kemiska degraderingen observeras en tydlig plåtå under perioden mellan 200 och 600 år då pH buffras i samband med bildning av Friedelsalt till ett värde på 12,8 (SKB dokID 1593574). Initialt sker utfällning av brucit och kalcit invid betongens ytteryta, därefter successivt längre ut i omgivande makadamfyllning runt betongkonstruktionerna i takt med att en alkalisk plym utvecklas runt betongen. I SKB dokID 1593574 kommenterar SKB att utifrån modelleringsresultaten i SKB R-13-40 finns inga indikationer på någon utfällning av kalcit eller dess omvandling till thaumasit i sprickor inom de första hundra åren i 2BMA. Bildning av thaumasit kan dock åtföljas av en volymökning av det fasta materialet, något som skulle kunna förväntas leda till att såväl porer i betongen som sprickor helt eller delvis fylls igen.

Silo

Då vattenmättnadens tidsutdräkt för de olika förvarsdelarna uppskattas utifrån den modellering som gjorts för Silo (SKB TR-14-27) beskrivs denna process i den övergripande inledningen för detta avsnitt. Betongbarriären i Silo antas från 50-500 år efter förslutning ha en genomsnittlig hydraulisk konduktivitet på $4 \cdot 10^{-9}$ till $7 \cdot 10^{-7}$ m/s och

en porositet på 0,11 (SKB TR-14-10, tabell 10-4; SKB R-13-40). Den effektiva diffusiviteten antas vara $3,5 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ de första 100 åren varpå den ökar till $1 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ (SKB TR-14-10, tabell 9-4). Dessa värden används dock inte explicit i beräkningarna för konsekvensanalys och radionuklidtransport (SKB TR-14-09) eftersom alla scenarier antar att inget vattenflöde genom slutförvaret sker under tiden SFR ligger under havet. För beräkning av kollektivdosen vid tidiga utsläpp används dock en hydraulisk konduktivitet på $1 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$ i Silo för de första 1000 åren efter förslutning. Den generella beskrivningen av betongbarriärens kemiska utveckling ovan är applicerbar på Silos betongkonstruktioner. Avseende svällning av bitumeninjagutna jonbytarmassor och dess eventuella påverka på betongkonstruktionen beskrivs det utförligt i Del III, avsnitt 6.2 i granskningsrapporten.

1-2BTF

Under de första tusen åren efter förslutning antas betongen i förvarsdelarna 1-2BTF bli vattenmättad. SKB redogör för vattenmättnadsprocessen i stort sett genom jämförelse med motsvarande process för betongbarriären i 1-2BMA. SKB uppskattar att återmättnadstiden för betongen 1-2BTF-förvarsdelarna inte är särskilt lång och att återmättnadsprocessen inte har någon betydelse för slutförvarets långsiktiga strålsäkerhet.

1-5BLA

Återmättnadsprocessen för betongen i BLA-förvarsdelarna avser främst sprutbetongen på väggar och tak. SKB uppskattar att tillströmning av vatten sker förhållandevis snabbt och att återmättnadsprocessen inte kommer att ha någon betydelse för förvarets långsiktiga strålsäkerhet (SKB TR-14-04, avsnitt 8.2.1).

1BRT

Inga specifika analyser görs av SKB över vattenmättningsfasen för förvarsdelen 1BRT. Konstruktionen ska enligt SKB vara dimensionerad för att motstå den fulla vattenpelaren på 150 mvp vilket innebär att dess bärande förmåga ska kunna garanteras utan att den strukturella integriteten påverkas eller att omfattande sprickbildning sker. Den hydrauliska konduktiviteten hos betongkonstruktionen för beräkningsfallet gällande tidpunkten för utsläppen väljs av SKB till $1 \times 10^{-7} \text{ m/s}$ (SKB TR-14-09, tabell 4-6). För huvudscenariot vid klimatuppvärmningen ansätts hydraulisk konduktivitet hos betongkonstruktionen till $1 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ (tabell 4-1, SKB TR-14-09), men under de första 1000 åren antar SKB att inget grundvattenflöde lämnar slutförvaret tack vare underhavsförhållanden. Den effektiva diffusiviteten och porositeten för samma scenario antas vara $2 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ respektive 0,11 (SKB TR-14-09, tabell 4-2).

Remissinstansers synpunkter

Naturskyddsföreningen och Miljöorganisationernas kärnavfallsgranskning

Föreningarna yrkar på (SSM2015-1640-32) att sökanden utför fortsatta utredningar av risken för att jordströmmar påverkar slutförvaret, inklusive utför experimentella försök.

Vidare anför remissinstansen (SSM2017-5439-8) att en förbättrad redovisning tas fram beträffande risker för korrosion från jordströmmar. Trots att det nuvarande slutförvaret för kortlivat radioaktivt driftsavfall har betydande problem med skador på betong som Föreningarna anser skulle kunna bero på rostande armering p.g.a. jordströmmar, förnekar sökanden detta och vägrar göra nya utredningar eller fältförsök. Föreningarna menar att sökanden försöker undvika att på ett fullgott sett undersöka frågeställningar som är problematiska.

SSM:s beaktande av remissynpunkt

SSM förelade SKB (SSM2012-2658-6) att inkomma med redovisning avseende betydelsen av jordströmmar vid SFR, vilket SKB har lämnat till myndigheten (SSM2014-2658-7, SKB dokID 1434594).

SSM konstaterar att den potentiella effekten av jordströmmar på de befintliga tekniska barriärerna i första hand rör korrosion av armering, vilket i sin tur kan ge upphov till sprickbildning i betongbarriären. SSM konstaterar att sprickor som uppstått i den befintliga anläggningens betongbarriärer i stor utsträckning kan härledas till processer som uppstått under uppförande och drift, såsom krympning och korrosion av armering som följd av reaktion med tillströmmande saltvatten.

För tillståndsprovningen av SKB:s ansökan om utbyggnad blir frågan om armeringskorrosion av mindre betydelse då betongbarriärerna i utbyggnaden planeras att uppföras utan armering. Avseende de kokarvattenreaktorer som avses deponeras i BRT ska dessa segmenteras vilket innebär att den möjliga potentialskillnaden som kan erhållas över de segmenterade reaktordelarna blir betydligt mindre än om reaktortankarna hade deponerats hela, vilket i sin tur innebär att en resulterande korrosionshastighet och vätgasbildning som följd av korrosion blir mindre likaså. Från ett långsiktigt strålsäkerhetsperspektiv bedöms således effekten av jordströmskorrosion vara av mindre betydelse för de utbyggda förvarsdelarna.

Myndighetens fortsatta hantering av SKB:s svar på föreläggandet sker inom ramen för ordinarie driftstillsyn. SSM:s bedömningar avseende betongkonstruktionernas utveckling efter förslutning beskrivs i avsnitt 5.3 och 6.3 i (i del III). SSM:s bedömning av SKB:s beskrivning av korrosion av metaller i avfall återfinns i avsnitt 6.2 i samma rapportdel.

SSM:s bedömning

1BMA

Till följd av krympning av betongen har genomgående sprickor observerats i den befintliga barriärkonstruktionen i 1BMA (SKB dokID 1264335, SKB R-13-40). De observerade krympningssprickorna har en karterad vidd på mellan 0,3 och 3 mm, och enligt redovisningen i SKB R-13-40 (figur 6-1), skulle det motsvara ett sprickavstånd mellan 1 och 15 m, vilket SSM noterar också är den ungefärliga dimensionen för varje kassun i betongbarriärkonstruktionen. SSM konstaterar att den installerade återfyllnaden på ca 6 m ovanför kassunlocket samt mot kassunväggarna kommer att utöva jordtryck på betongbarriärkonstruktionen. Dessa laster får betraktas som förhållandevist låga i jämförelse med en fullutvecklad vattenpelare på en relativt tät betongbarriärkonstruktion.

Till följd av vattenmättnaden sjunker konstruktionens temperatur från ca 12°C i luften under anläggningens drift till grundvattentemperaturen efter förslutning på ca 5°C. SSM konstaterar att detta skulle kunna få till följd att sprickvidden för krympningssprickorna ökar för med ca 25%, givet att hela den termiska kontraktionen i betongbarriärkonstruktionen tas upp av de befintliga krympningssprickorna, att döma av SKB:s beskrivning (SKB R-13-40).

Beroende på reparationsåtgärden för genomgående sprickor som SKB kommer att tillämpa i 1BMA för att minska den hydrauliska konduktiviteten hos betongbarriären, kommer olika grundvattenpelare att belasta konstruktionen. SSM konstaterar att om ingen reparation sker, så kommer vattentrycket som betongkonstruktionen ska motstå inte att bli så stort i och med att de genomsläppliga sprickorna, särskilt i bottenplattan, jämnar ut vattentrycket mellan in- och utsidan av kassunerna. Om konstruktionen å andra sidan

kommer att repareras så att den får en mycket låg hydraulisk konduktivitet, kommer dock hela vattenpelare på 85 m att, fram till full återmättnad efter vilken tryckgradienten utjämnats, kunna belasta konstruktionens bottenplatta, väggar samt lock, vilket den inte är dimensionerad för. Givet att reparationsåtgärderna är erforderligt dimensionerade och genomförda, bör viss sprickbildning uppstå på grund av lasten men inte i en sådan omfattning att den blir genomgående betongkonstruktionen. Därför bör den hydrauliska konduktiviteten förbli i stort sätt opåverkad på grund av vattenmättnaden som sker inom de första ca 100 åren. Om reparationsåtgärderna inte åstadkommer en kontinuerlig barriär med låg hydraulisk konduktivitet kring avfallet kan trycket på hela vattenpelare på 85 m att lokalt överföras till den ursprungliga betongbarriären i 1BMA som inte är dimensionerad för detta. I detta fall kan konstruktionens bärighet överskridas och dess hydrauliska konduktivitet öka under vattenmättnaden pga. skador i betongen orsakade av överbelastning. I och med att det är svårt att kvalitetssäkra samtliga delar av en reparation i 1BMA, i synnerhet en injektering av grundläggningen under bottenplattan och/eller av anslutningen mellan väggarna och bottenplattan, kan omfattande sprickbildning på grund av lokalt överbelastning i konstruktionen inte uteslutas. Genomförs ingen reparation kommer den hydrauliska konduktiviteten att öka marginellt på grund av ökningen av vidden för de befintliga genomgående sprickorna på grund av temperatursänkningen i samband med vattenmättnaden samtidigt som konstruktionen inte kommer att utsättas för nämnvärt högre laster på grund av grundvattenstrycket. Med hänsyn till kommentarerna i Del III, avsnitt 4.3.3 i denna rapport som gäller initialtillståndet av 1BMA bedömer SSM att det finns en osäkerhet kopplad till en reparation av betongbarriären enligt SKB dokID 1577237 avseende verifierbarhet av konstruktionens hydrauliska konduktivitet.

Armeringskorrosion har förekommit på grund av kontakt med saltvatten under driften av anläggningen i kombination med för lite täckskikt i förhållande till den korrosiva miljön. Det finns områden i betongkonstruktionen där armeringen har fått millimeterdjupa korrosionsangrepp till följd av den marina och syrerika miljön. För att de laster för vilka betongkonstruktionen i 1BMA är dimensionerad för att kunna motstå (14,8 mvp, se SKB dokID 1577237) bör lämpliga åtgärder tillämpas innan förslutning för att återställa ursprunglig funktion hos korroderad yttlig armering samt täckskikt i ytterväggarna. Om detta genomförs anser SSM att armeringskorrosionen inte bör ske i påtaglig omfattning under den relativt korta vattenmättnadsperioden. Detta beaktar även bidraget från eventuell jordströmskorrosion. Effekten av omfattande korrosion är sprickbildning i betongbarriären. SSM anser att, förutsatt att adekvata åtgärder tillämpas innan förslutning för att återsätta ursprunglig funktion hos korroderad yttlig armering, påverkan på betongens egenskaper beaktas i SKB förhållandevis pessimistiska hantering av betongens degradering, givet det initialtillstånd som ansätts i säkerhetsanalysen.

Enligt redovisningen av kemiska degraderingsprocesser i betongkonstruktionen i 1BMA (SKB R-13-40, SKB dokID 1593574) kommer inga märkbara förändringar att ske i betongbarriärkonstruktionen under de första 100 åren. SSM anser, efter att SKB förtydligat sin modellering av kemisk betongdegradering (SKB dokID 1593574) att SKB på ett ändamålsenligt sätt beskrivit den initiala kemiska utvecklingen av betongbarriärerna. I vedertagna, om än förenklade, beskrivningar av kemisk utveckling av betong (t.ex. Honda m.fl, 2009) är bildning av Friedelsalt associerat med en ökning av pH, vilket inte SKB:s modellering tydligt reflekterar. Den platåfas i pH-utvecklingen som erhålls i reaktiv transportmodelleringen (SKB R-13-40, SKB dokID 1593574, figur 3-2) under bildandet av Friedelsalt visar dock på mineralets buffrande förmåga som upprätthåller ett konstant pH på över 12,5 trots lakning av alkaliska komponenter i betongen. Detta är en följd av att SKB tillämpar ett mer komplext reaktionssystem, vilket SSM anser har beskrivits på ett godtagbart sätt.

Vattenflödet kan leda till igensättning av sprickorna i betongbarriären på grund av utfällningar med betongens lakningsprodukter längs med sprickväggarna. Minskning eller igensättning av porerna i betongkonstruktioner på grund av degraderingsprocesser har observerats i tidigare studier (Steefel och Lichtner, 1994; Pitty och Alexander, 2011). SSM:s oberoende beräkningar av sådana utfällningar längs sprickväggarna visar att, även om sprickorna inte blir helt förslutna, flödes hastigheten genom sprickorna i betongen kan reduceras av utfällningarna: för en spricka med vidd på 0,25 mm kan flödet minska med mellan en och fyra storleksordningar under de första 100 åren (SSM Rapport 2017:28, del 3, avsnitt 4.9). Även om total igensättning av sprickorna inte skulle förekomma leder utfällningarna till att vattenflödet begränsas genom betongkonstruktionen. Utfällningarna som förekommer inom de första 100 åren är mest Friedelsalt, hydrotalcit, brucit eller kalcit. Till följd av utfällningarna kan pH lokalt minska i vattnet några centimeter nedströms i betongkonstruktionen till ca 11. Samma mineralutfällningar kan förväntas förekomma även i sprickor med större vidd än i SSM:s oberoende beräkning. Med tanke på att det finns sprutbetong i bergsalarna som rymmer betongbarriärkonstruktionen, kan man också anta att brucit redan har fällts ut innan grundvattnet når betongkonstruktionen. Därför kan igensättningen bli långsammare och då mest orsakad av kalcit. Igensättning av betongsprickor bedöms vara relativt okänslig för storleken för flödes hastigheten genom sprickorna i betongkonstruktionen (i SSM Rapport 2017:28 har flödes hastigheter på upp till $2,4 \cdot 10^{-2}$ m/s använts). Även om SKB inte haft för huvudsikt att modellera igensättning av sprickor i betongen visar SKB:s redovisning i SKB R-13-40 att inneboende förutsättningar för detta fenomen finns omhändertaget i SKB:s modellering (SKB dokID 1593574), vilket reflekterar betydelsen av att beskriva den kemiska utvecklingen i cement med ett komplext reaktionssystem.

2BMA

Konstruktionen i 2BMA är dimensionerad för att stå emot lasterna från den fulla vattenpelare på ca 150 mvp samt jordtryck från den installerade återfyllnaden på ca 6 m ovanför kassunloppet, vilka är förhållandevist låga i jämförelse med vattenpelaren (SKB dokID 1577237).

SSM bedömer att SKB:s beskrivning av termisk kontraktion under vattenmättnadsfasen är godtagbar. Om inkommande grundvatten medför en sänkning av temperaruten i betongbarriärkonstruktionen med ca 7°C kommer den termiska kontraktionen att ge dragtöjningar mindre än tröskelnivån för betongen (0,1 till 0,2 ‰ enligt SKB R-13-40) och därför inte generera genomgående sprickor i betongkonstruktioner som ytterligare förändrar dess hydrauliska konduktivitet.

Med hänsyn till förhållandena ovan och till möjliga genomgående sprickor som sannolikt kan ha uppkommit i 2BMA till följd av skarven mellan olika gjutningsetapper, sättningar i grundläggningen eller grundvattentrycket, antar SKB att den hydrauliska konduktiviteten i betongbarriären ökar jämfört med den vid initialtillståndet med ca en till två storleksordningar (från $8,3 \cdot 10^{-10}$ till i ett intervall mellan $5 \cdot 10^{-9}$ och $5 \cdot 10^{-8}$ m/s, se SKB TR-14-10, tabell 10-4). Detta antagande bedöms av SSM inte vara konsekvent med SKB:s påståenden i SKB TR-14-10 avsnitt 10.3. Där uppskattas att viss sprickbildning i 2BMA kan förekomma tidigt med sprickvidder mellan 10 och 100 µm och sprickavstånd på 1 m eller större. Om dessa sprickor är genomgående betongkonstruktionen pekar analysen i SKB R-13-40 på att den hydrauliska konduktiviteten skulle kunna bli mellan $1 \cdot 10^{-9}$ till $1 \cdot 10^{-7}$ m/s. Det senare är också vad som ansätts i beräkningsfallet med kollektiv dos inom 1000 år, vilket får betraktas som konservativt. En viss stängning av sprickorna kan även förekomma till följd av tryckutjämnning mellan ut- och insida av betongkonstruktionen som skulle medföra starkt reducerade laster och med det mindre sprickvidder. Dessa

värden är också i linje med den hydrauliska konduktivitet som SKB ansätter för betongkonstruktionen i radionuklidtransportberäkningarna när grundvattenflödet blir större i samband med kustlinjens reträtt efter de första 1000 åren. SSM bedömer dock att sådana mindre förändringar av sprickbildningen inte märkbart varken påverkar porositeten eller diffusiviteten hos betongkonstruktionen, i enlighet med SKB:s antaganden i SR-PSU (SKB TR-14-09 och TR-14-10). Igensättning av betongsprickor pga. mineralutfällningar som diskuterats för 1BMA skulle eventuellt kunna förekomma även i sprickor i 2BMA men med mindre omfattning till följd av de långsammare kemiska degraderingsprocesserna i denna förvarsdel i tidigt skede.

Silo

SSM bedömer att SKB:s beskrivning av återmättnadsfasen och dess tidsutdräkt för Silo är rimlig. Givet osäkerheterna kopplat till betongbarriärens initialtillstånd finns dock frågetecken kopplat till antagandet om betongs vattengenomsläpplighet under de första 1000 åren i beräkningsfallet för kollektivdos där de parametrar som antas, såsom en hydraulisk konduktivitet på 1×10^{-7} m/s fordrar en förhållandevis sprickfri betong. Återfinns befintliga krympningsprickor i Silo i samma utsträckning som i 1BMA skulle termisk kontraktion i betongbarriärkonstruktionen på liknande sätt kunna medföra ökad sprickvidd i dessa sprickor (SKB R-13-40). Det måste dock betonas att detta är ett antagande behäftat med osäkerheter till följd av osäkerheterna avseende Silos initialtillstånd (se Del III, avsnitt 4.3).

1-2BTF

SSM bedömer att SKB:s redovisning av vattenåtermättnadsprocessen för betongen i 1-2BTF är ändamålsenlig och att det är rimligt att anta att den sker relativt fort. SSM konstaterar att sprutbetong och kringgjutningsbruk i allmänhet mycket mer porösa än konstruktionsbetong vilket innebär att ifyllningshastigheten av vatten i dessa betongbarriärer är förhållandevis snabb och återmättnadstiden till följd av detta således kort. De hydrauliska egenskaperna hos betongbarriärerna i 1-2BTF bedöms ha ansatts med rimligt konservativa värden på porositet, effektiv diffusivitet och hydraulisk konduktivitet.

1-5BLA

SSM bedömer att det är rimligt att förvarsdelens betongmaterial inte tillskrivs någon säkerhetsfunktion.

1BRT

SSM förväntar sig att återmättnadsfasen för förvarsdelen 1BRT rimligen sker inom de första 100 åren. För att den hydrauliska konduktiviteten hos betongkonstruktionen för beräkningsfallet gällande tidpunkten för utsläpp ska vara så låg som 1×10^{-7} m/s (tabell 4-6, SKB TR-14-09) krävs att konstruktionen är dimensionerad mot erforderliga laster samt med fokus på möjlig uppkomst av sprickbildning (se Del III, avsnitt 4.3.3 i denna granskningsrapport). SSM anser därför att betongkonstruktionen ska vara dimensionerad med hänsyn till grundvattentrycket samt sänkning av temperatur på grund av vatteninströmningen under vattenmättnadsfasen för att kunna reflektera den antagna vattengenomsläppligheten i det specifika beräkningsfallet. Kraven ovan skulle dock inte behövas uppfyllas för att nå den hydrauliska konduktiviteten (1×10^{-5} m/s) hos betongkonstruktionen som SKB tillämpar i huvudscenariot med det tempererade fallet (SKB TR-14-09, tabell 4-1), vilket bedöms kunna uppnås utan att ställa dess krav. SSM bedömer att SKB:s val av den effektiva diffusiviteten och porositeten för samma scenario är tillräckligt konservativa.

5.3.2 Tiden fram till 1000 år

Beskrivning av SKB:s underlag

I samtliga scenarier som beaktas i säkerhetsanalysen SR-PSU antas inget vattenflöde genom slutförvaret under tiden det befinner sig under havet, fram till ca 1000 år efter förslutning. Det kan dock konstateras att efter vattenmättnad fortgår interaktionen mellan cementmineraler och grundvatten. Friedelsaltbildning, som även berörs ovan, aktiveras i det i SFR:s grundvatten förväntade kloridhaltsintervallet vilket innebär att klorid-inträngning i betongkonstruktioner kan fördröjas och således finns en naturlig mekanism som kan motverka depassivering av ståltyorna och fördröja inducering av korrosion. Detta innebär dock inte att stålkorrosion kan uteslutas och processen finns inkorporerad i SKB:s modell. Porositetsminskning blir en bieffekt av Friedelsaltbildning vilket också illustreras i (SKB, 2015, Figur 6-27), där porositetsminimum är korrelerat med utfällningen av Friedelsalt mellan 200 och 600 år efter förslutning. På samma sätt som sekundära mineraler kan inducera sprickor i betongen genom ökad volym så är de förväntade korrosionsprodukterna, Fe_xO_y och $\text{Fe}(\text{OH})_x$, volym större än den för järnet vilket kan leda till ökade mekaniska spänningar i betongen som omgärdar armeringsjärnet.

1BMA

En hydraulisk konduktivitet på $1 \cdot 10^{-7}$ m/s används för 1BMA i beräkning av kollektivdosen vid tidiga utsläpp (SKB TR-14-09). För övriga scenarier antar SKB att inget vattenflöde genom slutförvaret sker under tiden SFR ligger under havet fram till ca 1000 år efter förslutning. Enligt degraderingsberäkningarna i SKB R-13-40 sjunker pH till 12,5 i 1BMA under de första 200 åren, vilket sker trots uppkomsten av Friedelsalt. Detta har diskuterats i delen som avhandlar vattenmättnadsfasen. Vidare redovisas i SKB R-13-40 resultat av betongdegradering i 1BMA där reparationsåtgärder har genomförts för att motverka effekten av genomgående sprickor i betongbarriärkonstruktionen. Analyserna tar dock inte hänsyn till någon igensättningseffekt i dessa sprickor på grund av utfällning av lakningsprodukter. Reparation av genomgående sprickor i 1BMA skulle enligt SKB leda till att sänkningen av pH under ett värde på ca 12 senareläggs med ca 600 år, medan sänkning av pH under 10 försenas med ca 3 000 år. Reparationen fördröjer sänkningen av pH men under tiden mellan ca 13 000 och 20 000 år har pH ändå nått ett värde på ca 8, som för fallet utan reparation. I (SKB R-14-01) modelleras också pH-utvecklingen i 1BMA som en omrörd tank. I denna modellering inbegrips även interaktion med avfallet. Rapporten indikerar att pH håller sig på ett värde större än 12,5 fram till ca 5 000 år. Betongens porositet antas under de första 2000 åren vara opåverkad (SKB R-13-40) medan flödes hastigheten genom 1BMA antas bli $3,1 \cdot 10^{-15}$ m/s efter vattenmättnad och $1,0 \cdot 10^{-12}$ m/s vid 1000 år efter förslutning (SKB TR-13-08; SKB dokID 1564134).

2BMA

Efter 100 år antas betongen bli måttligt degraderad med en genomsnittlig hydraulisk konduktivitet på 10^{-7} m/s och en effektiv diffusivitet på $5 \cdot 10^{-12}$ m²/s (SKB TR-13-09, tabell 10-1; SKB R-13-40). Som redan nämnts antas i samtliga scenarier att inget flöde genom förvaret de första 1000 åren då förvaret ligger under havet varpå dessa värden endast används för beräkning av kollektivdosen vid tidiga utsläpp (SKB TR-14-09). Resultaten från reaktiv transportberäkningarna på 2BMA (SKB R-13-40) pekar på att porositetsförändringarna kommer att vara försumbara under de första 1000 åren och att inga skador på grund av svällning av ettringit förväntas förekomma. Förekomsten av Friedelsalt i 2BMA är som störst under perioden 300 -700 år efter förslutning. Noterbart är att ettringitens svällande effekt kompenserar ökningen av porositet under denna tidsperiod. Under hela perioden på 1000 år bör pH i betongkonstruktionen i 2BMA hålla sig över värdet på 12,5 (SKB R-13-40). Efter ca 600 år minskar pH monotont till följd av

utlakningen av alkaliska komponenter till grundvattnet Efter att bildningen av Friedelsalt har avstannat upphör även dess pH-buffrande förmåga och en minskning av pH erhålls. Vid 1000 år har pH sjunkit till knappt 12,8 (SKB dokID 1593574). Även modelleringen i SKB R-13-40 visar att utfällningar i betongsprickor kan leda till igensättning, vilka inte är explicit modellerade av SKB. En front av Friedelsalt propagerar i betongsprickorna och kan nå upp mot 5 cm inom 100 år och ca 15 cm inom 1 000 år. Flödes hastigheten genom 2BMA antas efter vattenmättnad bli ca $1,8 \cdot 10^{-16}$ och $1,2 \cdot 10^{-12}$ m/s vid 1000 år efter förslutning (SKB TR-13-08; SKB dokID 1564134).

1-2BTF

Betongbarriärerna i 1-2BTF förväntas degradera med liknande mekanismer som betongkonstruktionerna i andra förvarsdelar (t.ex. betongväggarna i 1-2BMA och betongcylindern i Silo). Sprutbetong och kringgjutningsbruk brukar i allmänhet ha cirka tre gånger högre porositet jämfört med konstruktionsbetong, som inte finns i 1-2BTF.

I SKB:s modellering av vattenflöde genom förvarets närzon är avfallbetongtankar i 1-2BTF tillskriven säkerhetsfunktionen att begränsa vattenflöde. Initialt ansätter SKB $8,30 \cdot 10^{-9}$ m/s för hydraulisk konduktivitet till betongbarriärerna i BTF (SKB TR-13-08, tabell 3-3). Värdet är en storleksordning högre än det som ansätts för konstruktionsbetong.

1-5BLA

1BLA innehar endast av betonggolvet och sprutbetong på väggar och tak. Betongbarriärerna i 2-5BLA innehar även betongväggar. Betongen i BLA-förvarsdelarna förväntas inte ha någon betydelsefull förmåga att begränsa vattenflöde (SKB TR-14-04, avsnitt 8.4.1). SKB har därför inte tillskrivit någon säkerhetsfunktion för betongbarriärerna i BLA-förvarsdelarna i SR-PSU. Den initiala hydrauliska konduktiviteten för dessa material har ansatts till $1 \cdot 10^{-3}$ m/s, dvs. samma som den hos makadam (SKB TR-13-08, tabell 3-3). Det har även antagits i radionuklidtransportmodelleringen att dessa material inte har någon sorptionsförmåga (SKB TR-14-09, avsnitt 4.1.1).

1BRT

De värden som gäller för huvudscenariot eller scenariot med beräkningsfallet gällande tidpunkten för utsläpp antas av SKB förbli oförändrade jämfört med de som gäller under vattenmättandet av förvarsdelen (se Del III, avsnitt 6.3.1.1 i denna granskningsrapport).

SSM:s bedömning

SSM:s oberoende beräkningar (SSM Rapport 2017:31, del 1, avsnitt 4.1.5) visar att deformationerna i bergmassan i samband med tidsrelaterad degradering av bergets hållfasthetsegenskaper utövar laster på återfyllnaden och betongkonstruktioner i bergrummen 1-2BMA. Kontinuumanalyserna visar att det effektiva trycket (exklusivt grundvattentrycket) i återfyllnaden blir som högst på ca 0,7 MPa i 1BMA och ca 1,3 MPa för 2BMA. I betongkonstruktionerna blir det effektiva trycket på ca 1 MPa i 1BMA och på ca 1,5 MPa i 2BMA. Den tidsrelaterade degraderingen av bergets hållfasthetsegenskaper har modellerats för 20 000 år efter förslutning men visas inte förändra lastförhållandena i återfyllnaden och betongkonstruktionerna. Lokalt kan det förekomma enstaka bergblockkras som dock endast påverkar trycket med tillägg på några MPa. Som diskuterats i kapitel 4 i denna rapport, som avhandlar förvarets initialtillstånd, så är diffusiviteten i betongbarriären tillräckligt okänslig för kemiska och mekaniska degraderingsprocesser, vilket gör att SKB:s antagande med ett värde på $5 \cdot 10^{-12}$ m²/s efter vattenmättningen anses av SSM att vara konservativt.

SKB:s modellering av kemisk betongdegradering bedöms ha beaktat de viktigaste processerna och beskrivit dem på ett ändamålsenligt sätt. Friedelsaltbildning och dess pH-

buffringskapacitet har förtydligats i och med kompletteringen till ansökan (SKB dokID 1593574). Påverkan av Mg^{2+} i grundvattnet på pH och bildning av brucit har omhändertagits i reaktivtransportmodelleringen i (SKB R-13-40, avsnitt 7.4.2) och brucitutfällning har förtydligats i (SKB dokID 1593574). En utförligare bedömning av denna process sker i delen ovan som avser vattenmättnadsfasen. 1BMA

Samma bedömning om den hydrauliska konduktiviteten, diffusiviteten och porositeten under vattenmättnadstid anser SSM gälla även den första 1000 åren efter förslutning. Detta innebär att även om SKB skulle ha underskattat den hydrauliska konduktiviteten vore grundvattenflödet inte tillräckligt stort för att påverka degraderingsprocesserna eller radionuklidtransporten innan landsförhållandena råder ovanför SFR. Enligt modelleringarna av degraderingsprocesserna i SKB R-13-40 kommer inga märkbara förändringar fram till 1000 år efter förslutning. Slutföring av utjämning av vattentrycket mellan ut- och insida av konstruktionen leder till att lasterna minskar avsevärt samtidigt som den mekaniska hållfastheten hos betongbarriärkonstruktionen inte förändras nämnvärt. Påverkan på betongen av produkter från armeringskorrosion bedöms inte vara betydande under denna relativt korta tidsperiod.

2BMA

Samma bedömning om den hydrauliska konduktiviteten, diffusiviteten och porositeten under vattenmättnadstiden anser SSM gälla även de första 1000 åren efter förslutning. Detta innebär att även om SKB skulle ha underskattat den hydrauliska konduktiviteten vore grundvattenflödet inte tillräckligt stort för att påverka degraderingsprocesserna eller radionuklidtransporten innan landsförhållandena råder ovanför SFR. Enligt modelleringarna av degraderingsprocesserna i SKB R-13-40 kommer inga märkbara förändringar fram till 1000 åren efter förslutning. Slutföring av utjämning av vattentrycket mellan ut- och insida av konstruktionen leder till att lasterna minskar avsevärt samtidigt som den mekaniska hållfastheten hos betongbarriärkonstruktionen inte förändras nämnvärt.

Silo

Samma bedömning om den hydrauliska konduktiviteten, diffusiviteten och porositeten under vattenmättnadstiden anser SSM gälla även de första 1000 åren efter förslutning. Detta innebär att även om SKB skulle ha underskattat den hydrauliska konduktiviteten vore grundvattenflödet inte tillräckligt stort för att påverka degraderingsprocesserna eller radionuklidtransporten innan landsförhållandena råder ovanför SFR. Enligt modelleringarna av degraderingsprocesserna i SKB R-13-40 kommer inga märkbara förändringar fram till 1000 åren efter förslutning.

1-2BTF och 1-5BLA

SSM bedömer att SKB:s redovisning för processutvecklingen av betongbarriärerna i 1-2BTF är ändamålsenlig. SKB:s antaganden för betongbarriärernas skyddsförmåga i 1-2BTF bedöms vara rimligt konservativa. SSM anser att det är rimligt att anta att betongtankarna i 1-2BTF med en tjocklek på 0,15 meter (SKB TR-14-02, tabell 3-10) initialt har en hydraulisk konduktivitet 10 gånger högre än de betydligt tjockare betongväggarna i andra mer kvalificerade förvarsdelar. När det gäller 1-5BLA tillskrivs ingen skyddsförmåga alls för de betongbarriärerna vilket per definition är konservativt.

1BRT

SSM gör liknande bedömningar i frågan om hydraulisk konduktivitet, effektiv diffusivitet samt porositet för tiden fram till 1000 år som för vattenmättnadstiden (se Del III, avsnitt 6.3.1 i denna granskningsrapport).

5.4 Lerbarriärer

Förvarssystemets referensutveckling efter förslutning har delats in i tre delar; de första 1000 åren efter förslutning (kapitel 5 i denna granskningsrapport), efter 1000 år med tempererade klimatförhållanden (kapitel 6), samt med periglaciala klimatförhållanden (kapitel 7). Det bör noteras att SKB inte inkluderar det glaciala klimatförhållandet i referensutvecklingen. Tre klimatfall som representerar förlängda interglaciala förhållanden i Forsmark ingår i referensutvecklingen, dvs. klimatfallen med tidigt periglacialt klimat, global uppvärmning och förlängd global uppvärmning (SKB, 2015, avsnitt 6.1).

Efter förslutning kommer de tekniska barriärerna att bli mättade med vatten. Återmåttnadstiden är relativt kort och antas av SKB att vara omedelbar i de flesta fall som redovisas i säkerhetsanalysen med tanke på den relativt långa tid som säkerhetsanalysen omfattar (SKB, 2015, avsnitt 6.3). SKB:s klimatmodellering visar att en horisontell förflyttning av strandlinjen till en plats ovanför SFR-förvaret kommer att ske år 3000 e Kr (SKB, 2015, avsnitt 6.3.1). Detta innebär att under nästan hela de första 1000 åren kommer förvarets område att ligga under havet och det totala vattenflödet genom hela förvarets område förväntas endast vara några kubikmeter per år. Vattenflödet blir ännu lägre genom Silo (mindre än två liter per år) som har en betongcylinder omgiven av bentonit (SKB TR-13-08, tabeller 4-2 och 4-3). Det mycket låga vattenflödet genom förvarets område innebär att de hydrauliska processerna i bentonitbarriärerna kan betraktas vara dominerade av diffusion under de första 1000 åren.

De processer i bentoniten som har beaktats av SKB och som har säkerhetsbetydelse är (1) vattenupptag och transport under omättade förhållanden, (2) kanalbildning med efterföljande erosion, (3) inverkan av gas på säkerhet för Silo, (4) omvandling av montmorillonit och accessoriska mineraler, (5) cementering och dess inverkan på bentonitens mekaniska egenskaper, (6) kolloidbildning från bentonit, (7) bentonit-järn-interaktion, samt (8) frysning av bentoniten (SKB, 2015, avsnitt 6.3.8; SKB TR-14-04, kapitel 7). De första tre processerna sker huvudsakligen inom de första 1000 åren efter förslutning av slutförvaret och granskas och bedöms således i detta avsnitt. Processerna ”mineralomvandling av montmorillonit”, ”cementering och dess påverkan på bentonitens mekaniska egenskaper”, ”kolloidbildning från bentonit samt mobilitet av kolloider” samt ”montmorillonit-järn-interaktion” har störst inverkan på förvarets långsiktiga strålsäkerhet efter ett till flera tusen år, trots att samtliga processutvecklingar kan ha påbörjats direkt efter förslutning av slutförvaret. Utvecklingen av dessa processer granskas och bedöms i Del III, avsnitt 6.4 som behandlar utvecklingen av lerbarriärerna efter 1000 år under tempererade klimatförhållanden. Processen ”frysning av bentoniten” förväntas ske endast under kallt klimat och granskas och bedöms i kapitel 7 som handlar om förvarets utveckling efter tusen år under periglaciala klimatförhållanden. Denna indelning av processerna till olika tidsperioder skiljer sig från den SKB gör i SR-PSU (SKB, 2015, avsnitt 6.3.8, 6.4.8 samt 6.5.8). Skillnaden är att SKB:s indelning baseras mer på när processen påbörjas och indelningen i föreliggande granskningsrapport har mer betoning på när processen har störst inverkan på den långsiktiga strålsäkerheten. Processer relevanta för radionuklidtransport, såsom diffusion, advektion genom lerbarriärerna samt sorption av radionuklider på lerbarriärerna, granskas och bedöms tillsammans med radionuklidtransport i Del III, avsnitt 6.9 i denna granskningsrapport. Termisk utveckling i lerbarriärerna under det tempererade klimatförhållandet har även redovisats av SKB (t.ex. SKB TR-14-04, avsnitt 7.1.1 och 5.1.1). SSM instämmer med SKB att denna process har ringa betydelse för hela förvarets utveckling pga. den försumbara värmegenereringen från

metallkorrosion och mikrobiell degradering av olika organiska material i förvaret. Processen granskas därför inte vidare i denna granskningsrapport.

Granskningen och bedömningen av lerbarriärernas processutveckling fokuserar i huvudsak på utvecklingen och degraderingen av bentonitfyllningen mellan betongväggen och berget i Silo, samt på utvecklingen av den blandning av 10 % bentonit med 90 % sand som används i toppen och botten av Silo. SKB:s redovisning av de processer som sker i lermaterialet efter förslutning avser också i första hand dessa barriärer. Bentoniten används även i olika pluggsektioner som kommer att installeras vid förslutning av förvaret. I samtliga pluggsektioner finns en hydrauliskt tät sektion av bentonit eller en sektion av en blandning av 30 % bentonit och 70 % krossat berg vilket ska fungera som ett mothåll i sektionen (se Del III, avsnitt 4.4 i denna granskningsrapport). SSM vill påpeka att processutvecklingen i dessa barriärer är desamma som i de som sker i bentonitfyllningen i Silo och utvecklingens säkerhetsbetydelse i dessa barriärer är i allmänhet mindre än i bentonitfyllningen i Silo, t.ex. med degradering av en femtedel av bentonitfyllningen (pga. islinnbildning) kan flödet genom avfallet i Silo öka i ungefär samma mängd som i fallet alla hydrauliskt täta sektioner i pluggar rund Silo har blivit svårt degraderade (SKB TR-13-08, tabeller 6-6 och 6-8).

Förutom lerbarriären av bentonit finns ytterligare en barriär i Silo, nämligen betongväggen. Flera utvecklingsprocesser för bentonitfyllningen är starkt kopplade till utvecklingsprocesserna i betongväggen. De processer i betongväggen som har säkerhetsbetydelse för Silo är de olika degraderingsprocesser vilka granskas och bedöms i första hand i avsnitten som rör betongbarriärernas degradering (Del III, avsnitt 5.3 och 6.3) i denna granskningsrapport. Utvecklingsprocesserna i bägge barriärer (betongväggen och bentonitfyllnaden) i Silo sker dock relativt långsamt och har försumbar inverkan på Silos skyddsförmåga under de första 1000 åren. Dessa processer samt deras koppling granskas och bedöms i kapitlet som avhandlar förvarets utveckling efter 1000 år under tempererade förhållanden i Del III, avsnitt 6.4.3.

5.4.1 Vattenupptag och transport under omättade förhållanden

Beskrivning av SKB:s underlag

I detta avsnitt granskas och bedöms SKB:s redovisning om vattenmättnadsprocessen i Silo med fokus på återmättnad av bentonitfyllningen. Återmättnad av bentonit i andra förvarsutrymmen sker med liknande underliggande mekanismer.

Silos utformning med ett flertal typer av material i olika geometriska konfigurationer gör att vattenmättnadsfasen blir mycket komplicerad. Först måste vattnet från berget runt Silo penetrera genom sprutbetongen på bergväggen, vilket främst sker genom sprickorna i betongen. Lokalt behöver bentonitfyllnaden vara återmättad innan vattnet kan transporteras vidare till betongväggen. Därefter återstår penetration genom fyllningen med cement eller betong mellan avfallskollina och betongväggen, vilka måste vattenmättas innan grundvattnet kan nå avfallskollina. (SKB TR-14-04, avsnitt 7.2.1).

Lermaterialet i bentonitfyllningen återmättas genom inflöde av porvatten från bergmatrisen och/eller grundvatten från vattenförande sprickor i omgivande berg. Vatten-transport genom bergmatrisen som ett poröst material är en komplicerad process som bl.a. beror på materialets sammansättning, temperatur, vattenmättnadsgrad samt vattenkvot. Drivkraften för inflödet är den hydrauliska gradient som råder mellan berget och förvarsutrymmena efter bergguttaget. Gradienten börjar minska direkt efter förslutningen av

slutförvaret när tomrummet i olika förvarsutrymmen blir fylld med vatten. För vattenflödet genom bentonitfyllningen spelar även relativ fuktighet en viktig roll. För vatten-transport genom vattenförande sprickor är sprickfrekvens och tillgång till vatten vid sprickans mynning viktiga faktorer (SKB TR-14-04, avsnitt 7.2.1).

Underlaget för SKB:s modellering av återmättnadsprocessen i bentonitfyllningen i Silo (SKB TR-14-27) liknar SKB:s modellering av samma process för buffert och återfyllnad i SR-Site för slutförvaret för använt kärnbränsle (SKB TR-10-11). Återmättnadsprocessen i bentoniten representeras som vattenströmning i ett omättat poröst material med tvåfasflöde av vatten och luft. Vattenpotentialen i bentoniten under omättade förhållanden är negativ (suction), vilket är den drivande kraften för återmättnadsprocessen. Den kan uttryckas som summan av matrisens kapillära potential och den osmotiska potentialen. Den osmotiska komponenten beaktas för att ta hänsyn till lerans elektriska laddning (Dueck 2004, avsnitt 2.2.1; Fredlund och Rahardjo, 1993, kapitel 4; Szymkiewicz, 2013, kapitel 2). Vattenretentionskurvan, som beskriver förhållandet mellan vattenmättnadsgraden och vattenpotentialen, modelleras av SKB med hjälp av van Genuchten's ekvation eller en kvadratrelation (SKB TR-14-27, ekvationer 2-1, 2-2). Massöverföring i vätskefasen och ångfasen antas ske antingen genom diffusion eller genom Darcy-flöde (SKB TR-14-27, ekvationer A-7, A-8, A-11 och A-12). Inverkan av termiska processer på återmättnadsprocessen modelleras genom att ett flertal faktorer antas vara beroende av temperaturen, såsom vattnets och vattenångans densitet, den relativa fuktigheten, vattenångstrycket, vattnets viskositet samt vattenångans diffusivitet (SKB TR-14-27, ekvationer A-13, A-14, m.fl.).

Två extrema randvillkor av vattentrycket i berget används; en dränerad representation respektive en odränerad representation. Den odränerade representationen kan betraktas som att man helt negligerar inverkan på vattentrycket från den globala hydrauliska utvecklingen samt inverkan från uttaget av berg i närheten av Silo, medan den dränerade representationen överdriver den sistnämnda inverkan. Permeabilitet hos berget i modellen kalibreras så att det uppmätta inflödet till bergutrymmet inryms i de två extrema fallen (SKB TR-14-27, avsnitt 2.2). De begynnelsevillkor som representeras av de olika materialens initialtillstånd tas ut för modellen från SKB:s andra redovisningar för Silos initialtillstånd (t.ex. SKB TR-15-05; SKB R-03-30; SKB IPR-99-23).

Modelleringsresultaten visar att endast toppdelen av Silo förblir omättad 10 år efter förslutningen, om det odränerade randvillkoret används. Nästan hela Silo är fortfarande omättad inom 10 år om man antar det dränerade randvillkoret. I både fallen är det toppen av Silo som sist blir vattenmättad (upp till 99 %), efter 13 respektive 53 år för det odränerade respektive dränerade randvillkoret (SKB TR-14-27, avsnitt 2.4.1). Andra modelleringar ger jämförbara resultat (SKB R-01-02, kapitel 15).

SSM:s bedömning

SSM bedömer att SKB:s redovisning av vattenåtermättnadsprocessen för Silo är vetenskapligt välgrundad och att SKB:s modelleringsresultat är trovärdiga. Precis som i redovisningen i SR-Site har SKB använt vanligt förekommande angreppssätt och modelleringsstrategier för att kvantifiera återmättnadsprocessen. Konceptuella modeller som har använts bygger till stor del på väletablerad kunskap om bl.a. flerfasströmning. De relevanta parametrar som används i modellen erhålls från SKB:s utredning i samband med laboratorieförsök på prover från Silo eller från drift av det befintligt SFR och bedöms därför vara tillförlitliga.

SSM anser att SKB:s angreppssätt med två gränssättande randvillkor, dvs. odränerad respektive dränerad representation av berget för att täcka in den globala förändringen av

grundvattentrycket i berget, väl har rymt in den rådande situationen i omgivning kring Silo, eftersom randvillkoren har kalibrerats mot det uppmätta inflödet till Silo under drift av anläggningen.

SSM instämmer med SKB att den mycket korta tiden för återmättnad av bentoniten i Silo (tio till tiotals år) kommer att ha relativt liten inverkan på andra utvecklingsprocesser i Silo och därmed ha försumbar säkerhetsbetydelse för slutförvaret.

I SKB:s modellering antas att luften som befinner sig i förvaret vid förslutningen har möjlighet att ledas ut under återmättnadsprocessen. SSM anser att detta är ett rimligt antagande med tanke på att återmättnad sker heterogent i förvarsutrymmen och den kvarvarande luften har en möjlighet att ledas ut från den del i vilken återmättnad inte har påbörjats. SSM instämmer med SKB att återmättnadstiden kan bli betydligt längre, t.ex. upp till flera hundra år för Silo (SKB TR-14-04, avsnitt 7.2.1), om den infångade luften inte skulle kunna lämna förvarsutrymmen under återmättnadsprocessen. SSM bedömer dock att sannolikheten för detta är liten eftersom återmättnad inte kommer att ske homogent i bentonitbarriären och det alltid finns sammankopplade vägar för uttransport av gasen. StrålsäkerhetskONSEKVENSEN till långdragen återmättnad i flera hundraårsbedöms inte vara betydande då förvaret fortfarande ligger under havsvatten.

5.4.2 Kanalbildning med efterföljande erosion

Beskrivning av SKB:s underlag

Vid återmättnad av bentonitfyllningen kan vattnet komma antingen från några punkter i dräneringssystemet eller genom vissa sprickor i bergytan som inte täcks av dräneringssystemet. Innan motstående svälltryck bildas i bentoniten kan mer vatten tränga in i bentoniten än bentoniten klarar av att ta upp, vilket kan leda till att en vattenfylld kanal bildas i bentoniten. Vattentransport genom kanalen kommer att ta med sig partiklar från bentoniten och leda till fysikalisk erosion.

Efter att dränering av berget runt Silo har avslutats och förvarsdelen har förslutits kommer vattentrycket att öka. Eftersom svälltrycket av bentonitfyllningen är för lågt (mindre än 300 kPa) och det hydrostatiska vattentrycket i Silos djup är mellan 600 och 1300 kPa, kommer det sannolikt att uppstå kanalbildning med efterföljande erosion i bentonitfyllningen. Ett alternativ kan vara att bentoniten självtätas lokalt och istället för bildning av genomgående kanaler bildas slutna vattenfickor, dvs. stillastående vatten i bentonitfyllningen (SKB, 2015, avsnitt 6.3.8). Vilken process som kan ske beror på bentonitfyllningens självläkningsförmåga för att täta kanalerna (SKB TR-10-27, kapitel 3). I båda fallen kan lokal förlust av bentonit uppkomma genom att antingen en öppen kanal eller ett hålrum bildas inom bentonitfyllningen.

SKB:s förståelse av mekanismer bakom processen kanalbildningserosion grundar sig främst från tidigare utredningar såsom KBS-3H-studierna, Baclo-projektet och Buffertinstallationsprojektet (SKB TR-14-04, avsnitt 7.2.4) som även tidigare har redovisats i säkerhetsanalysen SR-Site i samband med tillståndsansökning för slutförvaret för använt kärnbränsle (SKB TR-10-47, avsnitt 3.3.4).

SKB uppskattar massförlust vid kanalbildningserosion med en framtagen empirisk ekvation (SKB TR-10-47, ekvation 3-13). Parametrarna i ekvationen erhålls från laborietest av bentonitmaterialet i Silo (SKB TR-15-05). Med ett antagande att 10 % av den totala mängden av vatten som behövs för att fylla alla tomrum i Silo leder till kanalbildningserosion, kan massförlusten i bentonitfyllningen i förvarsdelen till följd av

denna erosion vara mellan 5 och 500 kg (SKB TR-14-27, avsnitt 3.2). Modellering med det i SR-Site utvecklade tillvägagångssättet konstaterar SKB att en kanal representerad med ett halvsfäriskt tomrum med en radie på 0,5 m kan tätas med hjälp av bentonitens självläkningsförmåga. Den slutliga densiteten i den centrala delen av tomrumsområdet kan dock vara upp till 50 % lägre än den initiala densiteten (SKB TR-14-27, avsnitt 3.3).

SKB förväntar sig att en relativt stor massförlust inte helt går att undvika, men samtidigt argumenterar SKB att denna massa, med hänsyn tagen till alla olika osäkerheter vid framtagning av resultat, fortfarande är liten i jämförelse med den totala massan av bentonitfyllningen i Silo (flera tusen ton), och är obetydlig för Silos långsiktiga skyddsförmåga. SKB anser att osäkerhet i uppskattningen av massförlusten beror på osäkerheter i bestämningen av bentonitfyllningens egenskaper, framför allt det initiala svälltrycket (SKB TR-14-04, avsnitt 7.2.4).

SSM:s bedömning

SSM bedömer att SKB:s redovisning av kanalbildning med efterföljande erosion är ändamålsenlig och slutsatserna i redovisningen är trovärdiga. SKB:s förståelse av underliggande mekanismer för kanalbildningserosion bygger främst på den som togs fram i SR-Site-redovisningen för tillståndsansökning för slutförvaret för använt kärnbränsle vilket bedömdes som godtagbar i myndighetens tidigare granskning. Liknande bedömningar gjordes av myndigheten i samband med granskningen av SR-Site-redovisningen (SSM 2018:07, avsnitt 4.9) för SKB:s empiriska angreppssätt för uppskattning av massförlust vid kanalbildningserosion samt för SKB:s kopplade hydrauliska och mekaniska (HM) modellering av bentonitens självläkningsförmåga att täta en bildad genomgående kanal.

SSM instämmer med SKB att data till de viktigaste parametrarna för att kvantifiera kanalbildningserosionens omfattning och säkerhetsksekvenser fortfarande är knapphändiga. SKB behöver i kommande steg av sitt program mer ingående utreda relevanta egenskaper för just den typ av bentonit som används i Silo för att tillföra mer tillförlitliga data för modelleringen.

5.4.3 Inverkan av gas på Silos strålsäkerhet

Beskrivning av SKB:s underlag

Bildning av gas i SFR-förvarets olika förvarsutrymmen orsakas främst av korrosion av metaller så som aluminium i avfallet, av armeringsjärn i betong, och avfallets plåtfat och plåtkokiller. Dessutom förekommer andra gasbildande processer så som mikrobiell degradering av jonbytarmassor och andra organiska material i avfallet, samt radiolys av vatten. En del av gasen konsumeras av andra processer (t.ex. mikrobiell metanbildning) eller löses upp i grundvattnet enligt Henrys lag. Den största andelen av bildad gas förekommer som en diskret gasfas i slutförvarsmiljön och kommer att transporteras bort från de olika förvarsutrymmena (SKB, 2015, avsnitt 6.3.7).

Flera experimentella och teoretiska studier visar på att det finns ett tröskelvärde för gstryck för att gas ska kunna transporteras genom tekniska barriärer av betong. Värdet kallas ibland för genombrottstryck. Utöver grundvattentrycket på förvarsdjup, utgör genombrottstrycket även överskottet för att övervinna kapillärkraften och pressa ut porvattnet ur betong eller ur andra cementbaserade material (SKB TR-14-04, avsnitt 7.2.3). Det har dessutom observerats att gasen endast transporteras ut genom några få genomgående sprickor i betongen med högst permeabilitet. Vatten som pressas ut ur porös

betong utgör endast en liten del (1 till 2 %) av den totala mängden av porvatten i betongen (Björkenstam, 1997).

Situationen är likartat i tekniska barriärer av bentonit, om än mera komplex än motsvarande i betong och cement pga. att bentoniten är mer plastisk. Bentoniten har relativt högt transportmotstånd i allmänhet och för gas i synnerhet. Resultat från en förhållandevis stor uppsättning av tester visar att den del av gasen som är upplöst i porvattnet i bentoniten transporteras genom vattenmättad kompakterad bentonit med hög densitet via diffusion, innan gastrycket eventuellt överskrider den effektiva spänningen och kohesionen i bentoniten plus ett tryck från en eventuell vattenpelare. Efter genombrottet av gas som en diskret gasfas sjunker gastrycket till en nivå som utgörs av den effektiva spänningen hos bentoniten och det eventuella trycket från vattenpelaren. Gasen transporteras sedan genom ett fåtal nyöppnade makroskopiska sprickor och mängden tvångsförflyttat porvatten från bentoniten till följd av gastransport blir relativt liten. Mekanismen för gastransporten grundar sig på den klassiska teorin för hydraulisk spräckning (SKB TR-03-02, avsnitt 5.1; SKB TR-05-13, avsnitt 2.1; SKB TR-10-38; SKB TR-14-28).

Gastransport genom blandningar av bentonit och sand eller blandningar av bentonit och krossat berg har liknande mekanismer som för ren bentonit. Genombrottstrycket är dock betydligt lägre i dessa fall, i storleksordning tiotals kPa (Pusch och Hökmark, 1987; Hokari m. fl., 1997). Genombrottstrycket för gas i betong respektive kompakterad bentonit är däremot i storleksordning miljontals Pascal eller högre.

Inverkan av gasbildning och gastransport i sammanhanget förvarets långsiktiga strålsäkerhet har modellerats och redovisats av SKB i tidigare faser av programmet (SKB R-01-11) samt har uppdaterats vartefter nya uppgifter om metallkorrosionshastigheter, radionuklidinventarium, sorptionskoefficienter, hydrauliska data för bentonit och andra data har tagits fram (SKB P-13-40). Förvarsutrymmena som ingår i modelleringen är Silo, BMA och BTF. I detta avsnitt fokuseras granskning och bedömning på SKB:s redovisning av processerna i Silo. Den med ovannämnda processer genererade gasen som är upplöst i porvattnet i silon transporteras ur systemet genom diffusion och advektion på samma sätt som andra upplösta ämnen. Denna transport är i allmänhet långsam men det går inte att avlägsna all gas som genereras i förvarsutrymmet på detta sätt. Den del av gasen som inte kan lösas upp i vattnet ackumuleras i Silo bildar en separat kontinuerlig gasfas. Denna del av bildad gas transporteras inte ut ur Silo förrän ett visst övertryck uppnås (SKB R-01-01-11; SKB P-13-40).

Silos konstruktion tål dock inte ett allt för högt inre tryck. Gasavledningsrör kommer därför att gjutas in i den armerade betongplattan på toppen av Silo (SKB, 2015, avsnitt 4.3.4). Om den i Silo genererade gasen endast transporteras ut ur Silo med diffusion, kan ett gastryck på ca. 50 till 200 MPa bildas inom Silo med en 0,9 m tjock bentonitfyllning (SKB TR-14-27, figur 7-4). Detta tryck är betydligt högre än betongens draghållfasthet vid brott på mellan 1,63 (SKB R-13-52, avsnitt 2.4.1) till 5,3 MPa (SKB R-07-51, tabell 3-9). Genom avledningsrören förväntas den ackumulerade gasen transporteras ut ur Silo genom bentonit/sand-blandningen som har det lägsta genombrottstrycket för gas av alla de tekniska barriärerna som ingår i den planerade integrerade anläggningen. Experimentella mätningar visar att genombrottstrycket genom en blandning bestående av 10 % bentonit och 90 % sand är cirka 15 kPa (Pusch och Hökmark, 1987).

Innan ett genombrott av gas kan ske krävs att en kontinuerlig gasfas med ett tryck på 15 kPa ackumuleras i den övre delen av Silo (pga. flytkraften). I modelleringen antas ett värde på 50 kPa för detta tryck för att täcka in eventuella osäkerheter i bestämningen av

parametern (SKB R-01-11, avsnitt 4.4.2). För att kunna återställa den hydrostatiska jämvikten i Silo behöver en del av porvattnet transporteras bort. Mängden av vatten som transporteras ut behöver motsvara en vattenpelare på 5 m som kan balansera övertrycket på 50 kPa. Till skillnad från den påtvingade transporten av vatten genom tekniska barriärer vid gasgenombrott, sker denna transport av vatten innan gasgenombrottet som ett vattenflöde genom de vattenmättade tekniska barriärerna under en tryckgradient på 50 kPa. Med information om gasbildning från olika processer, belyser modellen när detta övertryck kan uppstå i Silo och hur stor mängd radionuklider som kan transporteras ut ur förvardsdelen tillsammans med vattnet (SKB TR-01-11, avsnitt 6.2.1). Olika fall med olika antaganden för hydraulisk konduktivitet av bottenplattan av betong och betongväggen i Silo, samt huruvida avledningsrören fungerar, kan olika mängd av vatten flöda ut vid olika tider innan gasgenombrott. Vidare kvantifiering av radionuklidtransport och dosberäkning har dock inte genomförts med denna modell (SKB TR-01-11).

SSM:s bedömning

SSM:s granskning och bedömning i detta avsnitt avser i första hand hur gasbildning och gastransport påverkar barriärerna i Silo. SSM anser att inverkan av gas på de tekniska barriärerna i övriga förvarsutrymmen har liknande underliggande mekanismer. Processerna bedöms dock vara av störst vikt för Silo då förvardsdelen har minst permeabilitet som en följd av det kvalificerade barriärsystemet med både betong- och bentonitbarriär.

SSM bedömer att SKB:s redovisning av inverkan av gas på strålsäkerheten för Silo är vetenskapligt välgrundad och att slutsatser dragna från modelleringen är trovärdiga. SKB:s förståelse av mekanismen för gasgenombrott i tekniska barriärer av betong, cement, bentonit eller bentonit-sand-blandning grundas på vedertagen kunskap angående hydraulisk spräckning. Både övertrycket och mängden av påtvingad transport av vatten vid gasgenombrott i betong och i kompakterad bentonit bedöms ha erhållits från trovärdiga experimentella studier.

SSM anser att SKB:s antagande i modelleringen (SKB R-01-11) att gas först bryter genom bentonit-sand-blandningen på toppen av Silo med fungerande gasavledningsrör är ett avgörande antagande för bedömning av inverkan av gasbildning och gasgenombrott på Silos strålsäkerhet. Antagandet bedöms av SSM vara rimligt med tanke på att relativt stora mängder av experimentella data finns tillgängliga gällande övertryck vid gasgenombrott i olika barriärmaterial. Dessa visar att bentonit-sand-blandningen uppvisar det lägsta övertrycket och således är mest genomsläpplig för gasgenombrott. SSM anser dessutom att den beräknade mängden av porvattnet som behöver strömma ut ur Silo innan gasgenombrott för att ge en ny hydrostatisk balans i förvardsdelen är trovärdig. Beräkningen har baserats på kunskapen om hydrostatik.

SSM bedömer att SKB:s modellering har tillhandahållit trovärdiga uppgifter om mängd av porvattnet som strömmar ut ur Silo pga. gasbildningen respektive uppgifter om tider när flödet kommer att ske.

5.5 Berg och bergutrymmen

Detta avsnitt beskriver SSM:s granskning av SKB:s redovisning gällande deformationen av berggrunden som omger bergsalarna efter förslutning under tempererade klimatförhållanden. Avsnittet är inte specifikt avgränsat till de första 1000 åren efter förslutning utan omfattar även längre tidsrymder med ett klimat liknande det nuvarande. Den mekaniska utvecklingen under periglaciala och glaciala förhållanden bedöms i kapitel 7.

Beskrivning av SKB:s underlag

Det befintliga samt utbyggda SFR-förvaret består av förvaringsutrymmen i stora bergsalar. I befintligt SFR har bergsalarna en bredd på max 19,5 m, en höjd på max 16,5 m och en längd på 160 m. I den utbyggda delen av SFR hade bergsalarna i den ursprungliga versionen av ansökan en bredd på max 19,8 m, en höjd på max 15,7 m och en längd på max 275 m (se SKB dokID 1233694, avs. 1.4.2). Dessa mått har ökat i viss utsträckning som en följd av den vidareutvecklade referensutformningen av förvardsdelen 2BMA. SKB bedömer att de bergmekaniska förhållandena i SFR efter uttaget av berg vid uppförandet av utbyggnaden kan förväntas bli oförändrade under den tempererade tidsperioden som följer förslutningen (SKB, 2015, avs. 6.3.3).

SKB har analyserat stabiliteten för bergsalar 1BMA och 1BLA med fokus på degradering av bergmassans egenskaper efter förslutning (R-13-53). Modelleringen omfattar inte porvattentryck, vilket är en icke konservativ förenkling av verkligheten. SKB menar att denna förenkling kompenseras av mycket låga friktionsvinklar i modelleringen, vilka indirekt simulerar effekten av porvattentryckets påverkan på sprickornas mekaniska egenskaper (R-13-53, avsnitt 5). Modelleringen av 1BMA omfattar två karterade sprickzoner, vilka potentiellt kan öka uppluckringen av angränsande bergvolym. SKB bedömer att bergförstärkningen, i ett längre tidsperspektiv, kommer att degradera efter förslutningen. Degraderingen av bergförstärkningsåtgärder så som sprutbetong och bergbultar förväntas vara fullständig 250 år efter förslutningen av SFR (SKB TR-14-05, avsnitt 4.1). Med anledning av detta tillgodoräknar modelleringen av den långsiktiga stabiliteten inte den stabiliserande effekten av bergförstärkningen som finns installerad i bergsalarna. Ytterligare konservatism i modelleringen är att modelleringen: frångår förslutningsplanen och antar att 1BMA inte återfylls med makadam upp till taket; vid parametreringen av sprickzonerna i 1BMA utgår från den regionala deformationszonen Singözonen; antar att sprickorna har oändlig längd; ingen dilatans (R-13-53, avsnitt 2).

Modellerna visar att 1BMA, 1BLA och pelaren mellan salarna är stabila även när sprickornas friktionsvinkel minskar från initialvärdet på 25° till 15°. Visst bergutfall kan förekomma vilket är styrt av spricknätverkets geometri samt närvaron av sprickzoner. Vid en minskning av sprickornas friktionsvinkel under 9° når rasprocessen upp till 34 m ovanför bergsalarna innan den avstannar. När rasprocessen avstannar har bergsalen fyllts med nedfallande block, vilket stabiliserar den ovanliggande bergvolymen, och markytan ovanför bergsalen har sänkts med ca 3.5 cm. Därmed bedömer SKB att det inte föreligger någon risk att uppluckringen fortskrider hela vägen upp mot nuvarande havsbotten. SKB betonar att en friktionsvinkel < 9° är mycket orealistisk.

SKB redovisar sin förståelse av jordskalvrisken för Forsmark och specifikt för platsen för den befintliga anläggningen i säkerhetsredovisningen SAR-08 (SKB R-08-130, avsnitt 7.6.1). Gemensamt underlag med projekt Kärnbränsleförvaret används här för att beskriva den platttektoniska situationen i Sverige och särskilt vid Forsmark (Stephansson m.fl., 1991; Lund och Zoback, 1999) för att kvantifiera sambandet mellan sannolikheter och magnituder för de jordskalv som kan förekomma i Sverige inom de närmaste 1000 åren (SKB R-06-67) och 100 000 år efter förslutning av SFR-förvaret (SKB R-08-130, avsnitt 7.6.1). SKB betonar att extrapoleringen av skalvfrekvenser upp till 100 000 år utifrån de två jordskalvskataloger som ligger till grund för bedömningen av risken för skalv de kommande 1000 åren är behäftad med stora osäkerheter och beaktar inte en potentiellt ökad seismisk aktivitet i samband med smältningen av en framtida inlandsis. För uppskattningen av en seismisk händelse, med viss magnitud, påverkan på en undermarksanläggning har SKB genomfört en metastudie gällande vilka skador som uppstår i underjordiska anläggningar i samband med jordskalv och bedömer att ytaccelerationen

måste vara högre än 2 m/s^2 för att skador ska uppstå i en undermarksanläggning. Baserat på nuvarande förhållanden bedömer SKB att sannolikheten för ytaccelerationer större än 2 m/s^2 ska nås i området som mycket liten (SKB TR-02-24; SKB R-06-67). Baserat på det sistnämnda uppskattar SKB att endast jordskalv med Richter-magnitud på 5 som sker inom en radie på 10 km kan medföra skador i barriärerna i 1BMA och Silo (SKB R-08-130, avsnitt 7.6.1). I säkerhetsredovisningen för SAR-08 påtalar dock SKB att den befintliga anläggningen befinner sig på ett relativt grunt djup i berggrunden vilket ökar risken för skador orsakade av vibrationer i samband med jordskalv och konstaterar att vidare analyser och modelleringar bör utföras (SKB R-08-130, avsnitt 7.6.1).

De radiologiska effekter som orsakas av en skadad 1BMA-konstruktion har visat sig vara små i SAR-08-analysen (SKB R-08-130) och SKB bedömer därför att jordskalvscenariot endast behöver hantera Silo (SKB, 2015, avsnitt 7.6.5). SKB bedömer dock att det är troligt att bentonitbarriären runt Silo inte påverkas i samma utsträckning som betongkonstruktionerna av ett jordskalv och den skalvinducerade ökningen av vattenflödet för Silo är relativt liten, i storleksordningen $1 \text{ m}^3/\text{år}$ (SKB R-08-130, avsnitt 8.4.3). Jordskalvscenariot antar även att vattenflödet i fjärrzonen påverkas av skalvet, och SKB gör det konservativa antagandet att geosfärens retarderande förmåga är förlorad efter skalvet (SKB TR-14-09, avsnitt 4.2.5). En analys av de mekaniska konsekvenserna av jordskalv för Silos integritet har genomförts av SKB (SKB R-13-52). Baserat på SKI Report 92:3 utgår analysen från en årlig sannolikhet på 10^{-5} , 10^{-6} och 10^{-7} , där den lägsta sannolikheten använts för de kraftigaste skalven. Skalvanalysen har inte beaktat betongens åldring och försämring med tiden, dock görs antagandet att korrosion lett till att armeringens lastbärande funktion är förlorad (SKB R-13-52). Därtill tar analysen hänsyn till att korrosionen av armeringen orsakat spjälkning av det täckande betongskiktet (SKB R-13-52). SKB:s slutsats är att skador på Silos betongkonstruktion inte kan uteslutas för ett skalv med en sannolikhet på $10^{-6}/\text{år}$. Detta sannolikhetsvärde, som är lägre än det antaget i SAR-08, beaktas vid riskutvärderingen för *scenariot med jordskalv* (SKB, 2015, tabell 10-1). SKB påtalar dock att extrapoleringen av sambandet mellan jordskalvsfrekvenser och magnituder över tidsrymder av 100 000 år baserat på den historiska och instrumentella seismiciteten är behäftat med mycket stora osäkerheter och att det förekommer att skalv av M5 eller större inträffar inom plattor. Detta har exempelvis skett inom den Nordamerikanska kontinentalplattan (SKB TR-14-05 kapitel 4).

SSM:s bedömning

SSM bedömer att SKB:s analys av bergsalsstabiliteten för 1BMA och 1BLA efter förslutningen är ett rimligt tillvägagångssätt för att studera degradering av sprickegenskapernas påverkan på bergmassans stabilitet. SSM bedömer att SKB:s antagande vid modelleringen leder till en konservativ bedömning av stabiliteten efter förslutning. Sammanfattningsvis bedömer SSM att den nuvarande anläggningen och den planerade utbyggnaden, under tempererade klimutförhållanden, är långsiktigt stabila efter förslutningen. SSM bedömning stöder sig på externa experters bedömning från den inledande granskningen (SSM rapport 2016:12, del 3) samt externa experters oberoende modellering av bergsalarnas långsiktiga stabilitet (SSM rapport 2016:31, del 1). SSM bedömer dock att frågan om återfyllning av förvardsdelen av 1BLA fortsatt bör analyseras för att så långt som rimligt möjligt minimera risken för kortslutning mellan 1BLA och 1BMA (se Del III, avsnitt 4.6.2). Nedan framför SSM flera kommentarer som SKB bör adressera till nästa steg i SKB:s program.

SSM noterar att SKB:s analys av bergsalsstabiliteten (SKB R-13-51) inte använder de bergspänningsdata som redovisas i den platsbeskrivande modellen (SKB TR-11-04). Detta har inte konsekvenser för bedömningen av stabiliteten men visar att redovisningen bör

uppdateras och kompletteras inför kommande steg i SKB:s program för etablering av en utbyggnad av SFR (se även SSM rapport 2016:12 del 3, avsnitt 3.9.3).

I inledning till R-13-53 framgår det att analysen utgår från en 10 000 år lång analysperiod, motsvarande analysperioden vid tidigare säkerhetsutvärderingar (R-01-13). Minskningen av friktionsvinkeln är inte direkt kopplad till tiden (R-13-53, bild 3-2). SSM är medveten om att minskningen av friktionsvinkeln till mycket låga värden implicit kan härledas till långa tidsförlopp, men SKB bör tydliggöra hur längre tidsförlopp än 10 000 omfattas av analysen (se även SSM rapport 2016:12, del 3, avsnitt 3.9.1).

SKI och SSI har tidigare granskat den mekaniska stabiliteten hos bergrummen i den befintliga anläggningen SFR. Myndigheternas slutsats var att återfyllning erfordras i 1BMA för att säkra att uppluckring av bergmassan genom bergutfall är begränsad när bergförstärkningen i bergrummet förlorar sin funktion efter förslutning av slutförvaret (SSI 2003:21). Bedömningen baserades på beräkningar som myndigheterna hade låtit genomföra (SKI-PM 03:03). Utgående från att 1BMA inte återfylls samt att en sprickzon skär bergvolymen ovanför bergsalen, gav beräkningen att uppluckringen ovanför 1BMA kan bli upp till 35 m (SKI-PM 03:03). Uppluckringen kan möjligen bli större om en konservativ kombination av bergspänningar och vattentryck görs. Vid den inledande granskningen av SKB:s ansökan om utbyggnad av SFR anmärkte SSM:s externa expert på att SKB:s analys av bergsalarnas stabilitet efter förslutningen inte omfattade den planerade utbyggnaden som har djupare och bredare bergsalar samt, pga. det djupare förläggingsdjupet, ca två gånger högre bergspänningar jämfört med den befintliga anläggningen (SSM Rapport 2016:12 del 3, avs. 3.9.7). I den fortsatta granskningen lät SSM:s externa experter utföra oberoende modelleringar som redovisas i SSM 2017:31 del 1. Experterna drar slutsatsen att bergutrymmena är stabila med återfyllnad utan bergförstärkning under en lång tid efter förslutning.

I SSM:s oberoende modellering (SSM 2017:31 del 1) har en tidsberoende degradering under tiden efter förslutning modellerats. I inget av de analyserade beräkningsfallen har storskaliga stabilitetsproblem kunnat ses i modellerna. SSM bedömer därför att uppluckring av bergmassan till havsbotten ovanför bergrummen i 1BMA kan uteslutas om förslutningen av dessa bergrum sker enligt förslutningsplanen för SFR (SKB dokID 1358612). Vidare bedömer SSM för den utbyggda delen av förvaret att risken för uppluckring av bergmassan till havsbotten ovanför bergrummen i 2BMA helt kan uteslutas tack vare de storskaligt stabila förhållanden samt den stora bergtäckningen som tillåter valvverkan ovanför bergrummen (SSM Rapport 2017:31 del 1). Analyserna visar att endast lokalt utfall av bergblock kan förekomma i anläggningen, vilket utgör ett konstruktionsstyrande fall som SKB har tagit hänsyn till i dimensionering av betongkonstruktionerna i slutförvaret (SKB dokID 1577237).

SSM har även låtit genomföra oberoende tvådimensionella beräkningar av stabiliteten av bergmassan med fokus på pelarna mellan bergsalarna och taken för bergrummen 2BMA, 2-5 BLA samt 1BRT med parametervärden för bergmekaniska egenskaper som har uppskattats baserat på den tillgängliga bergmekaniska informationen samt det uppskattade bergspänningsfältet vid -120 m under markytan och djupare (SSM Rapport 2017:31 del 1). SSM:s tvådimensionella beräkningar visar överlag att stabilitet råder för pelarna och tak för bergrummen i den planerade utbyggnaden av SFR, både lokalt och för hela anläggningsdelen. Analyserna av stabiliteten för bergpelaren mellan 1BMA och 1BLA visar att största huvudspänningen minskar med minskningen av sprickornas friktionsvinkel vilket kan leda till en ökning av sprickvidden och därmed kan den hydrauliska konduktiviteten i bergpelaren öka. Detta kommenteras inte i SKB:s redovisning. SSM bedömer att SKB i nästa steg i sitt program bör tydliggöra vilken konsekvens en ökning av

den hydrauliska konduktiviteten i pelaren mellan bergsalarna har för den långsiktiga strålsäkerheten.

SKB antar att sannolikheten för skadade betongbarriärer till följd av jordskalv är 10^{-6} /år. Detta sannolikhetsvärde motsvarar ett jordskalv med magnitud ca 6 som sker inom en radie på 10 km från slutförvaret (SKB R-08-130 tabell 7-10) vilket är förenligt med den dokumenterade nutida seismiciteten i Sverige under tempererade förhållanden (SKB R-06-67; SKB TR-00-08; La Pointe et al. 2002; SSI rapport 2005:20; Fenton m.fl. 2006). Vidare använder SKB en exponentiellfördelning för jordskalvsannolikheten med en viss återkommandetid (SKB R-08-130, ekvation 7-1) som för ett jordskalv med magnitud ca 6 ger en lite högre årliga sannolikhet än 10^{-6} /år. Dessa antagande är kompatibla med SKB:s tidigare redovisningar och bedöms av SSM vara lämpliga även för jordskalvscenarioanalysen för utbyggnaden under det tempererade klimattillståndet (SSM Rapport 2018:07 avsnitt 4.13.2). Baserat på kunskapen om den framtida klimatutvecklingen är det troligt att den nuvarande interglacialen kommer att fortgå under flera tiotusentals år till (se denna rapport del III avsnitt 3.2). SSM bedömer därför att den extrapolering som SKB gör för skalvfrekvenser upp till 100 000 år är rimlig, om än behäftad med stora osäkerheter. Vidare bedömer SSM att eventuella glacialt inducerade skalv sannolikt kommer inträffa i ett senare skede under de kommande 100 000 åren när betongbarriärernas strukturella integritet redan gått förlorad (se denna rapport del III avsnitt 3.2 och kapitel 7).

SSM ser positivt på att SKB:s underlag till säkerhetsanalysens SR-PSU innefattar analyser av jordskalvs påverkan på Silons strukturella integritet (SKB R-13-52) med årliga skalvfrekvenser så som definierat i (SKI Report 92:3). SSM bedömer att dessa analyser är konservativa i och med de hanterar silon som den är en betongkonstruktion grundlagd på markytan och inte i ett bergrum på medeldjup. Vidare bortser analyserna från externa laster som skulle minska ogynnsamma dragspänningar i betongkonstruktionen så som: vattentryck (dvs. använder totala spänningar i beräkningar) och svälltryck i den omkringliggande bentoniten pga. av potentiell likvifering av bentoniten. SSM:s bedömningar om bentonitens materialegenskaper för bentoniten finns i Del III, avsnitt 4.4, 5.4 och 6.4 i denna del av granskningsrapporten. SSM bedömer även att den utförda jordskalvanalysen i tillräckligt hög utsträckning beaktat SSM:s granskningskommentarer till SAR-08 gällande hur betongkonstruktionerna i förvaret degraderas under tiden efter förslutning innan ett skalv sker (SSM2008-981-30 avsnitt 3.10.2).

SSM bedömer att SKB:s val att fokusera på Silo vid jordskalvanalysen är rimlig. Dock skulle ett beaktande av dos- och riskbidraget från 1-2BMA tydliggöra förvarets tålighet mot jordbävningsslaster. SKB:s redovisning visar att de största bidragen till risksummeringen kommer från tidiga jordskalv som förekommer strax efter förslutningen fram till ca 5000-8000 år efter förslutning (SSM TR-14-09, figur 3-36). SSM bedömer att det kan vara motiverat att utvärdera vilka förbättringar av 2BMA:s motståndsförmåga mot jordskalv som kan införas och vilken effekt detta har på dos- och risk. Ett sådant underlag skulle även ligga till grund för den seismiska klassningen av konstruktionerna som SKB kan behöva bifoga sin säkerhetsredovisning i kommande steg av programmet för etableringen av utbyggnaden (se Del III, avsnitt 4.2 i denna granskningsrapport). Vidare delar SSM den externa expertens rekommendation att SKB inkluderar noggranna mätningar av sprickrörelser, både skjuv- och ortogonala förflyttningar, i det långsiktiga monitoreringsprogrammet av den befintliga och utbyggda anläggningen (SSM rapport 2016:12, del 3).

5.6 Hydrogeologi i närzonen och berget

I detta avsnitt behandlas den hydrogeologiska utvecklingen för de första tusen åren efter förslutning och tillhörande modelleringarna i säkerhetsanalysen SR-PSU. Modellerna som används i de hydrogeologiska utredningarna för de första 1000 åren tillämpas för hela den tempererade perioden. Bedömningen av modellerna i detta avsnitt blir därmed även relevanta för den efterföljande tempererade fasen även om frågor som specifikt kopplar till fasen efter 1000 år behandlas i Del III, avsnitt 6.7. De hydrogeologiska utredningarna i samband med den platsbeskrivande hydrogeologiska modelleringen behandlas i Del III, avsnitt 3.5 och utvecklingen för periglaciala förhållanden behandlas i Del III, kapitel 7.

Beskrivning av SKB:s underlag

I SR-PSU huvudrapporten (SKB, 2015) redovisar SKB kortfattat den hydrogeologiska utvecklingen de första 1000 åren efter förslutning för när- och fjärrzonen i Del III, avsnitt 6.3.4 och 6.3.5. En hydrogeologisk modell för platsen har tagits fram utifrån den platsbeskrivande modelleringen (SKB TR-11-04). Modellen har använts för att beräkna grundvattenflödet genom förvaret och hur partiklar som släpps ut från förvaret transporteras genom berget. Det som mest påverkar flödenas utveckling och utsläppslägena för vatten som strömmar genom förvaret är strandlinjeförskjutningen. Slutförvarets projektion på ytan övergår under de första 1000 åren från Östersjöområdet till land, medan utsläppspunkterna alltså förblir lokaliserade under Östersjön.

Flödena genom närzonen styrs av det regionala flödet och av slutförvarsdelarnas utformning. I silon begränsar betong och bentonitbarriärerna flödet. I 1-2BMA samt 1-2BTF utgörs flödesbarriärerna av betong som omges av makadam med hög vattengenomsläpplighet som ger vattnet möjlighet att strömma runt betongkonstruktionen och därmed undviks flöde genom betongkonstruktionerna. I BRT är återfyllnaden av makadam med hög vattengenomsläpplighet tänkt att fungera som en hydraulisk bur i förhållande till betongkonstruktionen med avfallskollina. I BLA salarna förvaras avfallet i ISO-containerar utan flödesbegränsande tekniska barriärer bortsett från pluggar i tunnelavsnitten mellan bergsalarna. Modelleringen och resultaten av närzonsberäkningarna återges i SKB TR-13-08 och SKB R-14-14. Närzonsberäkningarna kopplar till modelleringen av fjärrområdet genom tillämpning av de uppskalade konduktivitetvärdena och vattentrycken vid modellränderna som beräknas i fjärrzonsmodellen.

Flödena genom förvarssalarna ökar under de första 1000 åren med ungefär två storleksordningar, vilket förorsakas av att de hydrauliska gradienterna ökar i samband med att strandlinjen förskjuts p.g.a. landhöjningen. De flödesbegränsande betongkonstruktionerna börjar degradera under de första 1000 åren efter förslutning, SKB:s resultat pekar dock på att effekten av detta är betydligt mindre än strandlinjeförskjutningens.

I flera delar av säkerhetsanalysen används resultat från de hydrogeologiska utredningarna och modelleringarna. SKB har illustrerat detta i det så kallade AMF schemat (*assessment model flowchart*). I inputdatarapporten (SKB TR-14-12) ges mer information om de olika dataseten som förs från en typ av modellering till en annan. Dessa dataset omfattar en rad olika fall vad gäller klimat och degraderingstillstånd för barriärerna och baseras på modelleringar på olika rumsliga och temporala skalor. SKB har tagit fram ett flertal rapporter där beräkningarna, underlag och tillhörande resultat redovisas (SKB TR-13-08, SKB TR-11-04, SKB R-14-14, SKB R-13-25, SKB R-13-19, SKB R-11-10, SKB R-11-03, SKB P-14-06, SKB P-14-05, SKB P-14-04, SKB dokID 1395215, SKB dokID 1395214, SKB dokID 1395200). SKB presenterade en överblick av redovisningarna på ett möte med SSM (SSM2015-756-22). SKB undersöker känsligheten av dosberäkningarna

för ett flertal olika scenarier och tillhörande fall som innebär skillnader i de hydrogeologiska betingelserna.

Hydrogeologiska data används för att utreda effekten av olika placeringar av utbyggnaden av anläggningen (SKB dokID 1395215). Inom konsekvensanalysen tillämpas hydrogeologiska data för att definiera utsläppspunkter (AMF nr 12, SKB TR-14-12) och biosfärsobjekt. Därutöver tillämpas resultat från flöde i fjärrzonen och närmare bestämt advektiv gångtid och transportmotståndet (AMF nr 11). Konduktivitet och effektiv porositet som beräknas (uppskalas) med DarcyTools för de hydrogeologiska beräkningarna används i MIKE SHE beräkningarna för ytnära flöden (AMF nr 84) vilka i sin tur används för radionuklidtransport och dosberäkningar i biosfären när det gäller utbyte av vatten mellan biosfärsobjekten (AMF nr 138) och perkolation till den mättade zonen (AMF nr 173).

För närzonsberäkningarna behövs vattenflödets komponenter i olika riktningar för de olika förvarssalarna och olika status på betongdegraderingen. Data från utvärdering av brunnsarkivet (R-13-20) används för att definiera brunnslokaliseringar, djup och pumprater (AMF nr 172). Därutöver tillämpas i beräkningarna kvoten av vatten från förvarssalarna som når brunnar (P-14-05, R-13-19) och kvoten av vatten som når brunnar som härstammar från förvarssalarna. De icke flödesrelaterade transportegenskaperna påverkas indirekt av de hydrogeologiska beräkningsresultaten genom förändringen av redoxförhållandena i förvaret (AMF nr 49) som påverkas av vattenflöden i närzonen (AMF 179). Dessa data är tagna från beräkningar i samband med säkerhetsanalysen SAFE (SKB, 2001).

Hydrogeologiska resultat används även i beräkningar av radionuklidtransport till följd av gastryck, dels direkt genom vattenflöden i närzonen (AMF nr 158), dels indirekt genom dess påverkan på gasbildning genom mikrobiell aktivitet (AMF 133) och korrosionshastigheter (AMF 206). Även barriärsdegraderingen är avhängig hydrogeologiska parametrar såsom vattenflöden och dess mönster genom förvarssalar, återfyllnad och betongbarriärer. För 1BMA används hydrodata från SAFE och för 2BMA data som redovisas i R-13-08 (TR-14-12 avsnitt 3.32, AMF nr 153). Hydrogeologiska data tillämpas även i beräkningarna av pH-värdet i närzonen (AMF nr 206) genom dess påverkan av flödet i närzonen (AMF nr 176).

SKB har tagit fram ett omfattande underlag för de hydrogeologiska beräkningarna i SR-PSU för att belysa alla relevanta fall och hantera osäkerheterna i olika delar av de hydrogeologiska utredningarna, exempelvis med stokastisk hantering av spricknätverket i bergvolymen och olika antaganden om flödet i berggrunden och genom det förslutna förvaret. För att genomföra beräkningar har SKB tillämpat tre olika koder, DarcyTools, COMSOL och MIKE SHE.

I scenarioanalysen används hydrogeologiska resultat från ett antal analyser och beräkningsfall (SKB, 2015 avsnitt 8.7). I huvudscenariot används tre olika fall som benämns basfallet för global uppvärmning och varianterna tidpunkt för utsläpp och periglacialt klimat (SKB, 2015 tabell 8-5). För de mindre sannolika scenarierna används beräkningsresultat som skiljer sig från basfallet för scenarierna högt flöde i berggrunden, bentonitdegradering, jordskalv och brunnar nedströms förvaret (SKB, 2015 tabell 8-6). För restscenarierna används fall som skiljer sig från basfallet för högt vattenflöde i förvaret, förlängd global uppvärmning och scenariot med glaciation (SKB, 2015 tabell 8-7). Eftersom de hydrogeologiska resultaten för tiden fram till 1000 år efter förslutning endast används i konsekvensanalysen för scenariot *tidpunkt för utsläpp* behandlas de andra fallen i avsnitten 6.6 och kapitel 7 i denna del av rapporten. I de andra fallen antas

att det inte sker några utsläpp under de första 1000 åren pga. de låga flödena när anläggningen ligger under Östersjön och för att antagandet att nuklider förblir i anläggningen under denna fas leder till högre utsläpp under de faser nukliderna når terrestra områden, vilket kan förmodas ge högre doskonsekvenser.

SKB har inom ramen för ansökansberedningen inlämnat följande kompletterande information utifrån SSM:s begäran (SSM2015-725-40):

- SKB dokID 1572244, 2017. Svar till SSM på begäran om komplettering av ansökan om utökad verksamhet vid SFR – hydrogeologi, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB dokID 1564134, 2017. Vattenflöde genom 2BMA - känslighet för parametrering av bergets egenskaper, bilaga till SKB dokID 1572244. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB dokID 1578373, 2017. TD15 Complementary simulation cases in support of SR-PSU, Svensk Kärnbränslehantering AB. (hänvisas till från SKB dokID 1572244, 2017)

SSM:s bedömning

Den hydrogeologiska modellen för den tempererade fasen utgår ifrån den platsbeskrivande modellens basfall och har kompletterats med en representation av de planerade anläggningsdelarna och information som kopplar till framtida utvecklingen av landskapet pga. strandlinjeförskjutningen. Därmed är bedömningarna av den platsbeskrivande modellen även giltiga för den regionala hydrogeologiska modellen som tillämpas i säkerhetsanalysen. Det som tillkommer i detta avsnitt är SSM:s bedömningar av valet av beräkningsfall som ligger till grund för de hydrogeologiska resultaten som förs vidare till andra delar av säkerhetsanalysen. Därutöver tillkommer bedömningar kring modelleringen i närzonen som inte har ingått i den platsbeskrivande modelleringen. Huvudsakliga granskningsfrågor har varit ifall relevanta fall har valts och ifall de osäkerheter som modelleringen är behäftade med är omhändertagna på ett lämpligt sätt i förhållande till resultatens tillämpning.

SSM bedömer att dokumentationens kvalitet i stort är ändamålsenlig och att spårbarheten av antaganden och hur olika data förs mellan olika beräkningar är godtagbar. AMF-schemat och tillhörande datarapport är ett användbart verktyg för att skapa spårbarhet som är till hjälp i granskningen. SSM delar sin externa experts bedömning om vetenskaplig trovärdighet (SSM 2016:08 del 3 avsnitt 2.1.3) och anser att SKB:s utredningar är väl förankrad i aktuell forskning.

SSM har låtit en extern expert genomföra en detaljerad granskning av SKB:s hydrogeologiska utredningar i samband med säkerhetsanalysen och värdera SKB:s hantering av osäkerheterna i beräkningarna (SSM 2016:08 del 2, SSM 2017:28 del 1 och 2).

SKB har utifrån ett bredare underlag valt ut tre HRD realiseringar för analyserna (SKB R-13-25 avsnitt 4.3.2) och valet har granskats av SSM:s externa expert (SSM 2017:28 del 1 avsnitt 2.2). Slutsatsen i denna granskning var att de tre valda fallen inte nödvändigtvis gränssätter osäkerheterna i bergets flödesegenskaper som påverkar konsekvensanalysberäkningarna pga. att vissa konceptuella osäkerheter inte har beaktats och metodiken introducerar ytterligare osäkerheter som SKB inte har följt upp i detalj.

För att närmare undersöka osäkerheterna i representationen av HRD genomförde externa experterna beräkningar med en förenklad hydrogeologisk modell (SSM 2017:28 del 2 avsnitt 2.6). Resultaten pekar på att beaktande av alternativa konceptualiseringar av DFN

modellen, vilka har föreslagits av SKB, endast kan förväntas leda till små skillnader i flödena genom förvarsdelarna. Ett fall där en möjlig deformationszon med relativt hög transmissivitet antas skära enskilda bergsalar ger en ökning av flödena genom förvarssalarna på ca en faktor 2 för de nya anläggningsdelarna och en faktor 3 för befintlig anläggning. SKB:s resultat för de 17 olika fallen som representerar berget innefattar en spridning mellan median och maximala flödena för de olika bergsalarna för år 5000 e.Kr. mellan en faktor 1,2 för 1BTF och en faktor 5,5 för 5BLA medan de flesta bergsalarna ger omkring en faktor 2 (faktorer beräknade utifrån tabeller 4-6 och 4-7, avsnitt 4.5.1, SKB R-13-25). Detta indikerar att det beräknade grundvattenflödets känslighet för den förenklade modellens osäkerheter, relativt basfallets för samma modell, är jämförbara med det beräknade grundvattenflödets känslighet för SKB:s modellosäkerheter. SSM kan därför konstatera att en förenklad modell av viktiga osäkerheter, som valet av konceptuell DFN-modell och parametrisering av PDZ och HCD, ger jämförbar spridning av grundvattenflödet med SKB:s utvärdering av viktiga osäkerheter gällande parametrisering av HCD och HRD. SSM bedömer att analyserna ger två oberoende utvärderingar av flera nyckelosäkerheter, vilka ger jämförbara spridningar av grundvattenflödet genom förvarsdelarna. SSM bedömer därför att SKB:s skalningsfaktorer (SKB 2015, figur 7-13) för *scenariot med högt flöde i berggrunden* är lämpliga.

SSM har även låtit den externa experten undersöka advektiv gångtid och transportmotstånd i den förenklade hydrogeologiska modellen (SSM2019:16). SKB presenterar resultat för advektiv gångtid på mellan 0,5 och 25 år för det befintliga SFR respektive mellan 2,2 och 98 år för den planerade utbyggnaden. Den förenklade modellen visar liknande resultat gällande den övre gränsen, men visar på resultat på det lägre gränsvärdet som är som minst två storleksordningar mindre än SKB:s resultat. Det bör beaktas att de nedre gränsvärdena representerar ett överdrivet pessimistiskt beräkningsfall, den externa experten menar dock att värden på 0,1 år för det befintliga SFR och 0,2 år för förvarsdelarna som utgör den planerade utbyggnaden bör kunna beaktas som nedre gränsvärden för vidare beräkningar. Gällande transportmotstånd ger den förenklade hydrogeologiska modellen resultat som är lägre än SKB:s redovisade resultat med ca en faktor fyra. Den externa experten bedömer SKB:s resultat som rimliga även om denne rekommenderar att de lägre värdena används inom ramen för kommande beräkningar i syfte att säkerställa konservatismen i dessa. SSM delar den externa expertens bedömning att SKB:s beräknade värden av advektiv gångtid och transportmotstånd är rimliga, men att de av den förenklade modellen beräknade värdena kan användas för att mer pessimistiskt ringa in resultaten.

SSM bedömer att SKB:s parametrisering av förvarsanläggningens egenskaper i den regionala modellen (SKB R-13-25 avsnitt 3.3.4) är rimlig givet modelleringens ändamål. SSM:s externa expert pekar på vissa skillnader i parameteriseringen av förvarssalarna mellan modellen för den regionala skalan och förvarsskalen (SKB R-13-08 avsnitt 3.5; SSM 2017:28 del 1 avsnitt 2.5.1). Flödena genom avfallet har i närzonsmodellen hanterats konservativt genom att ansätta högre vattengenomsläpplighet. Dessa flöden kopplas i efterföljande beräkningar i säkerhetsanalysen till degraderingsprocesser och radionuklidtransport i närzonen. SSM bedömer att den konservativa hanteringen är lämplig och att påverkan av dessa antaganden på flödet på regional skala bör vara liten, framförallt i tidiga skeden när flödena genom avfallet begränsas avsevärt av flödesbarriärerna i de förvarsdelar sådana finns. SSM noterar även att jämförelsen av konduktivitetvärden (SSM 2017:28 del 1 avsnitt 2.5.1, tabell 2.5) inte beaktar återfyllnaden av makadam i vissa förvarsdelar. SSM bedömer att hanteringen av randvillkor och överföring av konduktivitetsdata för berget till närzonsmodellen är genomfört på ett lämpligt sätt. Skillnaderna i jämförelserna mellan modellerna uppgår till några tiotals procent, vilket bör beaktas i efterföljande beräkningar inom säkerhetsanalysen.

De beräknade flödena under de första 1000 åren efter förslutning tillämpas endast i scenariot kallat tidpunkt för utsläpp (SKB TR-14-09 avsnitt 4.1.3) som även ligger till grund för beräkningarna av kollektivdos. En jämförelse av flödena som har beräknats i SR-PSU med de som låg till grund för SAR-08 visar att flödena i SAR-08 beräknades vara ca två storleksordningar större för år 2000 e.Kr. än motsvarande flöden i SR-PSU (SKB R-13-25 tabell 4-8, avsnitt 4.5.1). För övriga tidsperioder skiljer sig flödena mindre än en faktor 2. Skillnaderna anses härröra från att man beaktade förhöjda vattentryck under Östersjön i SKB R-01-02 medan dessa bedömdes vara en artefakt i SKB R-13-25. SSM konstaterar att både slutsatsen i SKB R-01-02 att beakta förhöjda vattentryck under Östersjön och slutsatsen i SKB R-13-25 att inte beakta sådana baseras på hänvisningar till samma underlag (SKB SFR 86-07). SSM anser därför att frågan om eventuella övertryck bör beaktas som en osäkerhet i analysen. Med SKB:s slutsats om de flödesbegränsande barriärernas begränsade degradering de första tusen åren efter förslutning bör frågan framförallt koppla till effekten på 1-5BLA och BRT. SSM bedömer att det är rimligt att utsläppspunkterna under de första 1000 åren är under Östersjön och att utsläppspunkternas densitet är korrelerade till förekomsten av deformationszonerna såsom SKB:s modelleringsresultat visar.

I vissa hydrokemiska beräkningar tillämpas de hydrogeologiska resultaten från säkerhetsanalysen SAR-08 (SKB R-01-02) och skillnaderna i vattenflöden mellan SAR-08 och SR-PSU bör beaktas i bedömningen av de hydrokemiska analyserna.

Eftersom data från SAR-08 även tillämpas för uppskattningen av återmättnadstider och dessa beräknades utifrån de högre inflödena till befintlig anläggning som uppmättes på den tiden bör återmättnadstiderna kunna bli längre när resultaten från SR-PSU läggs till grund för en utvärdering. På begäran av SSM (SSM2015-725-40) inkom SKB med en komplettering angående återmättnadstiderna (SKB dokID 1572244). SSM bedömer att SKB:s kompletterande information ger rimliga förutsägelser för återmättnadstiderna. SSM bedömer vidare att skillnaderna mellan beräknade flöden under mättade förhållanden för år 2000 e.Kr. för SAR-08 och SR-PSU pga. skillnaden i antaganden rörande vattentryck i bergmassan under Östersjön (SKB R-13-25 tabell 4-8) inte bör ha någon större påverkan på beräkningarna av inflöden med tanke på de stora skillnaderna i tryckgradienterna mellan en situation med öppet förvar och återmättade förhållanden.

5.7 Kemiska betingelser i närzonen och berget

I detta avsnitt avhandlas beskrivningen den geokemiska utvecklingen för de första 1000 åren efter förslutning i säkerhetsanalysen SR-PSU samt tillhörande underlagsrapporter som har baserats på expertbedömningar och modellering. Underlaget som ligger till grund för bedömningarna gör ingen uppenbar distinktion mellan tiden före och efter 1000 år efter förslutning varpå beskrivningar av modeller som görs i detta avsnitt även är av relevans för tiden efter 1000 år. Bedömningen av underlaget i detta avsnitt blir därmed även relevanta för den efterföljande tempererade fasen även om frågor som specifikt kopplar till fasen efter 1000 år behandlas i Del III, avsnitt 6.7 i denna granskningsrapport. Utredningarna avseende de geokemiska aspekterna av den platsbeskrivande modellen som ligger till grund för initialtillståndet avhandlas i Del III, avsnitt 3.6 och den geokemiska utvecklingen under periglaciala förhållanden avhandlas i Del III, kapitel 7.

Beskrivning av SKB:s underlag

SKB:s översiktliga beskrivning av den geokemiska utvecklingen de första 1000 åren återfinns i (SKB, 2015, avsnitt 6.3.6) och den platsbeskrivande modellen för utbyggnaden av SFR samt underliggande datasammanställning och mätningar (SKB P-11-25, SKB R-

11-06 och SKB R-13-16). Även underlagsrapporten (SKB R-13-30) som bygger på reaktiv-transportmodellering har beaktats vid beskrivningen av geokemisk utveckling i SR-PSU (SKB, 2015, tabell F-11). Utvecklingen av de geokemiska förhållandena kopplas till klimatförändringar och strandlinjens förflyttning liksom till den hydrogeologiska utvecklingen. Denna utveckling kan leda till förändrade flödesvägar och flödesförhållanden och således påverka exempelvis interaktionstiden mellan grundvattnet och berget. SKB lyfter fram en rad olika processer som kan ha betydelse för hur de geokemiska förhållandena påverkar radionuklidtransporten, exempelvis den termiska gradienten i berget, sedimentation i sprickor, upplösning och utfällning av sprickmineraler. Dessa processer beskrivs mer utförligt i (SKB TR-14-05, kapitel 5). Avseende möjligheten att djupliggande högsalint grundvatten når förvarsdjupet genom uppsträngning (SKB TR-14-05, avsnitt 5.1) anser SKB att det inte kommer ske, bland annat baserat på platsundersökningar av fördelning av grundvattentyper i berget som funktion av djup (SKB TR-11-04, avsnitt) i vilken en begränsad vertikal blandning mellan grundvattentyper noterats.

SKB:s underlagsrapport SKB R-13-30 beskriver hydrogeokemisk transportmodellering som har genomförts inom ramen för SR-PSU. Denna modellering visar hur grundvattentyper utvecklas fram till 9000 år e.Kr. för att kvantitativt uppskatta den kemiska sammansättningen av grundvattnet i fallen tempererat och kallt klimat. I dessa beräkningar används de hydrogeologiska flödesmodeller som används i SR-PSU (SKB R-13-25, SKB P-14-04, SKB P-14-06) som indata. Beskrivning och bedömning av dessa modeller görs i Del III, avsnitt 5.7 och 6.7. Den geokemiska modellen (ett basfall samt ett variantfall för det tempererade respektive det periglaciala klimatfallet), som tillämpas med koden FASTREACT, beskrivs utförligt i (SKB R-13-30, avsnitt 2.4). Osäkerheter kopplade till homogen fördelning av sprickmineraler och deras upplösning hanteras genom känslighetsanalyser för att indikera variation av Al och Si i grundvattnet. I basfallet antas hematit buffra reducerande redoxförhållanden medan det i variantfallet antas vara $\text{FeS}_{(\text{am})}$. Kalcit antas buffra pH i båda beräkningsfallen. Beräkningarna avser tiden efter 500 år efter förslutning eftersom inga stora geokemiska förändringar förväntas de första 500 åren efter förslutning. Inom 1000 år efter förslutning sker enligt modelleringen en utspädning, kloridnivåerna vid förvarsdjup når stationära förhållanden och blir homogent fördelade över förvaret över resten av analysperioden.

I indatarapporten (SKB TR-14-12) ges information om hur dataset från olika modelleringar och bedömningar tillämpas i alla delar av säkerhetsanalysens flödesschema. Detta avser data för grundvattentyper (AMF nummer 3), hur grundvatten påverkar vattnet i förvaret vilket tillämpas för att välja K_d -värden (AMF nummer 28). Konceptuell hydrogeokemisk data (AMF nummer 29), site-specifik data (AMF nummer 62), sprickmineraltyper och -förekomst (AMF nummer 105) liksom grundvattensammansättningar (AMF nummer 139 och 145). Data för AMF nummer 139 beskriver representativa grundvattensammansättningar för olika tidsperioder i SR-PSU medan data för AMF nummer 145 beskriver de sammansättningar av grundvatten som tillämpats i modelleringen av armeringskorrosion och kemisk degradering av betong. Den konceptuella hydrogeokemiska modellen som beskrivs i den platsbeskrivande modellen för SFR (se Del III, avsnitt 3.6 för utförligare beskrivning och bedömning) används för att uppskatta de grundvattentyper och sammansättningar som bedöms finnas under analysperioden i säkerhetsanalysen (AMF nr 29 och 139, Bilaga G i SKB, 2015). De platsspecifika grundvattentyper och -sammansättningar som sedan ansätts baserat på dessa aktiviteter tillämpas i säkerhetsanalysen för att beskriva den geokemiska utvecklingen (SKB, 2015, kapitel 6. Ansatta grundvattensammansättningar tillämpas även för att

bestämma sorptionskoefficienter (K_d -värden) som i sin tur används i radionuklid-transportberäkningarna för att kvantifiera retardationsförmågan i bergmatrisen i geosfären samt för bergkross i återfyllnadsmaterial för vissa av förvarssalarna (AMF nr 3). Beskrivningen liksom SSM:s bedömning av SKB:s val av sorptionskoefficienter återfinns i Del III, avsnitt 6.9. För att modellera korrosion av armeringsstål och kemisk degradering krävs ansatta grundvattensammansättningar (AMF nr 145). I underlagsrapporten som beskriver dessa processer (SKB R-13-40) tillämpas dock en sammansättning från en tidigare analys (SKB R-01-08) och inte sammansättningar från den platsbeskrivande modellen i SR-PSU.

Det befintliga grundvattnet i SFR har ett förhållandevis begränsat salinitetsintervall då kloridhalten varierar mellan 1500 och 5500 mg/L, vilket skiljer sig mot Forsmark där variationen är betydligt större, se Del III, avsnitt 3.5 för mer detaljer avseende den platsbeskrivande modellens geokemiska aspekter. Marina indikatorer och i synnerhet O-18 har däremot liknande variationer som i Forsmark, vilket tolkades som att grundvattnet i SFR består av en signifikant andel glacialt smältvatten. På grund av hydraulisk påverkan från byggnation och drift av SFR har andelen blandat-bräckt grundvatten ökat i berggrunden vid SFR. Platsdata för grundvatten ner till 200 meters djup finns representerat i referenssammansättningen av grundvattnet som tillämpas i den platsbeskrivande modellen (SKB R-13-16). Det bör dock noteras att data från borrhål ned till knappt 400 meters djup finns tillgängliga. Grundvatten av bräckt glacial typ återfinns vanligtvis.

Medan förvaret är täckt av Östersjön, vilket det beräknas vara under de första 1000 åren, är referenssammansättningen av inträngande bräckt grundvatten dominerande. Samtliga uppmätta pH-data på SFR-grundvatten håller sig inom intervallet 6.6 till 8.0. Det bör noteras att beräknade pH, med antagandet att kemisk jämvikt med mineralet kalcit förekommer, ligger mellan pH 7,0 och 7,7 (SKB R-13-16, avsnitt 4.1.1).

Samtliga parameterintervall utom redoxpotentialen Eh (SKB P-11-25) ligger nära medel- eller medianvärdet för det befintliga grundvattnet i SFR. Uppskattade värden på redoxpotentialen baseras på Eh för $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}(\text{OH})_3$ -redoxparet, vilken i sin tur bland annat beror på vilken löslighet och partikelstorlek som antas gälla för den specifika järn(III)-(hydr)oxiden som inkluderas i beräkningarna. SKB utgår från en kristallin Fe(III)-oxyhydroxid som frekvent har observerats i sprickmineraler i närheten av SFR. Genom ett ansatt löslighetsvärde för detta mineral erhöles ett Eh-intervall på -100 och -350 mV, vilket av SKB bedömdes vara ett rimligt representativt Eh intervall. Mätningar i närheten av SFR motsvarar intervallet Eh -140 tom -190 mV. Det finns även vissa prover för vilka oxiderande förhållanden kan konstateras, men dessa resultat kan vara kopplade till läckage av syre från omgivningen (SKB R-13-16, avsnitt 4.1.1).

SKB förväntar sig att pH-buffringsförmågan hos mineral i berggrunden kring SFR som kalcit motverkar risk för försurning (SKB TR-14-05, avsnitt 5.6, SKB R-12-11). I anslutning till, och nedströms, förvaret, kommer grundvattnets pH dock att höjas efter interaktion med cement genom lakning. Modellering av förvarets pH och påverkan av cementporvatten på det omgivande grundvattnets sammansättning beskrivs i (SKB R-14-01) och används i säkerhetsanalysen (SKB TR-14-12, avsnitt 3.12, AMF nr 51) för att förutsäga den hydrogeokemiska utvecklingen. Cementporvattnets förvarsdelspecifika pH-förändringar redovisas i (SKB, 2015, avsnitt 6.3.7, tabell 6-5) och beskrivs mer utförligt i Del III, avsnitt 5.3 i den här granskningsrapporten. Det kan kortfattat konstateras att pH förväntas vara omkring pH 13 i samtliga förvarsdelar och dessutom i ett mindre område nedströms förvaret under de första 1000 åren. Trots förändrade geokemiska förhållanden som följd av lagningsprocesser i betongen förväntar sig SKB

ingen signifikant påverkan på bergssprickornas geometri. Hydraulisk konduktivitet och flödesvägar förväntas vara oförändrade de första 1000 åren.

Övergången från de initialt oxiderande förhållandena till reducerande förväntas ske förhållandevis snabbt (SKB TR-12-12) i samtliga avfallsbehållare. Från dagar om organisk degradering beaktas tillsammans med stålkorrosion men tiden kan också uppskattas till ett år om enbart stålkorrosion ses som den enda syrekonsumerande processen. I SSM:s granskning av SKB:s tidigare säkerhetsredovisning SAR-08 (SSM 2008/981-28) påpekades en svårighet att bedöma förvarets redox-buffrande förmåga som funktion av tid med tanke på osäkerheter med avseende på tillgänglighet och kapacitet för syrekonsumerande processer. En diskussion och analys av sådana processer saknades i den säkerhetsanalysen (SKB, 2015, avsnitt D3.9.2). SKB förelades komplettera säkerhetsanalysen med en känslighetsanalys av risken för och konsekvenser av ändrade redoxförhållanden inom ramen för ansökan om utbyggnad av SFR (SSM 2008/981-28). I SR-PSU inkluderas modellering av den troliga redoxutvecklingen som svar på föreläggandet (SKB TR-12-12) och även en bedömning av sannolikheten för att oxiderande förhållanden ska kunna uppstå samt förvarets förmåga att hantera en sådan förändring, en process som beaktats som, och hanterats i, ett restscenario av SKB i SR-PSU. Inom tidsramen 1000 år efter förslutning förväntas inga större förändringar med avseende på redox-förhållanden eller redox-kapacitet. Processer som kan leda till förändringar av redoxförhållanden diskuteras i mer detalj i Del III, avsnitt 6.6 som avhandlar geokemisk utveckling för tiden efter 1000 år efter förslutning.

SKB har inom ramen för ansökansberedningen inlämnat följande kompletterande information utifrån SSM:s begäran (SSM2015-725-51):

- SKB dokID 1581237, 2017. Svar till SSM på begäran om komplettering av ansökan om utbyggnad av SFR avseende geokemi, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB dokID 1594783, 2017. Further clarification and guidance to the discussion about redox conditions and related processes in the geosphere, SR-PSU, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB dokID 1593574, 2017. Svar på frågor från SSM rörande kemisk modellering av betongdegradering, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SSM:s bedömning

SSM anser att de underlagsrapporter (SKB R-13-30 och SKB R-13-16) som anges ligga till grund för den geokemiska utvecklingen som ansätts i säkerhetsanalysen SR-PSU (SKB, 2015, tabell F-11) är vetenskapligt välgrundade och trovärdiga. Myndigheten anser dock att det föreligger en bristande spårbarhet kring hur informationen i dessa rapporter, liksom (SKB P-11-25 och SKB R-11-06), resulterat i den slutliga beskrivningen av geokemisk och grundvattenkemisk utveckling såsom återgiven i huvudrapporten (SKB, 2015, avsnitt 6.3.6). Denna koppling behöver förtydligas och förbättras inför kommande säkerhetsanalyser.

SKB:s val av parameterintervall för grundvattnets referenssammansättning för tidsperioden de första 1000 åren bedöms vara godtagbart och rimligt väl motiverat baserat på redovisningen i de relevanta underlagsrapporter som nämns ovan. Den hydrokemiska transportmodelleringen (SKB R-13-30) som utgör en del av underlaget för beskrivning av den geokemiska utvecklingen i SR-PSU bedöms vara transparent och utförlig.

SSM anser att risken för upptransport av salint grundvatten till förvarsdjup och blandning med befintligt grundvatten inte helt kan bortses från. Ett saltare grundvatten skulle medföra en större påverkan på de tekniska barriärerna och accelerera betongdegraderingsprocessen och inducera en depassivering av armeringsstålet. I sitt svar på SSM:s kompletteringsbegäran (SKB dokID 1593574) avseende denna fråga diskuterar SKB relevanta processer och deras betydelse i samband med växelverkan mellan salint grundvatten och betongbarriärerna. SSM adresserar dessa frågeställningar i Del III, avsnitt 5.3 och 6.3 i denna granskningsrapport som handlar om utvecklingen och degraderingen av de tekniska betongbarriärerna under och efter de första 1000 åren efter slutlig förslutning.

SKB:s beskrivning av redoxutvecklingen i det opåverkade grundvattnet nära SFR bedöms vara ändamålsenlig. Avseende redoxutvecklingen inklusive förvarskomponenternas inverkan anser SSM att modelleringen utförd i (SKB TR-12-12) håller hög kvalitet och i huvudsak beaktar de viktigaste aspekterna av redoxförhållanden och redoxkapacitet i förvaret. SKB:s analys av redoxförhållanden baserat på fältmätningar (SKB P-11-25) bedöms i rimlig omfattning vara baserad på platsspecifik hydrokemisk, mikrobiologisk, och mineralogisk information samt isotopdata. SSM anser att SKB:s svar på kompletteringsbegäran avseende redoxprocesser i geosfären innebar ett förtydligande som förenklade SSM:s bedömning (SKB dokID 1594783). SSM kommenterar antagandet att magnetit utgör slutprodukt i anoxisk korrosion av stål samt att detta mineral har en förmåga att upprätthålla reducerande redoxförhållanden under hela analysperioden i Del III, avsnitt 6.8 i den här rapporten (utvecklingen efter 1000 år efter förslutning).

5.8 Sammanfattande bedömning

I detta kapitel granskas och bedöms SKB:s redovisning av utvecklingen under de första tusen åren efter förvarets förslutning i avfallet, betong- och lerbarriärerna, i berget samt geokemisk och hydrogeologisk utveckling i närzon och berg. Nedan följer sammanfattande bedömningar område för område.

Avfall

SSM har granskat svällningsproblematiken i samband med driften av det befintliga SFR och i samband med granskning av acceptanskriterier för avfall till SFR. Denna granskning av SSM utgör en utgångspunkt för bedömning av säkerhetsanalysen SR-PSU. SSM anser att identifierade brister i SKB:s redovisning, såsom den bristande analysen av experimentella och teoretiskt framräknade svällningsegenskaper för jonbytarmassor och indunstar-koncentrat, behöver åtgärdas. Det behövs en utökad analys, förståelse och diskussion kring vad dessa skillnader beror på med tanke på att svälltrycken vid olika volymökningsandelar har en stor betydelse för omfattningen på de åtgärder som krävs för att motverka skador på omkringliggande betongbarriärer. SSM har inom ramen för tillsyn av befintlig anläggning utfärdat ett föreläggande som fokuserar på acceptanskriterier för avfall till SFR (SSM2012-4941-33) som bland annat följer och reglerar denna fråga. Myndighetens förhållningssätt rörande tillsynsfrågor för befintlig anläggning av relevans vid tillståndsprövning av utbyggnad beskrivs i (SSM 18-2660).

Även om 2BMA är den förvarsdelen som visats vara mest känslig för betongdegradering utifrån ett hydroperspektiv (SKB TR-13-08) konstaterar SSM att denna tillkommande förvarsdelen har en begränsad betydelse i detta sammanhang eftersom inget avfall som innehåller bitumen kommer placeras där.

Betongbarriärer och betongkonstruktioner

Beroende på reparationsåtgärden för genomgående sprickor som SKB kommer att tillämpa i 1BMA för att minska den hydrauliska konduktiviteten hos betongbarriären, kommer olika grundvattenpelare att belasta konstruktionen. SSM konstaterar att om ingen reparation sker, så kommer vattentrycket som betongkonstruktionen ska motstå inte att bli så stort i och med att de genomsläppliga sprickorna, särskilt i bottenplattan, jämnar ut vattentrycket mellan in- och utsidan av kassunerna. Om konstruktionen å andra sidan kommer att repareras så att den får en mycket låg hydraulisk konduktivitet, kommer dock hela vattenpelare på 85 m att belasta konstruktionens bottenplatta, väggar samt lock. Givet att reparationsåtgärderna är erforderligt dimensionerade och genomförda, bör viss sprickbildning uppstå på grund av lasten men inte i en sådan omfattning att den blir genomgående betongkonstruktionen. Därför bör den hydrauliska konduktiviteten förbli i stort sätt opåverkad på grund av vattenmättnaden som sker inom de första ca 100 åren. Med hänsyn till SSM:s kommentarer i Del III, avsnitt 4.3.3 i denna rapport som gäller initialtillståndet av 1BMA bedömer SSM att det finns en osäkerhet kopplad till en reparation av betongbarriären enligt SKB dokID 1577237 avseende verifierbarhet av konstruktionens hydrauliska konduktivitet.

Under drifttiden har armeringskorrosion förekommit i 1BMA pga. kontakt med saltvatten. SSM anser att armeringskorrosionen inte bör ske i påtaglig omfattning under den relativt korta vattenmättnadsperioden givet att lämpliga åtgärder tillämpas innan förslutning för att återställa ursprunglig funktion hos korroderad ytlig armering samt täcksikt i ytterväggarna. Detta beaktar även bidraget från eventuell jordströmskorrosion. SSM anser att, förutsatt att adekvata åtgärder tillämpas innan förslutning för att återsätta ursprunglig funktion hos korroderad ytlig armering, påverkan på betongens egenskaper beaktas i SKB förhållandevis pessimistiska hantering av betongens degradering, givet det initialtillstånd som ansätts i säkerhetsanalysen.

Beträffande kemisk betongdegradering i 1BMA under vattenmättnadsfasen, anser SSM att SKB på ett ändamålsenligt sätt har beskrivit den initiala kemiska utvecklingen av betongbarriärerna. SKB:s modellering har dock inte tydligt reflekterat bildning av Friedelsalt associerat med en ökning av pH. SSM anser dock att SKB:s tillämpning av ett mer komplext reaktionssystem, som leder till en platófas i pH i reaktiv transportmodelleringen under bildandet av Friedelsalt, har beskrivit processerna på ett godtagbart sätt. SKB inte haft för huvudsikt att modellera igensättning av sprickor i betongen som följd av utfällning av olika mineraler visar SKB:s redovisning att inneboende förutsättningar för detta fenomen finns omhändertaget i SKB:s modellering, vilket reflekterar betydelsen av att beskriva den kemiska utvecklingen i cement med ett komplext reaktionssystem.

För utveckling av 2BMA under vattenmättnadsfasen bedömer SSM att SKB:s beskrivning av termisk kontraktion är godtagbar och SKB:s slutsats att kontraktionen inte kommer att generera genomgående sprickor i betongkonstruktioner som ytterligare förändrar dess hydrauliska konduktivitet är trovärdig. Däremot kan genomgående sprickor sannolikt ha uppkommit till följd av skarven mellan olika gjutningsetapper, sättningar i grundläggningen eller grundvattentrycket. För dessa möjliga genomgående sprickor har SKB uppskattat ökningen av hydraulisk konduktivitet i betongbarriärerna.

SSM bedömer att SKB:s beskrivning av återmättnadsfasen och dess tidsutdräkt för Silo är rimlig. Givet osäkerheterna kopplat till betongbarriärens initialtillstånd finns dock frågetecken kopplat till antagandet om betongs vattengenomsläpplighet under de första 1000 åren i beräkningsfallet för kollektivdos där de parametrar som antas fordrar en förhållandevis sprickfri betong. Återfinns befintliga krympningsprickor i Silo i samma

utsträckning som i 1BMA skulle termisk kontraktion i betongbarriärkonstruktionen på liknande sätt kunna medföra ökad sprickvidd i dessa sprickor. Det måste dock betonas att detta är ett antagande behäftat med osäkerheter till följd av osäkerheterna avseende Silos initialtillstånd. Strålsäkerhetsbetydelse av detta antagande hänger ihop med initialtillståndet och tidigare utveckling av den intilliggande bentonitfyllningen i Silo som granskas annorstädes i denna rapport.

Beträffande utvecklingen av betongkonstruktionerna i förvaret under tiden fram till 1000 år efter vattenåtermättnadsfasen, anser SSM att SKB:s antagande för värdet av diffusivitet i betongbarriärer efter vattenmättnaden är konservativt, med hänsyn tagen till att diffusiviteten i betongbarriärer är förhållandevis okänslig för kemiska och mekaniska degraderingsprocesser. SSM anser att även om SKB skulle ha underskattat den hydrauliska konduktiviteten vore grundvattenflödet inte tillräckligt stort för att påverka degraderingsprocesserna eller radionuklidtransporten innan landsförhållandena råder ovanför SFR. Enligt modelleringarna av degraderingsprocesserna kommer inga märkbara förändringar fram till 1000 åren efter förslutning. Särskilt för 1-2BMA, leder slutföring av utjämning av vattentrycket mellan ut- och insida av konstruktionen till att lasterna minskar avsevärt samtidigt som den mekaniska hållfastheten hos betongbarriärkonstruktionen inte förändras nämnvärt under denna period. För 1BMA, bedömer SSM att påverkan på betongen av produkter från armeringskorrosion inte är betydande under denna relativt korta tidsperiod.

Lerbarriärer

SSM bedömer att SKB:s redovisning av vattenåtermättnadsprocessen för bentonitfyllningen i Silo är vetenskapligt välgrundad och att SKB:s modelleringsresultat är trovärdiga. SSM anser att SKB:s angreppssätt med två gränssättande randvillkor i modellering av återmättnadsprocessen, dvs. odränerad respektive dränerad representation av berget för att täcka in den globala förändringen av grundvattentrycket i berget, väl har rymt in den rådande situationen i omgivning kring Silo, eftersom randvillkoren har kalibrerats mot det uppmätta inflödet till Silo under drift av anläggningen. SSM instämmer med SKB att den mycket korta tiden för återmättnad av bentoniten i Silo (tio till tiotals år) kommer att ha relativt liten inverkan på andra utvecklingsprocesser i Silo och därmed ha försumbar säkerhetsbetydelse för slutförvaret.

SSM bedömer att SKB:s redovisning av kanalbildning med efterföljande erosion av bentonitmaterial i SFR är ändamålsenlig och slutsatserna i redovisningen är trovärdiga. SSM instämmer med SKB att data till de viktiga parametrarna för att kvantifiera kanalbildningserosionens omfattning och säkerhetskONSEKVENSER fortfarande är knapphändiga. SKB behöver i kommande steg av sitt program mer ingående utreda relevanta egenskaper för just den typ av bentonit som används i Silo för att tillföra mer tillförlitliga data för modelleringen.

Avseende inverkan av gasbildning och gastransport på de tekniska barriärerna anser SSM att processerna är av störst vikt för Silo då förvardsdelen har minst permeabilitet som en följd av det kvalificerade barriärsystemet med både betong- och bentonitbarriär. SSM bedömer att SKB:s redovisning av inverkan av gas på säkerheten för Silo är vetenskapligt välgrundad och slutsatser dragna från modelleringen är trovärdiga. SSM anser att SKB:s antagande i modelleringen att gas först bryter genom bentonit-sand-blandningen på toppen av Silo med fungerande gasavledningsrör är ett avgörande antagande för bedömning av inverkan av gasbildning och gasgenombrott på Silos strålsäkerhet. Antagandet bedöms av SSM vara rimligt. SSM anser dessutom att den beräknade mängden av porvattnet som behöver flöda ut ur Silo innan gasgenombrott för att ge en ny hydrostatisk balans i förvardsdelen är trovärdig. SSM bedömer att SKB:s modellering kan tillhandahålla

trovärdiga uppgifter om mängd av porvatten som flödar ut ur silon pga. gasbildningen och tider när flödet kommer att ske.

Berg och bergutrymmen

SSM bedömer att SKB:s analys av bergsalsstabiliteten för 1BMA och 1BLA efter förslutningen är ett rimligt tillvägagångssätt för att studera degradering av sprickegenskapernas påverkan på bergmassans stabilitet. SSM bedömer att SKB:s antagande vid modelleringen leder till en konservativ bedömning av stabiliteten efter förslutning. Sammanfattningsvis bedömer SSM att den nuvarande anläggningen och den planerade utbyggnaden, under tempererade klimatförhållanden, inklusive de första tusen åren, är långsiktigt stabila efter förslutningen. SSM anser att SKB inför kommande steg i sitt program behöver uppdatera och komplettera analysen av bergsalsstabiliteten med användning av de bergspänningsdata som redovisas i den platsbeskrivande modellen. SSM bedömer dock att SKB:s nuvarande analys med andra data inte har konsekvenser för bedömningen av stabiliteten.

SSM bedömer att uppluckring av bergmassan till havsbotten ovanför berggrummen i 1BMA, orsakad av djupare och bredare bergsalar samt djupare förläggingsdjup i den planerade utbyggnaden än de i det befintliga SFR, kan uteslutas om förslutningen av dessa berggrum sker enligt förslutningsplanen för SFR. Vidare bedömer SSM för den utbyggda delen av förvaret att risken för uppluckring av bergmassan till havsbotten ovanför berggrummen i 2BMA helt kan uteslutas tack vare de storskaligt stabila förhållanden samt den stora bergtäckningen som tillåter valvverkan ovanför berggrummen.

SSM bedömer att SKB i nästa steg i sitt program bör tydliggöra vilken konsekvens en ökning av den hydrauliska konduktiviteten i pelaren mellan bergsalarna har för den långsiktiga strålsäkerheten.

Hydrogeologi i närzonen och berget

SSM delar sin externa experts bedömning om vetenskaplig trovärdighet för SKB:s hydrogeologiska modeller och anser att SKB:s utredningar är väl förankrad i aktuell forskning. SSM bedömer att dokumentationens kvalitet för den hydrogeologiska modellen i stort är ändamålsenlig och att spårbarheten av antaganden och hur olika data förs mellan olika beräkningar är godtagbar.

SSM konstaterar att en förenklad modell för att belysa viktiga osäkerheter, som valet av konceptuell DFN-modell som SKB har föreslagit, ger jämförbar spridning av grundvattenflödet som i SKB:s utvärdering med valet av andra modeller. SSM bedömer att analyserna ger två oberoende utvärderingar av flera nyckelosäkerheter, vilka ger jämförbara spridningar av grundvattenflödet genom förvarsdelarna.

SSM bedömer att SKB:s parametrisering av förvarsanläggningens egenskaper i den regionala modellen är rimlig givet modelleringens ändamål. SSM bedömer att den konservativa hanteringen med att anta högre vattengenomsläpplighet i närzonsmodellen är lämplig och att påverkan av dessa antaganden på flödet på regional skala bör vara liten, framförallt i tidiga skeden när flödena genom avfallet begränsas avsevärt av flödesbarriärerna i de förvarsdelar där sådana finns. SSM bedömer att hanteringen av randvillkor och överföring av konduktivitetsdata för berget till närzonsmodellen är genomfört på ett lämpligt sätt.

SSM anser att antagandet av förhöjda vattentryck under Östersjön bör beaktas som en osäkerhet i SKB:s analys eftersom SKB verkar ha hänvisat till samma underlagsrapport för att motivera både för och emot detta antagande. SSM bedömer vidare att skillnaderna

mellan beräknade flöden under mättade förhållanden för år 2000 e.Kr. för SAR-08 och SR-PSU pga. skillnaden i antaganden rörande vattentryck i bergmassan under Östersjön inte bör ha någon större påverkan på beräkningarna av inflöden med tanke på de stora skillnaderna i tryckgradienterna mellan en situation med öppet förvar och återmättade förhållanden.

SSM anser att skillnaderna i vattenflöden mellan SKB:s tidigare säkerhetsanalys SAR-08 och SR-PSU bör beaktas i bedömningen av de hydrokemiska analyserna när SKB tillämpar de hydrogeologiska resultaten från SAR-08 i vissa hydrokemiska beräkningar i SR-PSU. Detta gäller särskilt SKB:s uppskattning av återmättnadstider då inflödena till befintliga anläggningen som uppmättes på den tid när SAR-08 togs fram är högre än vad som gäller idag. Denna osäkerhet har dock beaktades av SKB i en av sina kompletteringar till SR-PSU och SKB:s kompletterande information bedöms ge rimliga förutsägelser för återmättnadstiderna.

SSM bedömer att det är rimligt att utsläppspunkterna under de första 1000 åren är under Östersjön och att utsläppspunkternas densitet är korrelerade till förekomsten av deformationszonerna såsom SKB:s modelleringsresultat visar.

Kemiska betingelser i närzonen och berget

SSM anser att SKB:s beskrivning av den geokemiska utvecklingen de första 1000 åren är ändamålsenlig. SKB:s val av parameterintervall för referenssammansättningen på grundvattnet som antas i säkerhetsanalysen de första 1000 åren anses i stort vara motiverat utifrån de underlagsrapporter den baserats på. Reaktiv-transportmodelleringen som utgör en del av underlaget som ligger till grund för beskrivningen av den geokemiska utvecklingen i SR-PSU bedöms vara transparent och utförlig. SSM anser att en tydligare redovisning kring och spårbarhet i hur vissa underlag resulterat i den slutliga beskrivningen av geokemisk och grundvattenkemisk utveckling vore önskvärd och bör förbättras inför kommande redovisningar.

Avseende möjligheten för upptransport av salint grundvatten till förvarsdjup och blandning med befintligt grundvatten anser SSM att möjligheten inte helt kan bortses från. Ett saltare grundvatten skulle medföra större påverkan på de tekniska barriärerna och accelerera betongdegraderingsprocessen och inducera en snabbare depassivering av armeringsstålet. Denna fråga granskas och bedöms vidare i Del III, avsnitt 5.3 och 6.3 av denna rapport.

Avseende redoxutvecklingen inklusive förvarets inverkan anser SSM att modelleringen håller hög kvalitet och i huvudsak beaktar de viktigaste aspekterna av möjlig påverkan på redoxkapacitet i förvaret. SKB:s redoxkarakteriseringen bedöms överlag ta hänsyn till och integrera platsspecifik hydrokemisk, mikrobiologisk, mineralogisk samt isotopdata.

6 Slutförvarets utveckling efter 1000 år - tempererat klimat

6.1 Inledning

I detta kapitel beskrivs SKB:s redovisning av förvarets utveckling efter 1000 år från förslutningen under det tempererade klimatförhållandet samt SSM:s bedömning av redovisningen. Säkerhetsanalysen SR-PSU beaktar en analysperiod som sträcker sig över 100 000 år efter förslutning av förvaret.

Processerna som granskas i detta kapitel är utgöra av de som antingen påbörjas efter tusen år efter att förvaret har slutligt förslutits, eller av de processer som har initierats tidigare men fortskrider och har störst betydelse för förvarets långsiktiga strålsäkerhet efter tusen år efter förslutning. Detta kapitel fokuserar på de processer som i huvudsak sker under temperade klimatförhållanden. Utveckling av de processer som relaterade till periglaciala klimatförhållanden sammanfattas och bedöms i kapitel 7 i denna granskningsrapport.

En uppsättning krav på de tekniska och naturliga barriärerna i ett slutförvar återfinns i 2, 3, 4, 5, 6, 7 och 8 §§ SSMFS 2008:21. Förutom 4 § som kräver rapportering av brister i barriärfunktioner under uppförande- och driftsskede av ett slutförvar, avser alla andra ovannämnda krav förvarets långsiktiga utveckling och skyddsförmåga. I detta kapitel behandlas olika processutvecklingar hos olika barriärer och förvarets omgivning; så som avfallskollin och avfallsmatris, betongbarriärer och betongkonstruktioner, lerbarriärer, hydrogeologi och kemiska betingelser i närzonen och berget, samt retardationsmekanismer för radioaktiva ämnen i slutförvarsmiljön.

Enligt SSM:s föreskriftkrav (10 § SSMFS 2008:21) ska säkerhetsanalysen omfatta så lång tid som barriärfunktioner behövs, dock minst tiotusen år. Vidare anges det i de allmänna råden till 10-12 §§ SSMFS 2008:37 att riskanalysen åtminstone bör omfatta cirka 100 000 år eller tiden för en glaciationscykel. Tidsperioden i SKB:s redovisning som granskas och bedöms i detta kapitel löper från cirka 1000 till 100 000 år efter förvarets slutliga förslutning.

SSM ställer krav på att säkerhetsanalysen ska omfatta bl.a. förhållanden, händelser och processer vilka kan leda till spridning av radioaktiva ämnen efter förslutning av ett slutförvar. Utvecklingen av olika processer hos barriärerna skiljer sig under förhållanden med tempererat klimat från de som sker under förhållanden med kallt klimat. I detta kapitel granskar och bedömer SSM SKB:s redovisning av de processer hos barriärerna som främst sker under förhållanden för tempererat klimat mellan ett tusen till hundratusen år efter förslutning. Processerna som huvudsakligen sker under förhållanden med kallt klimat granskas och bedöms i kapitel 7 i föreliggande granskningsrapport.

6.2 Avfallskollin och –matris

6.2.1 Sönderdelning av organiskt material, korrosion av metaller, och resulterande gasbildning efter slutlig förslutning

Beskrivning av SKB:s underlag

Efter inplacering i SFR och i samband med reaktion med omgivande grundvatten kommer avfallsmatriserna att under lång tid långsamt att degraderas och generera gasformiga produkter. Degradering och gasbildning består av tre huvudsakliga beståndsdelar:

- Nedbrytning av organiskt material
- Korrosion av metaller
- Radiolys som följd av alfa- och gammastrålning från radioaktiva ämnen

Enligt SKB:s redovisning förväntas gasbildningen initialt domineras av nedbrytningen av organiskt material och på lång sikt av korrosion av metaller (SKB TR-14-03). Radiolys ger i jämförelse upphov till helt försumbara gasmängder och denna process kommenteras därför inte ytterligare i detta avsnitt.

Degradering av organiskt material leder till bildning av nedbrytningsprodukter som påverkar de kemiska betingelserna i avfallet och även till uppkomst av komplexbildande ämnen som påverkar förutsättningarna för radionuklidtransport. Små mängder bildad gas löser upp sig i grundvattnet och kan även i viss utsträckning påverka grundvattenkemin (SKB TR-14-04). Mer betydande mängder gas ger upphov till en gasfas och leder till transport av gas som via tryckupbyggnad ger en mekanisk påverkan och möjligen orsakar skador på barriärsystemet. Uppkomsten av en gasfas ger upphov till tvåfasflöde vilket ger en minskning av grundvattenflödet. De viktigaste radioaktiva ämnena som kan transporteras via gasflöde är tritium (H-3), som transporteras i form av vätgas, och kol-14, som transporteras antingen som metan eller som koldioxid. Den långsiktiga korrosionen av metaller upprätthåller reducerande kemiska betingelser som har stor betydelse för transport av radioaktiva ämnen från slutförvaret. SKB konstaterar sammanfattningsvis att gasbildningen har en påverkan på slutförvarets långsiktiga strålsäkerhet, men att betydelsen är mycket begränsad och parametrar kopplade till gasbildning och gastransport ingår inte explicit i säkerhetsanalysberäkningar (SKB TR-14-03, avsnitt 3.5.10). Integrerad modellering av gasbildning och gastransport har inte genomförts inom ramen för SR-PSU men däremot som en del av den tidigare säkerhetsanalysen SAR-08 (SKB R-08-130).

Mikrobiell nedbrytning av organiskt material ger upphov till främst metan, koldioxid och vätgas. SKB delar upp organiskt material dels i reaktiva cellulosabaserade avfallsmaterial med stor specifik yta, dels andra organiska material i avfallsmatriserna så som jonbytar-massor, bitumen, gummi, plast etc. med liten specifik yta och liten potential för gasbildning (SKB TR-14-03). Bildning av metan och koldioxid är främst associerad med initial degradering av lättnedbrytbara material i BLA men betydande mängder cellulosa finns även i de andra förvarsdelarna. En viss andel av bildad koldioxid kommer sannolikt reagera med cement under bildning av kalciumkarbonat. Förståelsen av degradering av cellulosa under alkaliska betingelser har främst utvecklats för att förstå uppkomst och betydelse av komplexbildande degraderingsprodukter som isosackarinsyra (ISA). Under reducerande betingelser sönderdelas cellulosa genom hydrolys under bildning av alkoholer, karboxylsyror och vätgas. Enligt modelleringsstudier kan en fullständig degradering av cellulosa ta allt mellan 1000 och 5000 år (SKB TR-12-12). Under initiala oxiderande betingelser sönderdelas cellulosa. Bitumen oxideras under inverkan av mikrobiell aktivitet. Bitumen och i ännu högre utsträckning jonbytar-massor är dock generellt svårnedbrytbara, och nedbrytningshastigheten under alkaliska betingelser har bedömts vara svårkvantifierbar. SKB förutsätter dock i sin modellering av avfallsets reducerande kapacitet att bitumen och annat svårnedbrytbart organiskt material bryts ned långsamt under bildning av acetat under både biotiska och abiotiska förhållanden (SKB TR-12-12). SKB förutsätter dock att jonbytar-massor förblir kemiskt inerta i slutförvarsmiljön.

En viktig process under förvarets utveckling är korrosion av metaller, i huvudsak i form av kolstål, rostfritt stål, aluminium och zink. Beträffande stål är förekomsten i slutförvaret endast delvis beroende på avfallskollinas sammansättning eftersom armeringsjärn används som konstruktionsmaterial i betongbarriärerna i det befintliga SFR. Korrosion av armeringsjärn bidrar också till slutförvarets förmåga att upprätthålla reducerande betingelser. Aluminium och zink är under vissa förhållanden passiverande, men under alkaliska betingelser förväntas det passiverande oxidlagret lösas upp vilket tillsammans med metallernas övriga egenskaper ger upphov till en snabb korrosionshastighet. En snabb korrosion av små mängder av dessa metaller under bildning av vätgas bidrar inte på något väsentligt sätt till förmågan att upprätthålla reducerande betingelser och SKB:s modellering fokuseras därför helt på korrosionen av olika typer av stål. Korrosionen som

följer under anaeroba förhållanden efter förbrukningen av allt kvarvarande syre förväntas i första hand utgöras av magnetit ($\text{Fe}_3\text{O}_4(\text{s})$) även om även andra korrosionsprodukter är möjliga så som grönrost under inverkan av höga kloridhalter. SKB föreslår efter en genomgång av litteraturen korrosionshastigheter om 10 nm/år för rostfritt stål och 50 nm/år för kolstål för det huvudsakligen förväntade tillståndet alkaliska och kemiskt reducerande betingelser (SKB TR-14-10). Korrosionshastigheterna för dessa material under oxiderande och/eller neutrala betingelser förväntas vara betydligt högre.

I sin modellering delar SKB upp förloppet i SFR efter slutlig förslutning i tre tidsskalor (SKB TR-12-12); 1) den mycket korta perioden upp till 30 dagar, 2) den i sammanhanget korta perioden upp till 5 år och 3) den långsiktiga perioden upp till 100 000 år. De deponerade avfallsmatrisernas kapacitet för reduktion beräknas med utgångspunkt från innehållet av järn, cellulosa, bitumen och generellt organiskt material. Den betydligt lägre kapaciteten för oxidation beräknas med utgångspunkt från innehåll av syre, sulfat och karbonat. Resultatet från denna typ av modellering visar på att redoxutvecklingen skiljer sig beroende på avfallstyp. Modellering har genomförts för var och en av de viktigaste typbeskrivningarna. Avfallstyper som innehåller organiskt material blir kemiskt reducerande efter bara några dagar medan avfallstyper utan organiskt material som bara innehåller järn/stål kan förbli oxiderande upp till något år efter förslutning. Efter att reducerande betingelser har etablerats blir degradering av både järn/stål och olika former av organiskt material långsammare men fortsätter med i princip en konstant hastighet. Förutom förekomst av olika typer av reducerande komponenter styrs den kemiska utvecklingen av huruvida avfallspaketet i sig innehåller betydande mängder av cement eller inte. Denna effekt har dock bara betydelse på kort och medellång sikt eftersom även dessa avfallspaket kommer att växelverka med cementpåverkat grundvatten från omgivningen i slutförvaret.

I avfallspaket som bara innehåller järn/stål som reducerande komponent förväntar sig SKB att all metall har korroderat efter från som kortast tusentals år till som längst efter cirka 60 tusen år (SKB TR-12-12). Tidsramen beror i hög utsträckning på metallernas specifika yta. Degraderingen av organiskt material och i synnerhet bitumen är dock betydligt långsammare och dessa material har inte degraderats helt förrän efter minst 60 000 år, som längst finns de även kvar efter 100 000 år. SKB konstaterar dock att även om alla metaller har förbrukats i ett avfallspaket finns en betydande kvarstående kapacitet kvar i och med ackumulering av korrosionsprodukten magnetit som innehåller järn(II) ($\text{Fe}_3\text{O}_4(\text{s})$). En fördel ur perspektivet långsiktig strålsäkerhet är att magnetit i motsats till den ursprungliga mängden järn/stål inte förbrukas genom reaktion med reducerande grundvatten utan denna reducerande kapacitet skulle enbart förbrukas vid reaktion med inkommande grundvatten som innehåller syre. Den innebär att risken för att oxiderande betingelser ska uppstå i avfallsmaterialet enbart föreligger om 1) alla reducerbara metaller och allt reaktivt organiskt material har förbrukats 2) bildad magnetit har reagerat och förbrukats genom reaktion med syresatt vatten. SKB:s känslighetsanalyser visar att magnetit kan kvarstå i slutförvarsmiljön efter tidsperioder av 10 000-tals år med infiltration av syresatt grundvatten, vilket leder till helhetsbedömningen att slutförvarsmiljön förblir kemiskt reducerande under hela säkerhetsanalysens analysperiod om 100 000 år (se även Del III, avsnitt 6.6 i denna granskningsrapport).

SKB påpekar dock att det finns ett antal betydande osäkerheter som har utvärderats med hjälp av känslighetsanalyser (SKB TR-12-12). En sådan osäkerhet är huruvida bitumen samt annat organiskt material förutom cellulosa verkligen har en betydande degraderings-hastighet i slutförvarsmiljön. SKB menar på att degradering kommer äga rum under biotiska förhållanden men i frånvaro av mikrobiell aktivitet kan den inte säkerställas.

Enligt känslighetsanalyserna kan degraderingen av bitumen ha en betydelse men den är ändå begränsad med tanke på att degraderingshastigheten antingen är försumbar eller att degradering i stora drag sammanfaller med tidsintervallet för degradering av järn/stål. SKB har även genomfört vissa probabilistiska beräkningar för att utvärdera betydelsen av osäkerheter i korrosionshastigheten för järn/stål. Hastigheterna spänner över fyra tiopotenser med betydelsen av denna osäkerhet bedöms ändå vara begränsad eftersom reducerande kapacitet kvarstår även efter att allt järn/stål har förbrukats. Den snabbaste korrosionshastigheten innebär att järn/stål helt har förbrukats efter cirka 5000 år i den avfallstypen med minst mängd järn/stål.

SSM:s bedömning

SSM anser att SKB:s modellering av degraderingsförloppet för organiskt material respektive korrosion av metaller är utförda med en välgrundad och huvudsakligen korrekt metod. Analysen av dessa processer har utvecklats betydligt sedan tidigare säkerhetsanalyser genom en mer utförlig beskrivning av det tillgängliga vetenskapliga underlaget för degradering av metaller och organiskt material, samt den mer detaljerade modelleringen av den kemiska utvecklingen i olika typer av avfallspaket med olika materialsammansättning och förutsättningar för degraderingsprocesser (SKB TR-12-12). Den strålsäkerhetsmässiga betydelsen av dessa processer relateras i första hand till förmågan att etablera och upprätthålla reducerande kemiska betingelser eftersom sådana betingelser överlag är gynnsamma för retardation av radionuklider i slutförvarsmiljön. SKB:s slutsats är att kemiskt reducerande betingelser kvarstår i slutförvaret under hela säkerhetsanalysens analysperiod om 100 000 år och att det inte finns någon risk för att oxiderande betingelser uppstår. SSM konstaterar att för att få bästa möjliga information om dessa processer i samband med framtida säkerhetsvärderingar och – analyser behöver mängd, typ och specifik yta av organiskt material och metaller som tillförs avfallskollin dokumenteras noggrant. För metaller är den specifika ytan och metallernas godstjockled avgörande för hur länge de förväntas kvarstå i slutförvaret.

SSM anser dock att risken för oxiderande betingelser inte kan uteslutas baserat på det befintliga underlaget. Detta gäller i synnerhet om höga korrosionshastigheter skulle föreligga samt för avfallsmatriser som innehåller relativt sätt mindre mängder järn/stål. SKB hävdar att så länge magnetit kvarstår i slutförvaret kommer betingelserna att förbli kemiskt reducerande tack vare den syreförbrukande förmågan hos järn(II) i denna korrosionsprodukt. SKB drar därför slutsatsen att korrosionshastigheten för järn/stål inte har någon betydelse för slutförvarets framtida redoxstillstånd.

Enligt SSM:s bedömning kan det dock inte anses klarlagt att magnetit verkligen reagerar med allt inträngande syre beroende bl.a. på det bildade mineralets reaktiva area, upplösningskinetik, och rumsliga fördelning i ett slutförvar med degraderade betongbarriärer. Fördelning av grundvattenflöden i förhållande till förekomster av magnetit kommer sannolikt också ha en betydelse, vilket inte adresseras i SKB:s modelleringsstudie. Rumsliga och temporära fickor av oxiderande betingelser med oxiderande betingelser kan komma att etableras. För att dra mera väl underbyggda slutsatser kring magnetitens förmåga att upprätthålla reducerande betingelser behöver materieöverföringsbegränsningar i systemet respektive möjligen kinetik integreras i beräkningarna. Med tanke på möjliga begränsningar för magnetitens redox-kontroll får också fördelningen av korrosionshastigheter en större betydelse. SKB skulle även behöva undersöka huruvida det finns lägre gräns för korrosionshastigheter som begränsar förutsättningar för att upprätthålla reducerande betingelser under en situation där syresatt grundvatten infiltrerar förvaret. En annan fråga som behöver adresseras mera explicit är hur stor andel av korroderat järn som kan bilda järnsulfider snarare än magnetit. Av SKB:s framgång att osäkerheter föreligger med avseende på korrosionshastigheter för järn och stål. SSM

bedömer att SKB har hanterat osäkerheter kring korrosion av järn/stål inom ramen för analys av kemisk utveckling, men frågorna behöver belysas ytterligare inom den fortsatta forskningen om korrosion av järn/stål i cementmiljö.

Av betydelse för SSM:s bedömning kring SFR-förvarets förmåga att motstå uppkomst av oxiderande betingelser är också att underlaget för bitumens och övrigt organiskt materials degradering under förvarsliknande reducerande kemiska betingelser är osäkert. Som framgår av SKB:s redovisning är det vetenskapliga underlaget för att dra definitiva slutsatser kring dessa processers betydelse i slutförvarsmiljön mycket begränsat. Det föreligger betydande osäkerheter kring sönderdelning av svårnedbrytbara organiska material som jonbytarmassor, bitumen, plast och gummi. Sönderdelningen av dessa material sker mycket långsamt och är därför svår att studera experimentellt, och det kan därför vara svårt att verifiera processernas betydelse i de mycket långa tidsskalor som är aktuella för SFR. Ett undantag utgör dock degraderingen av cellulosa som enligt SSM:s bedömning har undersökts experimentellt på ett övertygande sätt. Deponering av detta material behöver dock minimeras. I och med att materialet inte finns alls i delar av förvaret, och det har därför en mindre betydelse för slutförvarets förmåga att upprätthålla reducerande betingelser.

Enligt SSM:s bedömning är den säkerhetsmässiga betydelsen av att inte helt kunna utesluta oxiderande förhållandet i slutförvaret under den aktuella analysperioden 100 000 år dock begränsad. Beräkningarna för det särskilda restscenariot ändrade redoxförhållanden i SFR-1 visar visserligen att nuklider som Pu-239 och Tc-99 ger högre dosbidrag men effekten på den maximala totaldosen är liten (SKB TR-14-09). Dessutom förekommer med all sannolikhet risken för oxiderande betingelser i någon del av slutförvaret endast efter att 1) syresatta grundvatten infiltrerar slutförvaret vilket är kopplat till glaciala förhållanden långt fram i analysperioden, 2) tillgängligt järn/stål har förbrukats genom korrosion, och 3) organiskt material antingen har förbrukats eller visar sig vara icke-reaktivt i slutförvaret.

SSM konstaterar att modellering av redoxutvecklingen på kollinivå i SR-PSU har baserats på grundvattenflödes hastigheter som har tagits fram i SKB R-01-02 och inte på resultaten från de betydligt mer uppdaterade grundvattenflödesanalyserna särskilt framtagna för SR-PSU (SKB TR-13-08). Detta måste betraktas som otillfredsställande ur kvalitetssäkringsperspektivet. Denna slutsats visar på behovet av en tidsmässig planering av modelleringsaktiviteter som genomförs inom ramen för en säkerhetsanalys för att säkerställa konsekvens i datahantering och att bästa möjliga informationen utnyttjas i de slutliga radionuklidtransporter och dosberäkningar som ligger till grund för bedömningar med avseende på kravuppfyllelse. Det finns också ett värde kring att så långt som möjligt integrera insatser kring detaljerad modellering och analys av förvarsutveckling inom olika områden.

Andra säkerhetsmässiga betydelse av korrosion av metaller och degradering av organiskt material är en strukturell påverkan på de tekniska barriärernas egenskaper och skyddsförmåga. Denna påverkan kan ske direkt genom svällning till följd av att korrosionsprodukterna tar upp en större volym i jämförelse med de deponerade metallerna, eller indirekt genom den efterföljande bildningen och ackumuleringen av gas. SSM bedömer dock att en betydelsefull påverkan av dessa processer avser förvars- eller förvarsdelsnivån snarare än kollinivå och denna fråga analyseras därför på annan plats i denna granskningsrapport (se Del III, avsnitt 6.3 och 6.4 i denna granskningsrapport).

Krav på korrosionsbeständighet finns med i acceptanskriterierna för avfall till befintliga SFR (SKB dokID 1336074). SSM konstaterar att detta krav avser tiden fram till

deponering av avfallskollin eller som framgår av SSM:s granskning av acceptans-kriterierna (SSM 2012-4914-15), tiden fram till kringgjutning av avfallskollin. Acceptans-kriterierna har därför ingen bäring på de mycket långsiktiga korrosionsprocesser som sker efter slutlig förslutning av SFR, vilka analyseras ovan.

6.3 Betongbarriärer och betongkonstruktioner

Beskrivning av SKB:s underlag

Mellan 1000 och 3000 år efter förslutning förekommer stora förändringar i grundvattenflödet i samband med förflyttning av strandlinjen till följd av hävning av markytan i Forsmark som resulterar i en övergång från saltvatten till sötvatten. Den kalciumrika alkaliska plogen från betong eller andra cementbaserade material kommer under perioden fram till ca 5000 eller 10 000 år att resultera i att karbonater i inströmmande grundvatten fälls ut i form av kalcit i makadamen (SKB dokID 1593574). Efter ca 10 000 år har urlakningen av kalcium minskat och karbonat i inströmmande grundvattnet når fram till betongstrukturen. Dock sker inte en utfällning av kalcit i betongstrukturerna utan istället bildas thaumasit (SKB, 2015, figur 6-27). Från denna tidpunkt och framåt sker en signifikant utfällning av thaumasit i betongstrukturerna vilket av SKB bedöms leda till ytterligare mekanisk degradering. Bildning av kalcit börjar åter ske efter 48 000 år, dock företrädesvis inne i betongen istället för i makadamen, och denna process pågår fram till analysperiodens slut vid 100 000 år. SKB anger (SKB TR-14-10, tabell 5-3) att korrosionshastigheten för armeringsjärnen i en slutförvarskonstruktion tillverkad av armerad betong är $0,05 \mu\text{m}/\text{år}$ under alkaliska anoxiska förhållanden. Detta motsvarar en korrosion om 1 mm på 20 000 år (den period som BMA-konstruktionerna tillskrivs lastbärande förmåga) vilket ger en minskning av armeringens tvärsnitt om 2 mm under motsvarande period (SKB dokID 1577237).

Betongen i barriärkonstruktionerna i 1-2BMA antas i huvudscenariot vara måttligt degraderad med en genomsnittlig hydraulisk konduktivitet på $1 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$ och en effektiv diffusivitet på $5 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ fram till 22 000 år efter förslutning (SKB TR-14-09, tabell 4-2) efter vilket $1 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ antas till 52 000 år och slutligen $2 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ från 52 000 år fram till slutet av analysperioden. Porositeten antas vara 0,14 fram till 22 000 år, 0,18 fram till 52 000 år och till 0,5 resterande tid. För Silo ansätts en mer degraderad betong i huvudscenariot där barriärens vattengenomsläpplighet representeras av ett värde på hydraulisk konduktivitet på $1 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$ från 3 000 - 52 000 år efter vilket betongen antas vara fullständigt degraderad ($1 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$). Den effektiva diffusiviteten ansätts till $1 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ för Silo fram till 12 000 år, $5 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ från 12 000 - 22 000 år efter vilket $1 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ antas för resten av analysperioden. Porositeten antas vara 0,11 fram till 2 500 år efter vilket en ökning ansätts till 0,16 fram till 22 000 år. Från 22 000 - 52 000 år ansätts 0,21 och resterande tid av analysperioden antas Silos betong ha en porositet på 0,25.

I det mindre sannolika scenariot med accelererad betongdegradering ansätts för 1-2BMA en genomsnittlig konduktivitet på $1 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$ fram till 20 000 år efter förslutning varpå $1 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ antas för densamma under resterande tid av analysperioden (SKB TR-14-09). Effektiv diffusivitet ansätts till $2 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ redan efter 22 000 år och bibehålls under resten av analysperioden. Porositeten antas inte skilja sig från huvudscenariot fram till 12 000 år efter förslutning, varpå porositeten ökar i det mindre sannolika scenariot, från 0,14 till 0,18 fram till 22 000 år och 0,5 efter det (SKB TR-14-09, tabell 4-9). För Silo antas betongen i det mindre sannolika scenariot vara svårt degraderad, vilket motsvarar ett värde på hydraulisk konduktivitet på $1 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$, fram till 52 000 år efter vilket den antas vara fullständigt degraderad. En effektiv diffusivitet på $1 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ ansätts redan efter 12 000 år, då även en porositetsökning från 0,16 till 0,21 antas (SKB TR-14,09, tabell 4-9 och 4-

10). Påverkan av degraderingstillstånd på flödes hastigheter genom förvarsdelarna redovisas i (SKB TR-13-08). Från denna flödesmodellering erhålls en ökad (26 %) tunnelflödes hastighet genom förvarsdelarna (BMA) som en följd av betongdegradering. För Silo är tunnelflödes hastigheten mindre känslig mot betongdegradering då endast en ökning av tunnelflödes hastigheten på 13 % erhålls. Denna utökade robusthet tillskrivs bentonitbarriären (SKB TR-13-08, avsnitt 8).

I SKB TR-14-09, bilaga D redovisas på vilken basis radionuklidtransport genom betongkonstruktionen har modellerats. Flödes hastigheten avgör huruvida sprickförekomsten kommer att påverka betongbarriärens förmåga att sorbera radionuklider. Så länge som betongens degraderingstillstånd inte är omfattande, och betongen kan hanteras som ett poröst medium, så kommer sorption att kunna ske vid en tillräckligt låg flödes hastighet ($Q < 4 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3/\text{år}$). För låga vattenflöden upp till ca $4 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3/\text{år}$ antar SKB att diffusion och sorption genom betongkonstruktionen kan hanteras som i ett homogent medium bortsett från eventuella sprickor. Denna modell benämns standardmodellen och tillämpas för intakt betong. För större vattenflöden lokalt i en väsentligt degraderad betongkonstruktion antar SKB att sorption inte kan ske i betongen. Denna transportmodell benämns sprickmodellen och tillämpas för svårt och fullständigt degraderad betong.

1BMA

I (SKB R-13-40) har ett antal beräkningsfall utförts i reaktivtransportmodelleringen för att beakta möjliga reparationsåtgärder men även för att utvärdera befintligt tillstånd hos förvarsdelen. Dessa konceptualiseringar beskrivs och bedöms i Del III, avsnitt 4.3.2 i denna rapport. Under de första ca 2500 åren efter förslutning dominerar pH-utvecklingen av portlanditupplösning med stabila pH värden på 12,5 (SKB R-13-40, SKB dokID 1593574). Reparation av genomgående sprickor i 1BMA skulle enligt SKB:s modellering leda till att sänkningen av pH under ett värde på ca 12,5 senareläggs från nämnda tidpunkt med ca 600 år, medan en sänkning av pH till under 10 försenas från ca 9000 år med ca 3000 år. Reparationen fördröjer initialt sänkningen av pH men under tiden mellan ca 12 000 och 20 000 år har pH ändå nått ett värde på ca 8, som för fallet utan reparation (SKB R-13-40, avsnitt 7.5 och 7.7 – skillnaden beräkningsfallen emellan redovisas i avsnitt 7.11).

För beräkningsfallet med oreparerad 1BMA (SKB R-13-40, avsnitt 7.5 och 7.6) förblir porositeten, under de första 2000 åren efter förslutning, mer eller mindre konstant. En minskning kan noteras i samband med uppkomsten av Friedelsalt, vilket är ett expansivt mineral. Därefter orsakar portlanditutarmining en kontinuerlig ökning av porositet till ca 0,15 efter 5000 år. Efter det sker ytterligare degraderingsprocesser vilket leder till en porositet på ca 0,23 vid ca 8000 år efter förslutning. Den reparerade konstruktionen (som beskriven i SKB R-13-40, avsnitt 7.3.1, resultat i avsnitt 7.7) skulle uppvisa en ökning av porositet under samma period men endast till ett värde på ca 0,17.

För utveckling efter 10 000 år finns för 1BMA endast beräkningar gjorda med den termodynamiska databasen Cemdata-07 (SKB R-13-40, avsnitt 7.6). Efter utarmning av portlandit ca 2500 år efter förslutning noteras en minskning av pH till mellan 10 och 11 till följd av kalciumlakning av CSH-gelen. Ytterligare ett steg i utvecklingen av pH sker tidigast efter ca 8000 år efter förslutning då kalcit börjar lösas upp och pH sjunka kontinuerligt från ett värde på ca 10 till ca 9 vid 13 000 år efter förslutning. Det dröjer sedan fram till ca 20 000 år efter förslutning för pH att nå ett värde på ca 8. För betongkonstruktionen i 1BMA bidrar reparationen med att fördröja utarmningen av portlandit med ca 500 år. Flödes hastigheten genom betongbarriären i 1BMA antas bli $1,0 \cdot 10^{-12} \text{ m/s}$ efter 1 000 år och $2,2 \cdot 10^{-12} \text{ m/s}$ vid 3000 år efter förslutning (SKB TR-13-08).

SKB redovisar att en reparerad konstruktion i 1BMA har tillräckligt stora mått samt kvarstående icke-korroderad armering så att betongens hållfasthet 20 000 år efter förslutning då konstruktionen genomgått ovan beskrivna degradering fortfarande är tillräcklig stor för att motstå återfyllnadslasten samt vikten av det deponerade avfallet (SKB dokID 1577237).

2BMA

Den kemiska modelleringen av betongutvecklingen för 2BMA representeras av ett beräkningsfall i (SKB R-13-40, avsnitt 7.4). Detta beräkningsfall utgår SKB från som en representation för betongens kemiska degradering och redovisar i huvudrapporten (SKB, 2015, figur 6-27). När alkalihydroxider har utarmats, vilket sker förhållandevis snabbt, etableras portlanditbuffrade förhållanden i 2BMA, vilket sänker pH till 12,5 efter ca 1 500 år. Detta pH-värde bibehålls inne i betongkonstruktionen i 2BMA fram till efter 20 000 år då portlandit är helt utarmat. Successivt kommer kalciumlakning leda till en mineralomvandling i CSH-gelen och en gradvis förändring från kalciumrika till silikatrika gelfaser uppstår. Detta leder till att pH, efter ca 40 000 år, når ett värde under 11 i hela bergutrymmet där betongkonstruktionen ligger. Med upplösningen av CSH-gelfaserna sjunker pH stadigt under den återstående delen av analysperioden mot ett värde på ca pH 9,5.

Beräkningsresultaten för 2BMA pekar på att porositetsförändringarna kommer att vara mycket små under de första 10 000 åren och porositeten förändras från dess initiala värde på 11 % till ca 11,5 %. Från samma kemiska reaktivtransportmodellering erhålls små volymförändringar av ettringit under de första 10 000 åren (SKB, 2015, Figur 6-27), vilket ger stöd till SKB:s bedömning att risken för sprickbildning i betongen på grund av ettringitens svällande effekt är liten. Efter ca 10 000 år leder portlanditurlakning till en ökning av porositet till ca 14 % vid 15 000 år, efter vilket portlandit, som tidigare nämnts, är utarmat. Porositeten fortsätter dock att öka till ca 17 % vid 20 000 år allt eftersom CSH_{1.8} omvandlas till CSH_{1.1}. Efter den tidpunkten och fram till ca 30 000 år genereras ettringit som minskar porositeten i betongen till ca 16 %. Ettringit börjar utarmas efter 38 000 år och CSH_{0.8} utarmas vid 56 000 år vilket resulterar i att porositeten blir ca 21 %. Brucitutfällning når sitt maximum vid 70 000 år vilket korrelerar med porositetsmaximum på ca 27 % (SKB, 2015, Figur 6-27). Efter det minskar porositeten långsamt till ca 25 % vid 100 000 år.

I 2BMA bedöms risken för svällskador på grund av ettringit- och thaumasitbildning endast föreligga bortom 20 000 år från förslutning. Detta kan ske fram till 70 000 år efter vilket brucit och framför allt kalcit dominerar mineralsammansättningen i betongen. Efter 10 000 år ökar porositeten i betongen från den utvändiga sidan av en spricka till ca 15 cm i konstruktionen som resultat av att CSH_{1.8} utarmas och att CSH_{1.1} upplöses, vilket leder till urlakning av ettringit. Degraderingsprocesserna i betongen leder till att porositeten i återfyllnad samt grundläggningmaterialet minskar till följd av kalcitutfällningar. Under de första 5000 åren kan porositet i makadam minska från 30 % till ca 27,3 %. Under de första 3000 åren förekommer, som en följd av att pH minskar, även utfällningar av brucit mot betongkonstruktionen på inströmningsidan (SKB dokID 1593574). Efter det fortsätter kalcitutfällning under perioden mellan 10 000 och 100 000 år tills makadamen i återfyllnaden slutligen når ett porositetvärde på ca 19 %. Detta bekräftar antagandet i SKB:s modeller om att den hydrauliska funktionen hos makadamen inte förändras väsentligt, förutom i grundläggningmaterialet under betongkonstruktionen.

Viktigt att notera är att flödes hastigheten genom 2BMA i huvudscenariot antas bli $1,8 \cdot 10^{-16}$ efter 2000 år, $1,2 \cdot 10^{-12}$ m/s efter 3000 år samt $1,4 \cdot 10^{-12}$ m/s efter 5000 år efter

förslutning och framåt (SKB TR-13-08; SKB dokID 1564134, tabell 1-2). Diffusion styr lakningen av portlandit, vilket ju som tidigare nämnts sker under de första 20 000 åren. Värt att notera är att med en förhöjd grundvattenhastighet (fyra gånger högre) i återfyllnaden erhålls dock endast ett 1 cm större portlanditlakningsdjup (17 cm i stället för 16 cm) efter 20 000 år (SKB dokID 1564134, figur 1-2).

Silo

Den kemiska utvecklingen sker långsammare för betongbarriären i Silo än för motsvarande i 1-2BMA, till följd av att betongen omgärdas av en bentonitbuffert i Silo som medför diffusionsbegränsad transport av lösta ämnen från omgivande grundvatten. Den utförliga reaktivtransportmodelleringen som har tillämpats på betongkonstruktionerna i 1-2BMA är till viss del applicerbar även på Silo, även om utvecklings- och degraderingsprocesserna sker långsammare. Explicit reaktivtransportmodellering för Silo har dock utförts tidigare av SKB (SKB R-05-80, SKB R-07-51) vilket SKB även hänvisar till i säkerhetsanalysen SR-PSU. I (SKB R-05-80), som endast fokuserar på Silo, noteras att den yttre tredjedelen av betongväggen har genomgått mineralomvandlingar där portlandit-, hydrotalcit och CSH_{1.8}-upplösning har skett. Efter hela analysperioden är hela Silos betongvägg påverkad och all portlandit utarmad från barriären. En viss mängd CSH_{1.8} finns kvar men i första hand domineras betongens sammansättning av CSH_{1.1} och CSH_{0.8} efter 100 000 år. I och med att degraderingen endast nått en fas med bildande av kalciumsilikathydrater bedömdes Silo fortfarande besitta material- och sorptionsegenskaper efter 100 000 år (SKB, 2015, avsnitt 6.4.8). Bedömningen att Silos betongbarriär delvis bibehåller sin strukturella integritet efter 100 000 år görs även i (SKB R-07-51, avsnitt 5.2). De materialegenskaper i termer av porositet, effektiv diffusivitet och hydraulisk konduktivitet som ansätts för Silo i säkerhetsanalysens konsekvensanalysberäkningar har redovisats i introduktionen ovan i detta avsnitt.

1-2BTF

Betongbarriärerna i 1-2BTF uppfördes med samma cementmaterial som 1BMA och kommer således att följa en liknande kemisk, mineralogisk och mekanisk utveckling som hos betongbarriärerna i 1BMA under tiden mellan 1000 och 10 000 år. Kemiska betingelser, så som pH, jonstyrka och reducerande förhållande, kan för BTF-förvarsdelarna förväntas vara likvärdiga med 1-2BMA under ovan nämnda tidsperiod.

I beräkningsfallet för säkerhetsanalysens huvudscenario antar SKB att betongbarriärerna i 1-2BTF uppnår ett svårt degraderat tillstånd (med en hydraulisk konduktivitet på $1 \cdot 10^{-5}$ m/s) först vid ett tusen år efter förslutning av förvaret. Ett fullständigt degraderat tillstånd (med en hydraulisk konduktivitet på $1 \cdot 10^{-3}$ m/s) erhålls vid 10 000 år efter förvarets förslutning. Antagandena kan jämföras med de för betongbarriärerna i 1-2BMA och Silo; det svårt degraderade tillståndet för betongbarriären uppnås vid 20 000 år efter förslutning för 1-2BMA och vid 1000 år för Silo, det fullständigt degraderade tillståndet uppnås vid 54 000 år efter förslutning i både 1-2BMA och Silo (SKB TR-14-09, tabell 4-1). Detta innebär att 1-2BTF-betongbarriärernas förmåga att begränsa vattenflöde antas vara betydligt lägre än den hos betongbarriärerna i 1-2BMA och Silo.

Även funktionen att fördröja radionuklidtransport genom sorption för betongbarriärerna i 1-2BTF antas vara lägre än den för betongbarriärer i 1-2BMA och Silo. I 1-2BTF antas (SKB TR-14-09, tabell 4-4) följande faser med kemiska omvandlingar:

- det kemiska degraderingstillståndet I (upplösning av natrium- och kaliumhydroxid, pH > 12,5) mellan 2000 och 4000 år efter förvarets förslutning,
- det kemiska degraderingstillståndet II (upplösning av portlandit, pH ≈ 12,5) mellan 4000 och 22 000 år,

- det kemiska degraderingstillståndet IIIa (inkongruent upplösning av kalciumsilikathydraterna CSH och Ca-aluminater är närvarande, $\text{pH} \approx 12$) mellan 22 000 och 58 000 år, och
- det kemiska degraderingstillståndet IIIb (inkongruent upplösning av CSH och Ca-aluminater är frånvarande, $\text{pH} \approx 10,5$) mellan 58 000 och 102 000 år.

Det framgår av samma tabell att även den kemiska degraderingen hos betongbarriärerna i 1-2BTF antas fortskrida snabbare än den hos betongbarriärerna i 1-2BMA och Silo.

1-5BLA

Betongen i samtliga BLA-förvarsdelar förväntas degradera genom liknande processer som betongbarriärerna i andra bergsalar. Processen är dock mycket snabbare på grund av de små mängderna cementfaser. SKB tillskriver inte betongbarriärerna i BLA-förvarsdelen någon säkerhetsfunktion.

1BRT

För tiden mellan 1000 år och 10 000 år använder SKB en hydraulisk konduktivitet på 1×10^{-5} m/s (tabell 4-1 och 4-6, SKB TR-14-09), en effektiv diffusivitet på 2×10^{-11} m²/s (tabell 4-2, SKB TR-14-09) och en porositet på 0,2 (SKB TR-14-09, tabell 4-3) för huvudscenariot med global uppvärmning samt för beräkningsfallet gällande tidpunkten för utsläppen. För samma tidsperiod antar SKB sämre egenskaper för betongkonstruktionen i 1BRT för scenariot med accelererad betongdegradering, vilka är på 1×10^{-3} m/s (SKB TR-14-09, tabell 4-7), 1×10^{-10} m²/s (tabell 4-8, SKB TR-14-09) och 0,5 (SKB TR-14-09, tabell 4-9) för hydraulisk konduktivitet, effektiv diffusivitet respektive porositet. Det bör beaktas att SKB inte tillgodoräknar sig säkerhetsfunktionen med lågt grundvattenflöde genom avfallet i förvarsdelen 1BRT (SKB dokID 1604998).

SSM:s bedömning

Beskrivningen av betongens kemiska utveckling och degradering som utgår från modelleringen av 2BMA (SKB R-13-40, kapitel 7.4), som enligt SKB är representativ även för 1BMA, bedöms vara vetenskapligt välgrundad och trovärdig. SSM konstaterar dock att det finns inneboende osäkerheter i modellen som bottenar i, framför allt, val av termodynamisk databas. Dessa osäkerheter påverkar i första hand till förutsägelserna kring mineralsammansättningens utveckling över tid. SSM bedömer att den redovisade utvecklingen ger en kvalitativ indikation på en rimligt förväntad utveckling av den kemiska sammansättningen av cementmineralerna i, framför allt, 1-2BMA. Denna bedömning vilar främst på det utförliga modelleringsarbete som SKB utfört för 1BMA i (SKB R-13-40) där påverkan på utvecklingen av att tillämpa olika termodynamiska databaser utförligt har redovisats. SSM anser vidare att denna representation i viss mån kan överföras till betongväggen Silo men detta dock måste göras med försiktighet (se ytterligare kommentarer under delavsnittet om Silo nedan). Avseende påverkan av sprickförekomst på betongens kemiska degradering visar SKB:s modellering att mindre sprickor har en liten påverkan på degraderingshastigheten. Endast större sprickor kan medföra en betydande påverkan (SKB R-13-40, avsnitt 9.3). SSM bedömer att mindre variationer i betongens flödesbarriärfunktion inte påverkar den kemiska degraderingshastigheten på ett betydande sätt. SSM delar också SKB:s bedömning att sprickor med stor sprickvidd är lättare att identifiera och åtgärda innan förslutning.

Som även diskuterats i Del III, avsnitt 5.3 i denna granskningsrapport anser SSM att diffusiviteten för betongbarriären efter vattenmättnad är okänslig för kemiska och mekaniska degraderingsprocesser. De värden på diffusiviteter som ansatts för denna tidsperiod i säkerhetsanalysen (5×10^{-12} m²/s för 1-2BMA samt $1-5 \times 10^{-11}$ för Silo) bedöms således vara konservativa.

Det är värt att påpeka att SKB:s modeller för betongdegradering har baserats på att det finns ett invändigt lager av kringgjutning med tjockleken 10 cm på väggarna och locket (men inte på bottenplattan), vilket medför att degraderingsprocesserna fördröjs. SKB har i en komplettering till ansökan indikerat att kringgjutning kan komma att utebli i förvarsdelarna 1-2BMA (SKB dokID 1577237). Hur SKB har beaktat kringgjutningen i sin radionuklidtransportmodellering av närzonen kommenteras mer utförligt i kapitlet om SKB:s konsekvensanalys och radionuklidtransportberäkningar (Del III, avsnitt 10.3).

Vidare har SSM granskat underlaget i SKB TR-14-09 bilaga D som redovisar hur betongdegradering har beaktats i radionuklidtransportberäkningarna. Här visas att de volymflöden som SKB har beräknat i sina hydrogeologiska modeller uppfyller SKB:s uppsatta kriterium att volymflödet genom betongbarriären ska vara så lågt att sorptionen på sprickväggarna är tillräcklig stor för att motsvara sorptionen i de opåverkade partierna i betongkonstruktionen. I beräkningen beaktas de av grundvattenflödet vätta sprickytorna (FWS) hos de genomgående sprickorna i betongkonstruktionen. Som framgår av SKB:s redovisning beror fördelningen av sorberade radionuklider mellan de opåverkade partierna i betongkonstruktionen och sprickytorna i första hand på betongtjockleken. SSM instämmer med SKB att användning av den så kallade standardmodellen kan anses berättigad i konsekvensanalys- och radionuklidtransportberäkningarna (SKB TR-14-09) mot bakgrund av de grundvattenflöden genom betongkonstruktionen som uppges (SKB TR-13-08).

1BMA

SSM konstaterar att det finns vissa motsägelser i SKB:s redovisning och underlagsrapporter avseende den antagna hastigheten med vilken portlanditutarminingen av BMA-konstruktionerna sker. I SKB dokID 1577237 antas att konstruktionen i 1BMA och 2BMA degraderar i samma takt, och i detta fall åsyftas portlanditutarminingsdegraderande inverkan på betongen. SSM noterar att Babaahmadi (2015) och andra källor redovisar att betonghållfastheten reduceras med upp till ca 70 % för en helt portlanditutaromad betong. Urlakning av CSH-geler påverkar däremot obetydligt betonghållfastheten. Därför är tiden för portlanditurlakning i betongkonstruktionen central för resonemang som avser betongens mekaniska degradering. SKB generaliserar resultat från analys av degradering i 2BMA till att även gälla en reparerad konstruktion i 1BMA. Emellertid visar SKB R-13-40 att portlanditutarmining vid mittpunkten för ytterväggen sker i 1BMA efter 3000 år (3300 år för den reparerade konstruktionen), vilket är betydligt tidigare än i 2BMA där portlanditutarmining sker först efter ca 18 000 år efter förslutning. Antagandena bakom reparationsberäkningsfallen i (SKB R-13-40) bedöms dock vara på den konservativa sidan. Baserat på resultat från analys av 2BMA räknar SKB fram degraderingsfrontens hastighet för portlanditutarmining till 1 cm för varje 1000 år. För att ta hänsyn till att även betongen i den del av konstruktionen som inte helt utarmats på portlandit har en delvis nedsatt hållfasthet använder SKB sig av en hastighet för degraderingsfronten efter vilken ingen hållfasthet tillgodoräknas på 1,5 cm varje 1000 år. Resten av konstruktionen antas förbli opåverkad.

Som nämnts ovan visar SKB:s egna beräkningar (SKB R-13-40, kapitel 7) att portlanditutarminingen sker snabbare i 1BMA än i 2BMA, oavsett om reparationsåtgärder beaktas eller ej (SKB R-13-40, avsnitt 7.3.1). SSM anser att SKB bör ta hänsyn till denna skillnad i sin analys av u betonghållfastheten för 1BMA. Enligt Babaahmadi (2015) bör betonghållfastheten sjunka med 70 % efter portlanditutarmining och den blir i stort sett oförändrat en lång tid efter det. Antagandet att betongen tappat hela sin hållfasthet efter fullständig portlanditutarmining får därmed betraktas som konservativt.

Följande resonemang anser SSM kunna föras givet det underlag som SKB redovisar: portlanditutarminning beräknas nå mitten av betongkonstruktionen i 1BMA efter ca 3000 år efter förslutning och degraderingsfronten bör således ha penetrerat hela konstruktionen efter ca 6000 år, givet samma utarmningshastighet, vilket SSM dock bedömer vara osannolikt. Vid den tidpunkten skulle man, utifrån resultaten i (Babaahmadi, 2015), kunna anta att betonghållfastheten har minskat med 70 % i hela konstruktionen i 1BMA (för den reparerade konstruktionen skulle detta dröja ytterligare ca 1000 år). En minskning av betonghållfastheten med 50 % skulle därför uppskattningsvis kunna ske efter 4000 år efter förslutning, givet, som nämnts ovan, att utarmningshastigheten konservativt antas vara konstant för propagering av portlanditutarminning genom hela konstruktionen.

Betongkonstruktionen i den icke-reparerade 1BMA är dimensionerad för trycklast från en vattenpelare på 14,8 meter, för att motstå vikten av det deponerade avfallet, lasten från återfyllnaden samt vikten av eventuella bergblockras. Vattenpelaren kommer inte att belasta betongkonstruktionen om reparationen inte genomförs. Återfyllnaden med makadam på 6 m ovanför kassunloket och jordtrycket från återfyllnaden i spalten på ca 2 m mellan yttre betongväggen och bergväggen kan uppskattas ge ett horisontellt tryck på mindre än hälften av trycket från vattenpelaren som konstruktionen är dimensionerad för (dvs. 14,8 mvp). I denna uppskattning har man också tagit hänsyn till den faktiska vattenpelare på 85 mvp som dras av de totala återfyllnadlasterna för att räkna ut de effektiva spänningarna. Därför bör man kunna anta att betongkonstruktionen i 1BMA utan reparation kan motstå alla laster fram till minst 4000 år efter förslutning.

I regel genomförs dimensioneringen med partialkoefficienter kopplade till osäkerheter i materialegenskaper för konstruktionsmaterialet (se Boverkets konstruktionsregler, EKS 10, 2016) och detta skulle kunna ge ytterligare marginal och förlänga tiden då hållfastheten fortfarande överskrider lasterna i betongkonstruktionen. Mer noggranna beräkningar än de som nu finns tillgängliga skulle fordras för att visa att en minskad hållfasthet med 70 % i betongen fortfarande kan ge stabila förhållanden och en bibehållen strukturell integritet fram till 20 000 år, vilket SKB antar i huvudscenariot i SR-PSU (SKB, 2015, avsnitt 7.4.6, samt i reviderat resultat i SKB dokID 1585173). Avseende bottenplattan antas här att det enda lasten utgörs av vikten av den deponerade avfallet som överförs direkt på den pågjutna makadamen i grundläggningen. En vattenpelare på 85 mvp kommer att verka efter att full vattenmättnad har uppnåtts, vilken ska dras av för att få fram de effektiva spänningarna på konstruktionen. Därför bör även bottenplattan kunna motstå lasterna, trots effekterna av portlanditutarminning, lång tid efter förslutning.

Ett viktigt bidrag till hållfastheten hos betongbarriärkonstruktionen kommer från armering med kolstål. Korrosion av armeringen i stor omfattning leder så småningom till att armeringens bärförmåga förloras. Den omgivande miljön bidrar dock till att upprätthålla alkaliska förhållanden, vilket begränsar förutsättningarna för korrosion även om den kommer fortgå med förhållandevis låg hastighet i den förväntade utvecklingen i slutförvarsmiljön. Allt eftersom pH sjunker som följd av att portlandit utarmas ökar risken för att korrosionen skulle kunna ske i större omfattning än vad som ansätts i säkerhetsanalysen. För anoxisk korrosion av kolstål i alkalisk miljö ansätter SKB ett värde på 0,05 $\mu\text{m}/\text{år}$ (SKB TR-14-10, tabell 5-3), vilket SSM bedömer är en realistisk korrosionshastighet för armeringsstålet i den förväntade slutförvarsmiljön. Det finns dock studier som pekar på högre hastigheter, ca 0,4 $\mu\text{m}/\text{år}$ för anoxisk korrosion av rostfritt stål under alkaliska förhållanden, för liknande material (Sharland och Newton, 1989). Om man antar en mycket konservativ korrosionshastighet på 1 $\mu\text{m}/\text{år}$ skulle det sannolikt medföra att armeringen tappar en stor del av sin bärförmåga under en period på ca 20 000 år.

Portlanditutarmining för den icke reparerade konstruktionen baserat på en konstant propageringshastighet skulle som tidigast kunna inträffa ca 6000 år efter förslutning. Ett sådant förlopp skulle kunna medföra att de alkaliska förhållandena som omger armeringen successivt reduceras efter det, vilket får till följd att armeringskorrosionen sker med en större omfattning än vad som SKB har beaktat i säkerhetsanalysens huvudscenario. Det bör dock noteras i sammanhanget att tidpunkten för den årliga effektiva maximala dosen för hela slutförvaret i huvudscenariot (SKB dokID 1585173) är vid 6500 år (e.Kr), och effekterna av detta resonemang skulle uppskattningsvis få konsekvenser vid en tidpunkt efter de första 10 000 åren efter förslutning.

SKB har i SR-PSU även tidigare lagt faser med ”väsentlig” degradering av betongkonstruktionerna i 1-2BMA i sitt scenario med ”accelererad betongdegradering” från 20 000 år, vilket ansätts i huvudscenariot, till 3000 år efter förslutning (SKB, 2015, avsnitt 7.6.3, samt revidering i SKB dokID 1585173). Det är värt att notera att scenariot med ”accelererad betongdegradering” avser tidig degradering av samtliga barriärkonstruktioner av betong i SFR. SSM bedömer SKB:s val av scenarier i kapitel 9 och konsekvensanalysen i kapitel 10.

SSM bedömer att SKB i tillräckligt utsträckning har redovisat analyser och åtgärder som visar att 1BMA kan uppnå önskvärd tålighet mot de förhållanden, händelser och processer som förväntas ske i slutförvarsmiljön. Emellertid bör SKB redovisa mera detaljerade analyser vid relevanta tidpunkter över betongkonstruktionernas statiska beteende till följd av betongdegradering, samt beakta de resonemang SSM fört i sin diskussion ovan. SKB bör i noggrannare mån analysera vilka lastsituationer betongkonstruktionen i 1BMA kan förväntas motstå, oavsett vilka reparationsåtgärder man inom ramen för driften väljer att gå vidare med. Detta dels för att utöka konstruktionens beständighet mot portlanditutarmining, dels för att noggrannare kunna uppskatta de osäkerheter som påverkar slutsatserna om tålighet lång tid efter förslutning.

Den hydrauliska konduktiviteten i betongkonstruktionen i 1BMA är huvudsakligen kopplad till förekomsten av genomgående sprickor. Med hänsyn till att betongkonstruktionen förväntas kunna motstå framtida laster efter förslutning utan att sprickbildningen utvecklas väsentligt, till att en viss igensättning av sprickor kommer förekomma, samt till att en viss ökning av porositeten under betongdegraderingsprocesserna sker, bedömer SSM att de värden som SKB ansätter för den hydrauliska konduktiviteten för betongen i 1BMA i scenarioanalysen är rimliga.

2BMA

Den oarmerade betongkonstruktionen i 2BMA är dimensionerad för en utvändigt vattenpelare på 150 mvp. Baserat på redovisningen i SKB:s analys (SKB dokID 1577237) bedömer att det efter utjämnning av vattentrycket bör finnas tillräckligt mycket överskottsmaterial i dessa kassunkonstruktioner med dess innerväggar för att motstå lasterna som erhålls från det deponerade avfallet, återfyllnaden och eventuella bergblockkras. Den förväntade kemiska utvecklingen av betongen i 2BMA, som redovisas i (SKB R-13-40, avsnitt 7.4) visar dessutom på att utarmningen av portlandit tar betydligt längre tid i 2BMA, upp till ca 18 000 år, vilket beror på de tjockare oarmerade konstruktionerna i 2BMA jämfört med 1BMA och det lägre grundvattenflödet vid förvarsdjupet för den planerade utbyggnaden av SFR jämfört med befintligt SFR. SSM anser att detta resultat är förväntat givet dessa parametrar och bedömer vidare att redovisningen (SKB dokID 1577237) är ändamålsenlig avseende barriärkonstruktionens tålighet givet den detaljeringnivå SSM förväntar sig i detta skede av processen. SSM anser att

redovisningen av den kemiska utvecklingen av betongen i 2BMA över hela analysperioden, som beskriven i (SKB, 2015, figur 6-27, SKB R-13-40, avsnitt 7.4), är väl underbyggd och grundar sig på vedertagna vetenskapliga antaganden.

Utvecklingen av den hydrauliska konduktiviteten i betongkonstruktionen i 2BMA är huvudsakligen kopplad till porositetsutvecklingen för betongkonstruktionen. Betongkonstruktionen förväntas kunna motstå framtida laster efter förslutning utan att sprickbildningen väsentligt utvecklas samtidigt som det sker en viss ökning av porositeten under betongdegraderingsprocesserna. SSM bedömer att de värden för den hydrauliska konduktiviteten som SKB använder i sina scenarioanalyser ($1 \cdot 10^{-7}$ m/s) kan spegla förhållandena i 2BMA en relativt lång tid efter förslutning. Denna tidsperiod kopplar till tiden för utarmning av portlandit i 2BMA som uppskattas, baserat på SKB:s analyser i SKB R-13-40, till mellan 15 000 och 18 000 år efter förslutning.

Porositetsutveckling i betongbarriärkonstruktionen i 2BMA beror i huvudsak på urlakningsprocessen av portlandit. I samband med att urlakningsprocessen upphör, mellan 15 000 och 18 000 år efter förslutning, skulle således porositeten kunna bli påtagligt förhöjd (17,5 %). Detta skulle i sådana fall dock ske så pass långt fram i tiden att påverkan av porositet på den hydrauliska konduktiviteten överskuggas av andra osäkerheter såsom utvecklingen av den mekaniska integriteten hos konstruktionen. SKB har tagit hänsyn till detta genom att använda ett värde på $1 \cdot 10^{-5}$ m/s för tiden efter 20 000 år efter förslutning. SSM bedömer att detta är ett rimligt antagande för porositeten för tillämpning i konsekvensanalys- och radionuklidtransportberäkningarna.

I det mindre sannolika scenariot med ”accelererad betongdegradering” karaktäriserar SKB betongen i barriärkonstruktionen i 2BMA med en hydraulisk konduktivitet på $1 \cdot 10^{-5}$ m/s som ska gälla mellan 1 000 och 20 000 år efter förslutning. Sprickförekomst i betongen modelleras dock explicit i radionuklidtransportberäkningarna (SKB TR-14-09 kap 4.2.3 samt revidering i SKB dokID 1585173). SSM bedömer att SKB:s värde för hydraulisk konduktivitet på $1 \cdot 10^{-5}$ m/s är mycket konservativt. Denna bedömning har baserats på att SKB som planerat utvecklar designen utifrån den referensutformning som redovisas i detta steg för att uppnå en erforderligt massiv konstruktion, att man utvecklar kvalitetskontroller och underhållsplaner, samt att man skyddar barriären under driftskedet. SKB:s analyser har visat att förekomsten av genomgående sprickor i ett tidigt stadium i 2BMA ska kunna begränsas genom att gjuta betongen i en enda gjutetapp.

Vidare har SKB valt tjockare, om än oarmerade konstruktioner, som ska kunna emotstå lasterna från konstruktionsstyrande fall baserade på scenarioanalysen SR-PSU. Detta förutsätts gälla även vid väsentligt reducerade hållfasthetsegenskaper på grund av kemisk betongdegradering. Dessa insatser har inte gjorts för konstruktionen i 1BMA. Dessutom är grundvattenflödet på 2BMA:s djup mindre än vid 1BMA vilket enligt SSM:s bedömning bör leda till proportionerligt långsammare kemiska degraderingsprocesser. SSM bedömer därför att det är konservativt att inte differentiera de antagna värdena på hydraulisk konduktivitet för tiden mellan 1000 och 20 000 år för de två förvarsdelarna 1-2BMA.

Silo

På en övergripande nivå delar SSM SKB:s uppfattning att degraderingshastigheten för betongbarriären i Silo sker långsammare än för betongkonstruktionerna som utsätts för advektivt flöde av omkringliggande grundvatten. Cementmineralernas utveckling bedöms kunna representeras av (SKB R-13-40).

SSM anser att det finns osäkerheter kopplade till den betongens utveckling i Silo, vilket i huvudsak kan härledas till osäkerheterna avseende initialtillståndet på dess betongbarriär,

där status på sprickförekomst och omfattning är oklar. SKB har dock genomgående i säkerhetsanalysen tillskrivit Silo materialegenskaper som motsvarar en väldigt degraderad betong, vilket inte direkt speglar den utveckling som redovisas i (SKB R-05-80) och (SKB R-07-51), där betongväggen i Silo endast delvis har degraderats och bedöms ha goda sorptionsegenskaper genom hela analysperioden. Genom att tidigt i analysperioden ansätta hydrauliska egenskaper som motsvarar degraderad betong har SKB på ett rimligt sätt omhändertagit osäkerheterna kopplade till sprickförekomsten i Silo vid förslutning. Med beaktande av att degraderad betong endast leder till en ökning av tunnelflödes hastigheten med 16 % får detta bedömas som ett konservativt tillvägagångssätt. SSM anser dock att de val av parametrar för materialegenskaper hos Silos betongbarriär som SKB tillämpar i säkerhetsanalysen tydligare borde kopplas till den processbeskrivning av utvecklingen för Silo som man lutar sig mot. Här finns en diskrepans som skulle behöva förklaras tydligare, även om SSM bedömer att själva hanteringen i konsekvensanalysen är godtagbar.

SSM ger en utförligare bedömning av SKB:s redan utförda modellering av cement/bentonit-systemet i Del III, avsnitt 6.4 i denna granskningsrapport.

1-2BTF

SSM bedömer att SKB:s redovisning av utvecklingen av betongbarriärerna i 1-2BTF under tidsperioden 1000 till 100 000 år efter förvarets förslutning är ändamålsenlig. SSM anser att SKB:s antaganden i säkerhetsanalysen att betongbarriärerna i BTF har något lägre skyddsförmåga både för att begränsa vattenflöde och för att fördröja radionuklidtransport genom sorption är rimliga. Degraderingsprocessen för betongbarriärerna i BTF förväntas gå snabbare än hos de i 1-2BMA och Silo, vilket SSM bedömer är rimligt.

1-5BLA

SSM bedömer att SKB:s redovisning av utvecklingen av betongbarriärerna i 1-5BLA under tidsperioden 1000 till 100 000 år efter förvarets förslutning är ändamålsenlig. SSM anser att SKB:s antagande i säkerhetsanalysen att betongbarriärerna i samtliga BLA-bergsalar inte har någon skyddsförmåga är konservativt.

1BRT

För tiden efter 1000 år bedömer SSM att de antagna materialparametrarna hos betongkonstruktionen (hydraulisk konduktivitet, effektiv diffusivitet samt porositet) för huvudscenariot med global uppvärmning, för scenariot för beräkningsfallet gällande tidpunkten för utsläppen samt för scenariot med accelererad betongdegradering är baserade på rimligt konservativa antaganden. Även antagandet om att den hydrauliska konduktiviteten hos betongkonstruktionen ökar till en nivå som liknar den för återfyllnaden är enligt SSM:s bedömning försiktigt valt och godtagbart.

6.4 Lerbarriärer

I detta avsnitt granskas och bedöms fem processer i lerbarriärer i slutförvaret, dvs. omvandling av montmorillonit och accessoriska mineraler, cementering och dess inverkan på bentonitens mekaniska egenskaper, interaktion mellan betongvägg och bentonitfyllning i silon, kolloidbildning från bentonit, samt bentonit-järn-interaktion. Samtliga processer förväntas börja initieras direkt efter förslutning av slutförvaret. Störst inverkan på förvarets långsiktiga strålsäkerhet sker dock tusentals år efter förslutning pga. processernas långsamma utveckling, vilket gör att processerna granskas i detta avsnitt som avhandlar lerbarriärernas utveckling och degradering efter 1000 år efter förslutning under tempererade klimatförhållanden. Det bör noteras att denna indelning av processer till olika

tidsperioder skiljer sig från SKB:s i SR-PSU (SKB, 2015), se diskussionen i inledningen till Del III, avsnitt 5.4 i denna granskningsrapport.

6.4.1 Omvandling av montmorillonit och accessoriska mineraler

Beskrivning av SKB:s underlag

Komponenterna av bentonit i SFR placeras oftast bredvid betong- eller cementkomponenter. Betongens porvatten är alkaliskt och degradering av betong ger upphov till att bentoniten kommer i kontakt med en stor mängd alkaliskt vatten som även har ett högt innehåll av Ca^{2+} , Na^+ och K^+ jämfört med typiskt grundvatten vid SFR (SKB, 2015, avsnitt 6.3.8). pH-värdet i det från betongen utsläppta vattnet kan vara upp till 13,5 i början när pH fortfarande buffras av kvarvarande alkaliska hydroxider. Därefter buffras pH-värdet på betongens porvatten av upplösning av portlandit (kalciumhydroxid) till cirka 12,5. Efter att portlandit utarmats fullständigt sker icke-kongruent lakning av kalciumsilikathydrater (CSHs) varpå pH-värde på cirka 10 infinner sig i porvattnet (SKB R-13-40, avsnitt 4.1.2).

Olika typer av experimentella försök har utförts inom ramen för EU-forskningsprojektet ECOCLAY II (EU, 2005) för att studera mekanismerna för mineralomvandling i bentonit vilken är i kontakt med hyperalkaliska till alkaliska lösningar. Lösningarna har ofta pH mellan 10 och 14 för att representera lakningslösning från betong eller andra cementbaserade material.

Lakningslösningen från cement kan reagera med olika komponenter i bentonit; reaktion med accessoriska mineraler, reaktion på ytan av montmorillonit samt reaktion med kristallgitter av montmorillonit (EU, 2005, avsnitt 7.7.1.1).

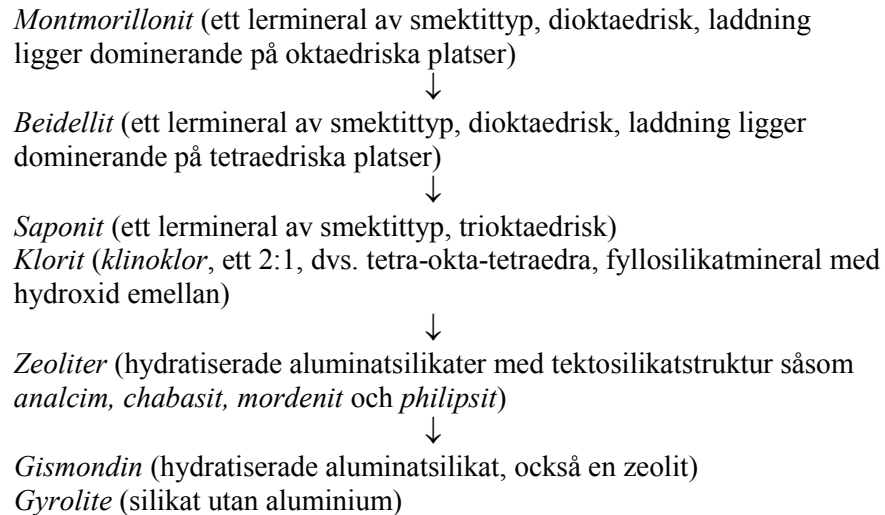
Både i satsvisa experiment med lösta prover av bentonit i alkalisk lösning samt i experiment med kompakterade prover av bentonit, har upplösning av det accessoriska mineralet kristobalit observerats. I satsvisa experiment löses även kvarts upp men i prov med kompakterad bentonit är kvartsupplösning mycket begränsad (EU, 2005, avsnitt 7 och 7.7.4.4).

I satsvisa experiment med löst bentonitmaterial suspenderat i lösningar med ett högt pH-värde på 14 observerades att montmorillonit löstes upp och att analcim (en typ av zeolit) bildades i lösningen med natrium som dominerande katjon. Om kalium var dominerande katjon i lösningen bildades i stället K-phillipsit (också en typ av zeolit). Portlandit eller kalcit bildades när den dominerande katjonen var kalcium. I vissa fall bildades även kalciumsilikathydrater (CSH-geler) och gips (EU, 2005, avsnitt 7.2.3.1).

Däremot har upplösning av montmorillonit och bildning av nya mineraler inte observerats med röntgendiffraktion i experiment med kompakterad bentonit (vattenmättad densitet på 2000 kg/m^3) utförda vid rumstemperatur. Jonbytesförmågan (CEC) på samtliga bentonitprov hade dock ökat efter att ha varit i kontakt med natriumhydroxidlösning. En betydande ökning av jonbytesförmågan hade dock inte skett för de prov som varit i kontakt med mättad kalciumhydroxidlösning (EU, 2005, avsnitt 7.7.4.4). Vid högre temperaturer (upp till 200°C) och i lösning med pH 13,3 (0,25M natrium hydroxid), har viss bildning av analcim observerats (EU, 2005, avsnitt 7.4.2.1, b.3.2.1).

Baserat på olika experimentella resultat och resultat från kopplade reaktiva transportmodelleringar har en möjlig reaktionsväg för mineralomvandling av montmorillonit i

kontakt med lösningar med högt pH tagits fram (SKB, 2015, avsnitt 6.3.8; SKB R-05-80, avsnitt 1.4);



Om en tillräckligt hög koncentration av kalium finns i den alkaliska lösningen från cement, kan illitisering ske och phillipsit-K bildas. Även Friedelsalt kan bildas om klorider finns i hög koncentration i lösningen (SKB R-05-80, avsnitt 1.4). Med hög koncentration av natrium i den alkaliska cementlösningen bildas analcim medan tobermorit bildas i en kalciumrik lösning (SKB TR-15-08, avsnitt 2.4.1).

Bildningen av beidellit anses ske genom att aluminium överförs från det oktaedrisk skiktet till det tetraedrisk skiktet under upplösning av montmorillonit då aluminium frigörs (EU, 2005, avsnitt 10.5.5). När magnesium från antingen jonbyteplatser i montmorillonit eller cementlösningen införlivas på oktaedrisk platser i montmorillonit kan platserna omvandlas från dioktaedrisk till trioktaedrisk typer och saponit bildas.

SKB:s redovisning som kvantifierar den ovan nämnda mineralomvandlingsprocessen har tre utgångspunkter; begränsning av massbalans, begränsning av massöverföring samt begränsning av kemisk reaktionskinetik (SKB TR-15-08, avsnitt 2.4).

Genom att balansera utsläppet av OH⁻-anjoner från cement i betong samt konsumering av samma anjoner av bentonit genom mineralomvandling, visar SKB att OH⁻-anjonerna från degradering av en enhetsvolym av typisk betong i Silo kan orsaka mineralomvandling av 0,5 till 1 enhetsvolym av bentonit i Silo. Om det antas att endast porvatten från betong med mycket högt pH (högre än 13,5) kan orsaka mineralomvandling av bentonit, blir volymförhållandet mellan betong och bentonit 150:1, dvs. omvandling av en enhetsvolym av bentonit kräver degradering av 150 enhetsvolym av betong (SKB TR-15-08, avsnitt 2.4.1).

Massöverföring genom bentoniten antas ske med diffusion i de modelleringar för mineralomvandling av bentonit som SKB utfört. Värdena för diffusivitet varierar mellan $5 \cdot 10^{-11}$ och $1 \cdot 10^{-10}$ m²/s (SKB TR-15-08, avsnitt 3.3.1; SKB R-05-80, tabeller 4-1 och 4-2; SKB R-07-51, ekvation 2-23). Det bör noteras att diffusiviteten i modelleringarna avser den s.k. "apparent"-diffusiviteten och hänsyn har tagits till en fördröjningseffekt på grund av sorption.

SKB har redovisat olika modeller för reaktionskinetik av upplösning av montmorillonit som publiceras i litteraturen (SKB TR-15-08, tabell 2-4; Huertas m.fl., 2001; Fujwara m.fl., 2003; Sato m.fl., 2003; Rozalén m.fl., 2008). I samtliga modeller antas att reaktionshastigheter är beroende på koncentrationer av H^+ eller OH^- , dvs. beroende på pH. Alla modeller ger reaktionshastigheter varierande inom en tiopotens förutom den från Sata m.fl. (2003), som ger hastigheter ca. två tiopotenser högre än andra modeller inom ett pH-intervall mellan 6 och 14 (SKB TR-15-08, figur 2-12).

SKB redogör för resultat av mineralomvandling av montmorillonit från olika modelleringar med alla eller delar av de tre ovan nämnda tillvägagångssätten för kvantifiering av processen (SKB R-05-80; SKB R-07-51; SKB TR-15-08). I samtliga modeller består systemet av seriekopplade tekniska barriärer av sprutbetong, bentonitfyllning, betongvägg, betonggjutningsbruk, samt avfallet. Samtliga modelleringar utförs med endimensionell masstransport kopplad med kemiska reaktioner. Förutom variationen av diffusivitet i de olika modellerna, skiljer sig även randvillkoren (grundvattnets sammansättning), begynnelsevillkoren (ursprungliga mineralsammansättningar i olika barriärer) samt urval av sekundära mineraler som tillåts falla ut. I vissa modelleringar har betongbarriärer antagits vara uppsluckna och dessa uppvisar en betydligt högre massöverföringshastighet (SKB R-07-51, avsnitt 2.2; SKB TR-15-08, avsnitt 3.5.3).

I SKB TR-15-08 (avsnitt 3.2.3) modelleras upplösning av montmorillonit med kemisk kinetik föreslagen av Rozalén m.fl. (2008). I två andra modelleringar antas att upplösning av kvarts, albit, K-fältspat och biotit i betongballasten kontrolleras av kemisk kinetik (SKB R-07-51, avsnitt 2.1; SKB R-05-80, avsnitt 2.3.8). Övriga reaktioner i samtliga modelleringar representeras med kemisk jämvikt.

Trots att de tre modelleringarna skiljer sig i begynnelse- och randvillkor, i reaktioner som hanteras med kemisk kinetik respektive kemisk jämvikt, är modelleringsresultaten i stor utsträckning jämförbara med varandra. Alla resultat visar att mineralomvandling av montmorillonit under de första 1000 åren endast sker i gränssnittet mellan bentoniten och sprutbetongen, samt mellan bentoniten och betongväggen. Penetreringsdjupet för omvandlingen varierar dock från ca 10 till 30 cm, där det minsta penetreringsdjupet erhålls i modelleringen i vilken upplösningen av montmorillonit antas kontrolleras av kemisk kinetik istället för kemisk jämvikt.

Det är först 20 000 år efter förslutning av förvaret som mineralomvandling av montmorillonit börjar bli förhållandevis omfattande (SKB TR-14-04, avsnitt 7.4.10). De nya mineralerna som bildas är främst olika typer av zeoliter. Det bör noteras att även efter 100 000 år med en plym av högt pH från den angränsande betongen finns en stor del av montmorillonit fortfarande kvar i systemet (SKB TR-05-80; SKB TR-07-51, SKB TR-15-08). Modelleringsresultaten i SKB TR-05-80 indikerar en nästan fullständig mineralomvandling av montmorillonit på lång sikt, medan resultaten från SKB-07-51 och Fernández m. fl. (2009) visar på en betydligt mindre effekt. De dominerande kemiska reaktionerna är upplösning av montmorillonit, utfällning av Na- och K-phillipsi samt upplösning och omfördelning av kvarts. I modelleringen som presenteras i SKB R-05-80 har också en relativt stor mängd av chabazit (en typ av zeolit) fallit ut.

De sekundära mineralerna från omvandlingen av montmorillonit (främst olika typer av zeoliter) har oftast en hög molvolym jämfört med den ursprungliga montmorilloniten, vilket innebär att efter degradering genom mineralomvandling kan bentonitbarriärer i allmänhet ha en lägre porositet. Denna trend av förändring av porositet förväntas inte leda till högre diffusionskoefficienter än för opåverkade bentonitbarriärer. Värdet för sorption som används i säkerhetsanalysen baserar sig på förekomsten av en tillräckligt hög andel

av bentonit under alla tidsperioder av analysen. SKB anser att åtminstone lika goda sorptionsegenskaper finns hos de zeoliter som bildats genom mineralomvandling som hos ursprunglig montmorillonit, eftersom zeoliter i allmänhet har hög sorption av katjoner (SKB, 2015, avsnitt 6.3.8 och 6.4.8). Mineralomvandlingsinverkan på bentonitens svälltryck diskuteras i Del III, avsnitt 6.4.2 i denna granskningsrapport.

SSM:s bedömning

SSM bedömer att SKB:s redovisning av mineralomvandling av montmorillonit orsakad av lakningsvatten med mycket höga pH-värden från cementbaserade material är ändamålsenlig och modelleringsresultaten i redovisningen är trovärdiga.

SSM anser att SKB genom deltagande i olika internationella eller EU-forskningsprojekt, främst EU-forskningsprojektet ECOCLAY, samt genom pådrivande av egen forskning, har skaffat sig en fördjupad förståelse för processen och goda erfarenheter att numeriskt modellera processerna. Den reaktionsväg från montmorillonit till zeoliter som SKB baserar sina modelleringar på har i forskarvärlden antagits som den vedertagna utvecklingen av montmorillonitomvandling (Gaucher och Banc, 2006 samt referenser därinne).

SSM instämmer med SKB att omvandlingsprocessen av montmorillonit är en relativt långsam process i den förväntade slutförvarsmiljön. SKB:s känslighetsanalyser i modelleringarna visar att hastigheten för mineralomvandlingen av montmorillonit ökar ifall reaktionen sker med kemisk jämvikt istället för genom kinetikkontroll, och ifall omgivande cementbaserade material innehar sprickor. Dessa slutsatser är vetenskapligt välkända och bedöms därför vara rimliga. SSM bedömer att inverkan av dessa två faktorer på montmorillonitomvandling är relativt begränsad i Silo, på grund av den mycket låga massöverföringshastigheten genom bentoniten som begränsar den totala omvandlingshastigheten. SSM anser dock att SKB, i kommande steg av sitt program, utförligare behöver studera faktorernas inverkan på montmorillonitomvandling. Detta då det finns relativt få studier av kemisk kinetik och eftersom uppsprickningsprocessen i armerad betong är en relativt komplicerad process.

SSM bedömer att SKB:s angreppssätt att inte ta hänsyn till bentonitdegradering i huvudscenariot i säkerhetsanalysen (SKB TR-14-09, avsnitt 4.1.1) utan istället hantera inverkan av bl.a. mineralomvandlingen som ett mindre sannolikt scenario (SKB TR-14-09, avsnitt 4.2.4) är rimligt. SKB:s modelleringar har visat att mineralomvandling av montmorillonit är en långsam och mycket begränsad process under de första tusen åren och som endast sker vid gränssnitten mellan sprutbetong/bentoniten och betongväggen/bentoniten. Efter lång tid kan en relativt omfattande omvandling ha ägt rum. De nya mineraler som bildas till följd av mineralomvandlingen brukar emellertid ha högre molvolym och därmed lägre porositet. Det är vedertaget att både den hydrauliska konduktiviteten och diffusionskoefficienten i allmänhet minskar med minskade porositet (t.ex. Motsi m. fl., 2011). Detta innebär att bentonitens skyddsförmåga åtminstone inte förväntas att försämrans i och med en omfattande mineralomvandling av montmorillonit.

Vidare bedömer SSM att sorptionsförmågan hos bentonit inte kommer att försvagas pga. mineralomvandling av montmorillonit eftersom omvandlingsprodukterna brukar vara zeoliter som i allmänhet har stor sorptionsförmåga (van Bekkum et al., 2001). SSM anser dock att SKB behöver genomföra en utförlig och systematisk jämförelse av sorptionsförmåga hos bentonit och hos olika typer zeoliter. En utförligare beskrivning och bedömning av sorption av radionuklider på bentonit återges i Del III, avsnitt 6.9 i denna granskningsrapport.

6.4.2 Cementering och dess inverkan på bentonitens mekaniska egenskaper

Beskrivning av SKB:s underlag

Begreppet cementering används av SKB för att beskriva de processer som kan leda till förändringar i bentonitens mekaniska, reologiska samt svällningsegenskaper (SKB TR-14-04, avsnitt 7.4.14). Cementering orsakas främst av utfällning av icke-svällande mineraler såsom gips/anhydrit, kalcit samt olika silikatmineral i bentonitporerna. Mineralutfällningen ger upphov till förändrade mekaniska egenskaper hos bentoniten. Källan till utfällningen kan vara de lösta komponenterna i grundvattnet eller komma från upplösningssprodukter av montmorillonit och de accessoriska mineralerna i bentoniten (SKB, 2015, avsnitt 6.3.8). Bentonitcementeringsprocessen är därför starkt kopplad till processen för mineralomvandling i bentoniten som diskuteras ovan. Omfattande cementering kan leda till ökad hydraulisk konduktivitet och därmed ökad vattengenomsläpplighet i bentoniten. Det kan även leda till reduktion av bentonitens svällförmåga och minskning av bentonitens plasticitet (SKB, 2015, avsnitt 6.3.8).

Utöver de processer som SKB redovisar i samband med mineralomvandling av bentonit som granskas och bedöms i Del III, avsnitt 7.4.1 i denna granskningsrapport, har en process som förekommer i bentoniten och som benämns ”omvandling av föroreningar” (SKB TR-14-04, avsnitt 7.4.4) särskilt lyfts upp för att belysa processens inverkan på cementering av bentonit. Även ”upplösning/utfällning” (SKB TR-14-04, avsnitt 7.4.6) beaktas av SKB som en särskild process relaterad till cementering.

Processen ”omvandling av föroreningar” handlar främst om upplösning av accessoriska mineraler och utfällning av sekundära mineraler till följd av upplösningen. SKB anser att katjonbyte kan vara dominerande för att direkt kontrollera utfällningen/upplösningen av kalcit, och således också buffringen av pH-värdet i porvattnet i bentoniten (SKB TR-92-37; SKB TR-99-29; SKB TR-00-06; SKB TR-14-04, avsnitt 7.4.4). Dessutom identifierar SKB att jämvikt mellan karbonat och kalcit också kan vara en viktig process för buffring av pH i bentonitens porvatten (SKB TR-04-18).

SKB redogör för resultat av kopplade transport/reaktionsmodelleringar (SKB R-05-80; SKB R-07-51; SKB TR-15-08) för den kemiska utvecklingen av bentoniten i slutförvarsmiljön i SFR (dvs. i kontakt med cementbaserat material som ger upphov till en hög-pH plym i bentoniten). Beträffande cementeringsprocessen visar resultaten att cementeringen mest sannolikt orsakas av mineralomvandlingen av montmorillonit i bentoniten till olika typer av zeoliter. Mängden av utfallen gips, anhydrit och kalcit är obetydligt omfattande på grund av avsaknad av temperaturgradient i förvarsutrymmet och har således mindre betydelse för strålsäkerheten.

SKB redovisar att det uppstår osäkerheter gällande upplösning/utfällning av kiseldioxider och andra silikater under förhållanden med högt pH i porvattnet, dels på grund av att utvecklingsprocessen ännu inte är helt förstådd, dels på grund av att det fortfarande är oklart huruvida den förekommande cementeringen kommer att påverka systemets vidare utveckling. SKB hanterar osäkerheterna genom att dels fördjupa den kvantitativa förståelsen av de underliggande mekanismerna, och dels jämföra inverkan på strålsäkerhet med olika förutsättningar från olika modeller. Dessutom uppstår frågan om mekanismen för pH-buffringen i bentonitens porvatten. Det är osäkert om en tillräcklig mängd kalcit finns i bentonitmaterialet för att bidra med tillräckligt mycket karbonat för pH-kontrollen. Olika modeller för bentonit-vatten-interaktionen ger olika buffrade pH-värden som kan variera med upp till två pH-enheter. SKB anser att pH-buffringsfrågan inte kommer att ha

stor betydelse för strålsäkerhet eftersom pH-värdet i slutförvarsmiljön är högre än vad buffringsfrågan brukar handla om (SKB TR-14-04, avsnitt 7.4.4).

Konsekvenserna för cementering har studerats i stora EU-forskningsprojekt. Minskning av svälltryck i bentonitprov (kompakterad bentonit med en vattenmättad densitet på 2000 kg/m³) i kontakt med både natriumklorid- och natriumhydroxidlösning har studerats. Man fann att för bentoniten som befann sig i natriumkloridlösning så sjönk svälltrycket tills ett nytt stabilt tryck uppnåts, medan för provet som var i kontakt med natriumhydroxidlösning minskade svälltrycket kontinuerligt. Dessutom observerades att endast för bentonitprov som var i kontakt med 0,3M natriumhydroxidlösning (med ett pH-värde på 13,3) skedde ett svälltryckfall men inte för prov i kontakt med 0,1M natriumhydroxidlösning (pH = 12,9) eller med mättad kalciumhydroxidlösning (pH = 12,4) (EU, 2005, avsnitt 7.7.4.2). Minskning av svälltryck antas orsakas av upplösning av kristobalit och den efterföljande minskningen av provens densitet (EU, 2005, avsnitt 7.7.5).

SKB har med hjälp av naturliga analogier samt fältförsök studerat cementeringens påverkan på bentonitens mekaniska egenskaper. Den miocena bentoniten från Basachi på Sardinien i Italien har utsatts för mycket hög temperatur (flera hundra °C) från magman ovan under en kort period (dagar till månader) och blivit cementerad. Den korta perioden med hög temperatur har dock gjort att cementeringen inte varit särskilt omfattande. Test av detta bentonitmaterial visar att cementeringen har lett till ett något lägre svälltryck hos bentonit samt att bentoniten blivit mer spröd (SKB TR-88-26, avsnitt 2.1).

Den andra mycket äldre bentoniten (från den geologiska perioden ordovicium) från Hamra på södra Gotland i Sverige, har utsatts för en hög temperaturgradient som uppstått till följd av friktion från kraftiga rörelser i jordskorpan. Bentoniten har även utsatts för ett högt tryck från det flera kilometer tjocka sedimentära berget från de geologiska perioderna devon och silur. Under mer än tio miljoner år har bentoniten utsatts för temperaturer högre än 110°C. Med tillräcklig tillförsel av kalium har bentoniten genomgått illitisering och bildning av klorit. Mineralogiska och andra studier av bentoniten från Hamra visar att den utgörs av 40-50 % smektit, ca. 30-40 % illit eller andra 10-Å-fyllosilikatmineraler än illit. Resten är accessoriska mineraler. Cementering har inte skett och allt kisel och aluminium som frigörs från smektit har tagits upp av illit. De mekaniska och reologiska egenskaperna, så som kryp och skjuvspänning, trots den mycket omfattande illitiseringen, är ungefärligen desamma som hos MX-80-bentoniten (SKB TR-88-26, avsnitt 2.2).

Bentoniten i Kinnekulle, ca. 150 km norr om Göteborg, Sverige, bildades under den geologiska perioden ordovicium och har utsatts för uppvärmning från basaltisk magma under den geologiska perioden perm. Temperaturen som bentoniten som högst har utsatts för har uppgått till knappt 200°C och uppvärmningen har skett under mer än 1000 år. Både illitisering och silicifiering (utfällning av kiseldioxid och vattenhaltiga silikater) har skett. Förändringen av de mekaniska egenskaperna är försumbar hos bentoniten som har utsatts för uppvärmning till 90°C. När temperaturen har uppnått 160°C har skjuvspänningen hos bentoniten blivit fördubblad och töjningen vid brott minskat, dvs. materialet har blivit mer sprött (SKB TR-98-25).

Resultat från projektet LOT (SKB TR-09-29) visade att bentonitprover som utsatts för varma förhållanden i fält uppvisade signifikant minskade töjningar vid brott jämfört med referensmaterialet. Betydelsen av parametrar som till exempel temperatur, densitet, vattenkvot och vattenmättnadsgrad för bentonitprovers sprödhet vid brott har senare systematiskt undersökts med olika typer av bentonitmaterial och liknande beteende har observerats i materialtester från LOT-försöken (SKB TR-10-41). Sprött brott har huvudsakligen observerats på bentonitprover med en densitet högre än 2 060 kg/m³ eller

på prover som utsatts för högre temperaturer än 150°C i laboratoriet. Sprött brott har också noterats på omättade prover med en vattenmättnadsgrad lägre än 90 %. Brott vid reducerad töjning har observerats på prover som utsatts för en temperatur på 150°C, på prover med vattenkvot på 0 % före vattenmättnad, på prover med slutlig vattenmättnadsgrad lägre än 97 % och även på ett prov som utsatts för konsolidering under prepareringen (SKB TR-10-41).

Utöver de experimentella studierna av cementering som redogjorts för ovan redovisar SKB även modelleringsresultat för processen då expanderad bentonitfyllningen i Silo intill en svårt degraderad betongvägg har analyserats. SKB:s mest pessimistiska antagande innebär att bentonitfyllningen i Silo kan sjunka vertikalt, flera meter från toppen så att en tom spalt mellan betongväggen och berget erhålls (SKB TR-14-27, kapitel 5). SKB anser dock att processen bentonitexpansion/inträngning i Silos betongvägg kan bortses från med hänsyn tagen till att inga stora förändringar i siloväggens volym förväntas under hela säkerhetsanalysens analysperiod på 100 000 år eller längre (SKB, 2015, avsnitt 6.4.8)

SSM:s bedömning

Det framgår av SKB:s redovisning att cementering är en långsam process som påbörjas direkt efter förslutning av slutförvaret och pågår hela tiden under de efterföljande 100 000 åren och även längre. För att behålla sammanhanget av redovisningen, granskar och bedömer SSM denna process endast i detta avsnitt, dvs. diskussionerna och bedömningarna i detta avsnitt gäller för cementering hos bentonit under hela perioden för säkerhetsanalysen, inklusive de första 1000 åren.

SSM bedömer att SKB:s redovisning av cementering av bentonit är godtagbar. SKB har redovisat en god förståelse av processens mekanism och inverkan på mekaniska egenskaper hos bentoniten. Det är internationellt väletablerad förståelse att utfällning av vissa mineraler, framför allt kvarts och kristobalit, kan påverka bentonitens expansionsförmåga och styvhet.

SKB:s uppfattning att cementering av bentoniten är en långsam process samt SKB:s slutsats att cementeringen kommer att bli relativt omfattande långt efter förslutningen av slutförvaret anses vara trovärdiga. SKB:s modellering av bentonitmineralomvandling, som bedöms vara rimlig i föregående avsnitt ovan, visar att det knappt sker någon utfällning av kvarts och andra mineraler som bidrar till cementering. Alla modelleringsresultat (SKB R-05-80; SKB R-07-51; SKB TR-15-08) visar att stora mineralomvandlingar endast sker flera tiotals tusen år efter förslutning.

SSM instämmer med SKB att inverkan av bentonitcementering på slutförvarets långsiktiga strålsäkerhet inte är betydelsefull. I slutförvarsutrymmen som innehåller bentonit är det alltid betongen snarare än bentoniten som bär den största delen av den mekaniska belastningen från omgivningen. Den minskade töjningen vid brott hos bentoniten efter cementering är fortfarande mer än en tiopotens högre än den hos betongen (SKB TR-09-29, figurer 8-6 och 8-7). SSM anser därför att det är teoretiskt välgrundat att SKB antar att bentoniten beter sig elastiskt och att betongväggen i Silo utgör den lastbärande komponenten i jordskalvsmodelleringen (SKB TR-13-52).

SSM vill dock påpeka att SKB:s redovisning av processens inverkan på bentonitens mekaniska egenskaper i stor utsträckning baseras på studier av cementering under varma förhållanden. SSM anser att den mest relevanta processen i SFR-förvaret är cementering orsakad av cement-bentonit-interaktion. Bägge processer (cementering under varma förhållanden och cementering på grund av kontakt med alkaliskt porvatten från cement-baserat material eller betong) innefattar mineralomvandling av bentonit och andra

accessoriska mineraler samt utfällning av sekundära mineraler. De mineralomvandlingsprodukter som erhålls skiljer sig dock beroende på process. I den förstnämnda processen (cementering under varma förhållanden) är omvandlingsprodukterna främst illit och andra vattenhaltiga glimmer, medan slutprodukterna från mineralomvandlingen i den sistnämnda processen i första hand utgörs av olika typer av zeoliter. SSM anser att SKB i kommande steg av sitt program behöver utreda olika omvandlingsprodukters bidrag till bentonitens cementering och deras inverkan på bentonitens mekaniska egenskaper.

SSM instämmer med SKB att möjligheten för bentonitfyllningen i Silo att expandera och tränga in i betongväggen är försumbar under hela perioden för säkerhetsanalysen och att konsekvenserna av denna process därför inte behöver beaktas i säkerhetsanalysen. Bedömningen baseras på att SKB:s modelleringar visar att mineralomvandlingen av montmorillonit och andra accessoriska mineraler inte leder till ökad volym av bentonitfyllningen, trots att omvandlingsprodukterna oftast har högre molvolym, tack vare den relativt stora porositeten i den ursprungliga bentoniten (SKB R-05-80; SKB R-07-51; SKB TR-15-08). Dessutom har bentonitfyllningen ett relativt lågt svälltryck initialt, motsvarande 100 till 150 kPa (SKB R-03-30, avsnitt 4.1.1). Svälltrycket minskar sedan till följd av bildningen av icke-svällande mineraler (zeoliter) vid mineralomvandlingen. Svälltrycket hos bentonitfyllningen är därför alltid lägre än draghållfastheten vid brott hos en omfattande degraderad betongvägg. Det har visats att draghållfastheten vid brott fortfarande är 30% av motsvarande för den ursprungliga opåverkade betongväggen (Babaahmadi, 2015, tabell 4-3). Med en initial draghållfasthet på 1,63 MPa (SKB R-13-52, avsnitt 2.4.1) för betongväggen erhålls alltså efter fullständig utarmning av portlandit 30% av den initiala draghållfastheten, dvs. 488 kPa. Detta innebär att även Silos betongvägg även efter fullständig utarmning av portlandit fortfarande kan motverka möjlig expansion av bentonitfyllningen in till betongväggen på grund av svällning av bentoniten. Kemisk degradering fortsätter efter portlanditutarmning men den mekaniska integriteten bibehålls under lång tid medan CSH-gelerna faller ut.

6.4.3 Interaktion mellan betongvägg och bentonitfyllning i Silo

Beskrivning av SKB:s underlag

I Del III, avsnitt 6.4.1 och 6.4.2 ovan beskrevs och bedömdes de processer i bentonit som huvudsakligen orsakas av utveckling av cementbaserat material. Granskningen i de avsnitten fokuserade främst på processerna i själva bentonitmaterial i bentonitfyllningen i Silo. I detta avsnitt granskas och bedöms processer som uppstår som ett resultat av interaktion mellan betongväggen och bentonitfyllningen i Silo. De utvecklings- och degraderingsprocesser som sker i cementbaserat material redovisas inte i detalj då detta har gjorts ingående i andra avsnitt i denna granskningsrapport, se i första hand Del III, avsnitt 5.3 och 6.3 som behandlar betongbarriärernas utveckling. Detta avsnitt fokuserar på interaktionen mellan utvecklingen i betongväggen och i bentonitfyllningen i Silo för att belysa just interaktionens betydelse för Silos långsiktiga strålsäkerhet.

Det bör noteras att SKB beaktar utvecklings- och degraderingsprocesser i både betongväggen och bentonitfyllningen i Silo på ett integrerat sätt i sina numeriska modelleringar (SKB R-05-80 och SKB R-07-51 och SKB TR-15-08). I modelleringarna är avfallet (inklusive avfallsbehållare, ingjutnings- och kringgjutningsmaterial), betongväggen, bentonitfyllningen samt sprutbetongen representerade som seriekopplade kontrollvolymmer. Interaktionen mellan de olika sammankopplade delarna utgörs av massöverföring av de lösta ämnena i systemet, och i vissa modeller även elastoplastisk interaktion. I t.ex. figur 5-67 i SKB R-05-80 visas transport (genom diffusion) av natrium- och kalciumkationer från avfallet och betongväggen till bentonitfyllningen. Figur 5-69 i SKB R-5-80 är ett

annat exempel som belyser transport av sulfat- och kloridjoner från grundvattnet i berget genom bentonitfyllningen till betongväggen i Silo.

I SKB R-05-80 och SKB TR-15-08 hanteras möjliga initiala defekter samt minskat motstånd för massöverföring i betongväggen med en känslighetsanalys genom att anta förhöjd diffusivitet i systemet i vissa beräkningsfall. I SKB R-07-51 hanteras dock initiala defekter och minskning av masstransportsmotstånd genom att direkt representera diffusivitet i betongväggen som funktion av väggens porositet och defektnivå.

Samtliga modeller för utvecklingen av barriärsystemet i Silo visar att betongväggen i Silo degraderas under tider med urlakning av natrium- respektive kaliumhydroxid, portlandit, omvandling av kalciumsilikathydratgeler (C-S-H-geler) med högre Ca/Si-tal till C-S-H-geler med lägre Ca/Si-tal genom urlakning av kalcium, samt bildning av ettringit och Friedelssalt (se t.ex. figur 5-56 i SKB R-05-80). Jämfört med degradering av betongbarriärer i andra bergsalar (t.ex. 1-2BMA) (SKB R-13-40), sker degraderingen av betongväggen i Silo betydligt långsammare och är mer begränsad. I alla beräkningsfall i modellering av utveckling av betongväggen i Silo, finns det fortfarande C-S-H-geler kvar (dock med lägre Ca/Si-tal) i betongen efter 100 000 års utveckling (se t.ex. figurer 5-11, 5-26, 5-41, 5-56, 5-71, 5-86, 5-101 och 5-116 i SKB R-05-80). Dessutom är minskningen av cementvolymen i betongen liten (några få procent). Som jämförelse sker degraderingen av betongkonstruktionen i BMA under 100 000 år i en betydligt större omfattning, med förlust av alla initiala dominerande komponenter, inklusive hela C-S-H-geler, vilket leder till att systemet mot slutet av analysperioden endast innehåller kalcit och brucit. Detta diskuteras mer utförligt i Del III, avsnitt 6.3 i denna granskningsrapport.

SSM:s bedömning

SSM bedömer att SKB:s redovisning av interaktion mellan betongväggen och bentonitfyllningen i Silo, med medföljande degradering av betongbarriären, är vetenskapligt välgrundad och att SKB:s modelleringsresultat för interaktionen mellan barriärerna samt resulterande degradering är trovärdiga.

Underliggande mekanismer för betongdegradering i betongväggen i Silo antas av SKB vara samma som för betongkonstruktionerna i andra förvarsdelar. Dessa mekanismer grundar sig på vedertagen förståelse för långsiktiga degraderingsprocesser för cementbaserat material (se Del III, avsnitt 5.3 och 6.3 om betongbarriärer i denna granskningsrapport). SKB:s antagande att interaktionen mellan betongväggen och bentonitfyllningen i Silo huvudsakligen sker genom massöverföring av lösta ämnen anses av SSM vara i enlighet med grundläggande principer i termodynamik, d.v.s. att degraderingen orsakas av olika obalanserade kemiska potentialer i olika delar av systemet som spontant försöker jämna ut sig genom massöverföring.

SSM anser att SKB:s slutsats att betongväggen i Silo degraderas betydligt långsammare än betongkonstruktionerna i BMA är trovärdig. SSM instämmer med SKB att urlakning av lösbara komponenter från cement i betong med grundvatten är en viktig process för betongdegradering. En annan viktig process är interaktionen mellan kemiska ämnen i grundvatten (sulfat och klorid) och cement i betongen (SKB R-13-40, avsnitt 4.1.2; föreliggande granskningsrapport, Del III, avsnitt 6.3). Till skillnad från betongkonstruktionerna i BMA är betongväggen i Silo på lång sikt skyddad från tillkommande grundvatten från berget av bentonitfyllningen, eftersom bentonitfyllningens masstransportmotstånd inte avsevärt kommer att minska under analysperioden (se granskningen och bedömningen i Del III, avsnitt 6.4.1 och 6.4.2 i denna granskningsrapport). Bentonitfyllningen fungerar som en diffusionsbarriär och begränsar kraftigt urlakningen från betongväggen till grundvattnet samt inåtriktad transport av sulfat och

klorid från grundvattnet i berget till betongväggen (se t.ex. figurer 5-14 och 5-15 i SKB R-05-08).

SSM vill slutligen påpeka att i samtliga modelleringar av utvecklingen av betong- och bentonitbarriärer i Silo har SKB inte explicit tagit hänsyn till möjligt advektivt flöde i betongväggen efter att väggen kraftigt degraderats. Trots att SKB indirekt har beaktat frågan genom att variera diffusiviteten i betongväggen, samt att SKB även i andra delar av säkerhetsredovisningen har visat att en komplett degradering av betongväggen i Silo leder till en ökning av det advektiva flödet med endast ca. 20 % (SKB TR-13-08, tabell 6-4), anser dock SSM att SKB, i kommande steg av sitt program, behöver explicit inkludera denna process i sin modellering av interaktionen mellan Silos barriärer och deras utveckling efter förslutning.

6.4.4 Kolloidbildning från bentonit

Beskrivning av SKB:s underlag

En av de viktiga egenskaperna hos bentonit som en teknisk barriär i ett slutförvar är dess förmåga att svälla i kontakt med grundvatten om barriären installeras i ett begränsat utrymme, såsom ett deponeringshål, som i slutförvaret för använt kärnbränsle eller en cylindrisk ringformad fyllning, som i Silo i SFR. Till följd av svällningen begränsas bentonitens vattengenomsläpplighet genom att erhålla en mycket låg hydraulisk konduktivitet. En annan effekt av svällningen är att bentoniten homogeniseras och täpper till alla tomrum i deponeringshålet eller i bentonitfyllningen (SKB TR-14-04, avsnitt 7.4.12).

Om grundvattnet som kommer i kontakt med bentoniten har en mycket låg jonstyrka kan kolloidpartiklar av enskilda montmorillonitflak bildas, spridas genom bildning av en lersol, och transporteras bort med grundvattnet i sprickor som skär deponeringshålet eller bentonitfyllningen. Processen benämns ofta kemisk erosion till skillnad från den fysikaliska erosionen såsom kanalbildningserosion. Montmorillonitens spridningsbeteende beror starkt på värdet (valensen) av de laddningsbalansrande katjonerna i jonbytesplatser samt på koncentrationerna av jonerna i porvattnet. Spridning (bildning av en lersol) från aggregerad lera (lergel) är främst relevant i närvaro av utspädd grundvatten och särskilt vid låga koncentrationer av tvåvärdade katjoner i grundvattnet (Ca^{2+} , Mg^{2+}) (SKB, 2015, avsnitt 6.3.8).

SKB:s förståelse av mekanismen för kolloidbildning grundar sig på den traditionella DLVO-teorin (Derjaguin, Landau, Verwey och Overbeck) (se t.ex. Myers, 1999, avsnitt 10.8.) som beskriver kolloidstabilitet i främst lösningar med monovalenta joner men hänsyn har även tagits till resultat från senare forskning som hanterar även kolloidstabilitet i lösningar med divalenta joner såsom Ca^{2+} (Guldbrand et al., 1984; Kjellander och Marčelja, 1984; Kjellander m. fl., 1988).

I samband med tillståndsansökan för att bygga ett slutförvar för använt kärnbränsle redovisade SKB ingående teorin och mekanismerna bakom processen av kolloidbildning (SKB TR-10-47, avsnitt 3.5.11; SKB TR-09-34; SKB TR-09-35). SSM:s tidigare granskning och bedömning av SKB:s redovisning återfinns i SSM Rapport 2018:07 (del 2, avsnitt 5.8).

Sammanfattningsvis anser SKB att kolloidbildning från montmorillonit i bentoniten inte kommer att ske om:

- jonstyrkan i den externa lösningen är högre än 25 mM, eller

- andelen divalenta katjoner i jonbytesplatserna på montmorillonit är högre än 90 %

Utifrån dessa två villkor presenterar SKB ett diagram i vilket ett kolloidbildningsområde erhålls (SKB TR-09-34, figur 7-3). Experimentella försök med kompakterade bentonitprover visar att grundvatten vars katjoninnehåll motsvarar en laddningsekvivalent som är större än 2-4 mM kan förhindra förekomsten av kolloidbildning oberoende av montmorillonittyp så länge kalciuminnehållet på jonbytesplatser i montmorilloniten är högre än 20 % (SKB TR-09-34, avsnitt 7.5). SKB:s modelleringsresultat (SKB TR-15-08, figurer 2-9 och 2-10) visar att en ursprunglig Na-montmorillonit först jonbyts till K-montmorillonit i kontakt med färskt cementporvatten, och senare till Ca-montmorillonit i kontakt med cementporvatten i jämvikt med portlandit. Fraktionen av Ca-jonbytesplatser kan uppnå till 40 %. Detta tolkas som att kolloidbildning från montmorillonit i bentonit i kontakt med cementbaserade material, vilket samtliga lerbarriärer i SFR-förvaret är, möjligen kan ske först när jonstyrkan i bentonitporvattnet blir så lågt som 2-4 mM.

Det framgår av SKB:s modellering av cement-bentonit-interaktion att koncentrationerna av natrium- och kaliumkatjoner i bentonitfyllningens porvatten alltid kommer att vara högre än 60 mM om grundvattnet är salint med en koncentration av klorid på ca. 100 mM (SKB R-05-80, bl.a. figurer bl.a. 5-2, 5-7 och 5-12). Om grundvattnet är färskt, med en koncentration av klorid på ca 1 mM, i kombination med att diffusiviteten genom de tekniska barriärerna är hög (10^{-9} m²/s), kommer koncentrationerna av natrium och kalium i bentonitporvattnet att vara högre än 3 mM (SKB R-05-80, t.ex. figurer 5-47, 5-52 och 5-57). I fallen med en kombination av färskt grundvatten och en lägre diffusivitet genom barriärerna (10^{-10} m²/s), kan Na- och Ca-koncentrationerna komma att vara högre än 3 mM förutom i mitten av bentonitfyllningen där koncentrationerna av dessa katjoner, efter omkring 10 000 år efter förslutning, erhålls vara lägre än 2 mM (SKB R-05-80, t.ex. figurer 5-17, 5-22 och 5-27). Detta tyder på att kolloidbildning från montmorillonit i bentonit i kontakt med betong och andra cementbaserade material i slutförvarsmiljön är mycket osannolik och processens inverkan på förvarets långsiktiga strålsäkerhet beaktas således ej i säkerhetsanalysen (SKB TR-14-04, avsnitt 7.4.12).

SSM:s bedömning

SSM bedömer att SKB:s redovisning kring frågan om kolloidbildning från montmorillonit i bentonit är ändamålsenlig. SSM anser vidare att SKB, baserat på tidigare omfattande egen forskning samt internationellt samarbete, har byggt upp en god teoretisk förståelse kring frågan.

SSM anser att SKB:s båda gränssättande villkor för kolloidbildning är trovärdiga. För ren natriumbentonit visar både teoretiska och experimentella studier tydligt på att kolloidbildning inte kommer att ske ifall bentonitporvattnets jonstyrka är högre än 25 mM. Om en viss andel natrium i jonbytesplatser ersätts av kalcium, blir värdet för jonstyrkan ännu lägre. SKB:s andra villkor för att kolloidbildning uteblir, dvs. att bentonit med mer än 90 % av jonbytesplatser upptas av kalciumkatjoner, är baserat på väletablerad teori som benämns anisotropisk HNC-approximation ("HyperNetted Chain") (SKB TR-09-35, avsnitt 4.1) vilket även stöds av experimentella försök.

SSM anser att SKB:s slutsats att processen har försumbar effekt på förvarets långsiktiga strålsäkerhet och därför går att bortses från i säkerhetsanalysen är godtagbar. SKB:s modelleringsresultat visar tydligt att bentoniten i lerbarriärerna i kontakt med betong eller andra cementbaserade material snabbt kommer att jonbytas till ca. 40 % kalciumbentonit även när bentoniten ursprungligen är av en ren natriumtyp. För bentonit med så stor andel kalcium på jonbytesplatser sker kolloidbildningen endast när porvattnets jonstyrka blir så låg som 2-4 mM. SKB:s modellering (SKB R-05-80) visar att jonstyrkan i porvattnet

överskrider dessa koncentrationer under hela analysperioden, förutom i vissa fall i mitten av bentonitfyllningen under vissa tidsperioder (se SKB:s underlag ovan). Även i dessa fall är dock jonstyrkan i porvattnet i närliggande betongbarriärer betydligt högre än de gränssättande värdena. Denna innebär att även om en liten sannolikhet för kolloidbildning inom bentoniten föreligger under vissa tidperioder, är det osannolikt att kolloidpartiklarna kan transporteras bort från bentoniten. SSM anser dock att SKB mer ingående behöver utreda inverkan av fräscht grundvatten på bentonitkolloidbildningen, för att kunna behäfta bedömningen med en större säkerhetsmarginal.

SSM vill påpeka att samtliga hänvisningar till ”Birgersson et al., 2010” i huvudrapporten till SR-PSU (SKB, 2015, avsnitt 6.3.8 med underordnat rubrik Bentonitkolloidbildning) samt i SKB TR-14-04, avsnitt 7.4.12 bör vara ”Birgersson et al., 2009”, dvs. SKB TR-09-34.

6.4.5 Bentonit-järn-interaktion

Beskrivning av SKB:s underlag

De olika järnkomponenterna (t.ex. armeringsjärn i betong) som finns i förvaret förväntas korrodera även under anoxiska betingelser och den förväntade korrosionsprodukten är magnetit. En utförligare beskrivning och bedömning av magnetits roll som slutprodukt i anoxisk järn- och stålkorrosion samt dess redoxbuffrande förmåga återfinns i Del III, avsnitt 6.2 och 6.8 i denna granskningsrapport. Beroende på faktorer såsom passivering, redoxförhållanden och pH-värde i intilliggande cementporvatten, kan en viss mängd av löst Fe(II) förekomma (vars halter bestäms av lösligheter av korrosionsprodukter) och transporteras till bentonitporvattnet (SKB TR-14-03, avsnitt 4.4.7). Fe(II) kan möjligen reagera med vissa komponenter i lerbarriärerna samt med lösta ämnen i porvattnet i de tekniska barriärerna eller grundvattnet. SKB anser att interaktion mellan järn och bentonit är en komplicerad process (SKB, 2015, avsnitt 6.3.8).

SKB redogör för flera möjliga mekanismer för järn-bentonit-interaktion (SKB TR-14-04, avsnitt 7.4.11; SKB R-08-34);

- Fe(II) kan sorbera på ytan av lermineraller såsom montmorillonit och sorptionen sker främst på kanterna av montmorillonitflaken. Denna process påverkar bentonitens sorptionsförmåga för andra ämnen, inklusive radionuklider. I dagsläget är det fortfarande oklart om processen endast berör konkurrens av sorptionsplatser eller om den även kan leda till utfällning av sorberande material och faktiskt öka bentonitens sorptionsförmåga,
- Det sorberande Fe(II) kan möjligen leda till omvandling av montmorillonit i bentoniten. De hittills erhållna bevisen tyder på att omvandlingsprodukter kan vara typer av Fe-innehållande lermineraller såsom saponit eller klorit, även 1:1-lermineraller kan möjligen bildas,
- Kunskapen är fortfarande knapphändig om huruvida det sorberande Fe(II) kan interagera med det strukturella Fe(III) i montmorillonit och på vilket sätt interaktionen sker,
- Beroende på koncentrationen av Fe(II) i porvattnet och den omgivande kemiska betingelsen, kan Fe-innehållande mineraler falla ut och påverka bentonitens egenskaper.

SKB anser att den avgörande faktorn för Silo är att det järn och stål som förekommer är inneslutet i tillräckligt tjocka betongkonstruktioner eller i cementbaserade kringgjutningsbruk. Detta gör att lösta korrosionsprodukter av tvåvärt järn först måste överföras till bentonitfyllningen genom cement- och betongmatrisen. SKB förväntar sig att överföringen kommer att vara långsam och att mängden av överfört Fe(II) är liten. Detta innebär att konsekvenserna till följd av bentonit-järn-interaktion inte är betydande jämfört med t.ex. bentonit-cement/betong-interaktionen i vilken bentoniten och betongen är i direkt kontakt med varandra (SKB, 2015, avsnitt 6.3.8; SKB TR-14-04, avsnitt 7.4.11).

SSM:s bedömning

SSM bedömer att SKB:s redovisning av interaktion mellan bentonit och lösta järnkorrosionsprodukter är godtagbar för detta steg av SKB:s program. Bedömningen baseras huvudsakligen på att järnkomponenterna i förvardsdelen inte förväntas vara i direkt kontakt med bentoniten och massöverföringen av de lösta järnkorrosionsprodukterna till bentoniten i allmänhet förväntas vara långsam.

SSM anser dock att SKB behöver studera processen ytterligare. Med hänsyn till att mekanismsförståelsen i vissa avseenden fortfarande är knapphändig och att osäkerheter föreligger avseende sprickbildning i betongkonstruktionerna (som möjligen kan medföra en kraftig ökning av massöverföringen genom betong), anser SSM att SKB särskilt behöver fördjupa förståelsen kring huruvida Fe(II) från järnkorrosion kan leda till mineralomvandling av montmorillonit samt förståelsen för mekanismen bakom interaktionen mellan Fe(II) bildat från järnkorrosion och Fe(III) i montmorillonits kristalliska gitterstruktur. Dessutom anser SSM att SKB behöver beakta och analysera gränssättande fall avseende inverkan av bentonit-järn-interaktionen på förvarets långsiktiga strålsäkerhet. Detta för att säkerställa att man hanterar processen med tillräckligt stor säkerhetsmarginal i kommande säkerhetsredovisningar.

6.5 Hydrogeologi i närzon och berget

I detta avsnitt behandlas den hydrogeologiska utvecklingen för tiden efter 1000 år efter förslutning och för tempererade förhållanden. Modellerna som används i de hydrogeologiska utredningarna för tiden efter 1000 år som kommenteras i detta avsnitt tillämpas för hela analysperioden. För SSM:s bedömning av generella modellaspekter hänvisas till Del III, avsnitt 5.6 i denna rapport om tiden för de första 1000 åren efter förslutning. De hydrogeologiska utredningarna i samband med den platsbeskrivande hydrogeologiska modelleringen behandlas i Del III, avsnitt 3.5 och utvecklingen för periglaciala förhållanden behandlas i Del III, kapitel 7. I och med detta ligger fokus för detta avsnitt på de beräkningsfall som är relevanta för tiden när slutförvarets projektion på ytan har höjts ur Östersjön och när tempererade förhållanden råder.

Beskrivning av SKB:s underlag

För tiden efter 1000 år efter förslutning beskriver SKB i huvudrapportens avsnitt 6.4.4 den hydrogeologiska utvecklingen i fjärrzonen och i avsnitt 6.4.5 för närzonen (SKB, 2015). Efter ca 4000 år efter förslutning har strandlinjen förflyttat sig så långt från förvaret att terrestra förhållanden har uppnåtts och situationen efter 8000 år antas representera efterkommande tempererade tider för analysen. Utsläppspunkterna från befintliga anläggningen ligger samlade i en sänka norr om förvaret med ett antal partikelbanor som letar sig längre norrut. Utsläppspunkterna från utbyggda delen sammanfaller till stor del med de från befintligt förvar men täcker större ytor längre norrut pga. planerade anläggningsdelarnas större djup (SKB 2015, avsnitt 6.4.4). I närzonen påverkas flödena av degraderingen av betong som utgör tekniska barriärer i 1-2BMA, 1-2BTF och i viss mån

BRT. En eventuell degradering av bentonit inverkar också på flödet genom förvaret. I Silo utgör bentonit en flödesbarriär och för övriga bergsalar fylls angränsande tunnlar med bentonit eller bentonitblandning för att förhindra betydande flöden genom dessa (SKB dokID 1358612, figur 4-1). Beskrivning av SKB:s redovisning om betong- och bentonitdegradering efter 1000 år efter förslutning samt SSM:s bedömning av denna redovisning återfinns i Del III, avsnitt 6.3 respektive 6.4 i detta kapitel.

SKB har definierat ett antal beräkningsfall som ska belysa flödessituationen för tiden efter 1000 år efter förslutning och vars resultat tillämpas inom en rad olika områden. För en beskrivning av tillämpningen av resultat utifrån AMF-schemat (SKB TR-14-12, appendix B) hänvisas till Del III, avsnitt 5.6 i denna del av granskningsrapporten. Där redovisas även härledningen av det hydrogeologiska basfallet, som tillämpas i huvudscenariot. För de mindre sannolika scenarierna används beräkningsresultat som skiljer sig från basfallet för scenarierna högt flöde i berggrunden, bentonitdegradering, jordskalv och brunnar nedströms förvaret (SKB 2015, tabell 8-6). För restscenarierna används fall som skiljer sig från basfallet för högt vattenflöde i förvaret, förlängd global uppvärmning och scenariot med glaciation (SKB 2015, tabell 8-7). Eftersom landmassan över slutförvaret har höjt sig ur Östersjön för tiden efter 1000 år efter förslutning förändras randvillkoren jämfört med tiden innan och frågan om brunnar i området kring anläggningen blir betydelsefull. SKB redogör i SKB R-13-19 avsnitt 6.4 och mer i detalj i SKB P-14-05 för hanteringen av brunnar i säkerhetsanalysen.

SSM:s bedömning

SSM har bedömt härledningen av hydrogeologiska basfallet i Del III, avsnitt 3.5 och 5.7 i denna rapport. För tiden efter 1000 år efter förslutning tillämpas samma modell med skillnaden att randvillkoren ändras succesivt för att återge strandlinjeförskjutningen. SSM bedömer att SKB:s sätt att hantera topprandvillkoret över tid (SKB P-14-04, avsnitt 3.3 och 5.3.2) är godtagbart, men noterar att ad-hoc förfarandet att fylla sänkor för att undvika orimliga förhållanden pekar på att randvillkoret är behäftat med vissa osäkerheter. Dessa bör beaktas vid tolkningen av partikelspårningens resultat. Förenklad modellering utförd av SSM:s externa expert pekar generellt sätt på en rimligt god överensstämmelse med SKB:s mer komplexa modell (SSM 2017:28 del 2 avsnitt 2.2). SSM bedömer av detta skäl att SKB:s basfall utgör en rimlig kvantifiering av flödet genom förvarssalarna för tider 1000 år efter förslutning.

En annan betydelsefull hydrogeologisk aspekt i säkerhetsanalysen är hur vattnet som tas ur dricksvattenbrunnar kan påverkas av slutförvaret. SSM bedömer att SKB:s tillvägagångssätt för att lokalisera potentiella brunnar (SKB P-14-04, avsnitt 3.2) och beräkna andelen vatten i brunnarna som är påverkat av slutförvaret (SKB R-13-19, avsnitt 6.3 och 6.4 och SKB P-14-04) är godtagbart (se även denna rapport, Del III, kapitel 8 och 9). SKB väljer en brunnstäthet på 0,5 brunnar/km² utifrån en analys av förekomsten av brunnar i området längs en kuststräcka 20 km kring SFR och inåt land (SKB R-01-27). Området har en medelbrunnstäthet för jord- och bergbrunnar på 0,2 brunnar/km² och en maximal brunnstäthet i ett område en bit från kusten på 0,9 brunnar/km². Utgår man från ett större område kring SFR som inkluderar områden längs kusten längre från Forsmarksverken visar sig att brunnstätheten är kopplad till kustnära boende och att tätheten för områden som för ca 1500 år sedan höjdes över vattenytan når upp till 2 brunnar/km². Samtidigt kan man konstatera att brunnstätheten längre från kustremsan ligger kring ca 0,3 brunnar/km², vilket sammanlagt ger en brunnstäthet på 0,5 brunnar/km² i det större området. Givet dessa förhållanden bedömer SSM att SKB:s val av täthet för dricksvattenbrunnar på 0,5 brunnar/km² i beräkningarna är godtagbart.

Ett förväntat varmare klimat är ytterligare en faktor att ta i beaktande vid bedömningen av framtida brunnstäthet och brunnsdjup. Ett varmare klimat kan leda till demografiska förändringar och sänkt grundvattennivå, vilket dels kan leda till ett ökat behov av bergborrade vattenförsörjningsbrunnar dels till djupare belägna vattenförsörjningsbrunnar. Dock, djupare brunnar kan även leda till inträngande bräckt vatten från Östersjön (SSM 2019:16, del 3). Ett förväntat varmare klimat behöver således inte *per se* innebära en ökad sannolikhet, dvs. djupare och fler bergborrade vattenförsörjningsbrunnar, för scenarior med brunnsborrning i anslutning till förvaret. SSM bedömer därför att SKB:s antaganden, även efter beaktande av ett framtida varmare klimat, för framtida brunnsdjup och brunnsfrekvens är rimliga utgångspunkter för beräkning av konsekvenser i samband med brunnsborrning i anslutning till förvaret.

SKB ansätter att 10 % av utsläppen från de olika förvarsdelarna når en brunn i interaktionsområdet ("well interaction area"). SSM:s externa expert pekar på att osäkerheter i den ytliga berggrundsakviferen bör belysas i underlaget för scenariot brunnar nedströms förvaret (SSM 2016:08, del 3, avsnitt 3.1.3). SSM bedömer även, i motsats till SKB och mot bakgrund av den analys som gjorts av SSM:s externa expert (SSM 2019:16, del II) att ett ökat vattenupptag kan leda till en ökad radionuklidkoncentration för vissa av bergsalarna. Vidare bedömer SSM:s externa expert att det inte går att utesluta att mer 10 % av utsläppen från de olika förvarsdelarna når en brunn i interaktionsområdet. Detta eftersom siffran 10 % baseras på en DFN-realisation, det hydrologiska basfallet, och på relativt få brunnspositioner (9 st). Vid beaktande av högre vattenflöden och högre vattenupptag från en brunn bedömer SSM:s externa expert att den potentiella dosen i en brunn i interaktionsområdet kan vara upp till en faktor 6 högre (SSM 2019:16, del II avsnitt 4.2). Detta är dock en konservativ bedömning och SSM bedömer att SKB:s placering av brunnar i, eller i direkt anslutning till, de deterministiskt hanterade deformationszonerna innefattar en viss konservatism som bör omhänderta åtminstone en del av osäkerheterna vid bedömningen av potentiella doser i dricksvattenbrunnarna i interaktionsområdet. SSM bedömer därför sammantaget att SKB:s ansättande av att 10 % av utsläppen från de olika förvarsdelarna når en brunn i interaktionsområdet är rimligt.

SSM:s externa experter inom konsekvensanalysberäkningar anser att det så kallade biosfärsobjektet 157_2 skulle kunna antas ta vatten från interaktionsområdet istället för utanför. Av detta skäl vore ett alternativt antagande med ett betydligt högre värde än 10 % av utsläppen från förvarssalarna rimligt (SSM 2016:09 del 3 avsnitt 3.2.5). SSM bedömer dock att detta föreslagna alternativ är väl pessimistiskt med tanke på att genomsnittet för andelen av utsläppen inom interaktionsområdet är ca 2-8 % för de olika förvarssalarna och att brunnarna med den högsta andelen av utsläppen (drygt 30 %) ligger utanför det område som anses vara sannolikt att brunnen lokaliseras inom (SKB R-13-19 appendix 3 tabeller A3-2 och A3-3). Därutöver ligger den större delen av det område som anses sannolikt för lokaliseringen av brunnen utanför interaktionsområdet (SSM 2016:09 del 3 avsnitt 3.2.5 figur 16). SSM bedömer att det är godtagbart att beräkna sannolikheten för brunnar inom ett visst område utifrån dagens brunnstäthet och när det gäller intrångsbrunnar även utifrån statistik på brunnsdjup såsom beskrivs i SKB R-13-19 avsnitt 6.5.

SKB:s härledning av hydrogeologiska resultat för tillämpning i scenariot med högt flöde i berget har granskats i detalj av SSM:s externa expert (SSM 2017:28 del 1 avsnitt 2.4). Flödet beräknas utifrån den bergmodell som SKB har valt ut för att representera höga flöden i berget. När det gäller närzonen så har SKB tagit de högsta beräknade flödena för varje förvarssal utifrån alla 17 beaktade bergmodeller och tidsperioder. SSM:s externa expert bedömde att inte alla osäkerheter har beaktats i SKB:s modellering och att dessa osäkerheter skulle kunna leda till högre flöden än de som är del av SKB:s beaktade fall

(SSM 2017:28 del 1 avsnitt 2.4.3). Efterföljande beräkningar med en förenklad modell pekar dock på att dessa osäkerheter inte verkar ha någon avgörande betydelse för spännvidden av flöden som kan förväntas. Beräkningsfall med relativt hög konduktivitet i berget, antingen genom DFN delen eller genom antagande av att möjliga deformationszoner med relativt hög transmissivitet skär förvarsdelarna, leder till en faktor två högre flöden för den utbyggda delen och en faktor tre högre flöden för den befintliga anläggningen. SSM bedömer att dessa fall utgör ett rimligt spann för förväntade flödestorlekar. Samtidigt pekar SKB:s resultat (SKB R-13-25 avsnitt 4.5.1) på en spännvidd som är likartad. Tillsammans med antagandet om skalningen av flödet genom förvarsalarna bedömer SSM att SKB:s hydrogeologiska beräkningsresultat som används för scenariot med höga flöden är en godtagbar uppskattning i förhållande till den antagna sannolikheten på 10 % för att detta scenario ska inträffa.

De hydrogeologiska beräkningsfallen som ligger till grund för scenarierna accelererad betongdegradering och bentonitdegradering tillämpar samma hydrogeologiska beskrivning av fjärrzonen men skiljer sig med hänsyn till barriärmaterialens vattengenomsläpplighet över tiden. När det gäller flödena som läggs till grund för jordskalvsscenario antas att bentoniten förblir intakt medan parametriseringen av betongens vattengenomsläpplighet ändras. Dessa parametrar bedöms i denna rapport i del III i avsnitten om betong (6.3) och bentonit (6.4). Flödet i fjärrzonen antas inte förändras efter att ett jordskalv har skett, men SKB gör det konservativa antagandet att fjärrzonens retarderande förmåga är förlorad efter skalvet (SKB TR-14-09, avsnitt 4.2.5). SSM bedömer att denna hantering av flödet i fjärrzonen är rimlig. Se även denna rapport del III, avsnitt 5.5 gällande SKB:s jordskalvsanalys för SR-PSU. Scenario med högt vattenflöde i förvaret utgår ifrån att barriärerna inte har något nämnvärt flödesmotstånd i och med tillämpningen av ett antagande om en hydraulisk konduktivitet på 10^{-3} m/s. SSM bedömer att detta är ett lämpligt antagande. För scenariot med förlängd global uppvärmning antas samma flöden som för basfallet men med skillnaden att det inte förekommer några permafrostperioder med lägre flöden. SSM bedömer att det är ett rimligt antagande.

6.6 Kemiska betingelser i närzonen och berget

I detta avsnitt avhandlas den geokemiska utvecklingen för tiden efter 1000 år efter förslutning och för tempererade förhållanden. SKB:s bedömningar och modellering som ligger till grund för beskrivningen av den geokemiska utvecklingen i och kring förvaret tillämpas i första hand för hela analysperioden. Fokus i detta avsnitt inriktas på beskrivningen av den geokemiska utvecklingen, med tillhörande underlagsmodelleringar och expertbedömningar, som är relevanta för tiden när slutförvarets projektion på ytan har höjts ur Östersjön och när tempererade förhållanden råder. Beskrivning av SKB:s underlag rörande, samt SSM:s bedömning av, geokemiska och grundvattenkemiska aspekter under de första 1000 åren efter förslutning berörs i Del III, avsnitt 5.7. Utredningarna avseende de geokemiska aspekterna av den platsbeskrivande modellen avhandlas i Del III, avsnitt 3.6. och den geokemiska utvecklingen under periglaciala förhållanden avhandlas i Del III, kapitel 7.

Beskrivning av SKB:s underlag

I och med strandlinjeförskjutningen förväntas, i basfallet, ett inflöde av meteoriskt vatten spä ut grundvattnet successivt, något som bland annat främjar upplösning av Fe-oxyhydroxider (SKB, 2015, avsnitt 6.4.6). Ett mer horisontellt grundvattenflöde är även att vänta under denna period vilket innebär att transport av lösta ämnen med stor sannolikhet kommer att avsevärt förändras i jämförelse med den nuvarande havsvattenperioden i berggrunden runt SFR. Diffusionsutbytet mellan porvattnet och grundvattnet

kan vara av vikt för utvecklingen av grundvattnets sammansättning. Det grundvatten som antas kunna nå förvaret är av bräckt karaktär. En utförlig beskrivning av det dataset som ligger till grund för den ansatta grundvattensammansättningen för den aktuella perioden, 1000 år efter förslutning och framåt, i säkerhetsanalysen återfinns i (SKB R-13-16, avsnitt 4.1.2).

Sammansättningen på inströmmande grundvatten påverkas av upplösning/utfällning av sprickmineraler i berggrunden och även av tillförsel och degradering av organiskt material (SKB, 2015, avsnitt 6.4.6). Tabell 6-8 i SR-PSU visar den förväntade sammansättningen på grundvattnet i SFR-området när under de perioder då berggrunden ovan förvaret inte är täckt av hav. SKB presenterar två grupper av grundvattensammansättningar, en för en periglacial period fram till 40 000 år efter förslutning, och en annan för motsvarande period i en avlägsen framtid. Sammansättningarna har uppskattats från platsdata från ytliga grundvatten (se avsnitt 3.6 i denna granskningsrapport för utförligare beskrivning och bedömning av geosfären och den platsbeskrivande modellen) i terrestra områden (SKB R-13-16). Inströmmande grundvatten förväntas vara kemiskt reducerande i båda grupperna.

För den tempererade perioden ansätts en grundvattensammansättning baserat på bräckt, ytligt grundvatten. Den ansatta kloridkoncentrationen är 190 mg/L. Sulfatinnehållet i bräckt ytligt grundvatten (25-163 mg/L) kontrolleras av oxidation av sulfid och sulfat-reducerande mikrobiella processer. Karbonatsystemet i Forsmarkområdets ytliga grundvatten påverkas mycket av den stora representationen av kalksten i jorden vilket motiverar valet av bräckta, ytliga grundvatten från Forsmarks som representativa för beskrivningen av upplöst kalcium och HCO_3^- . De potentiometriska redoxmätningar i fält som gjorts på ytnära grundvatten i Forsmark visar på en yttlig övergång (< 20 m) från oxiskt till anoxiskt grundvatten (SKB R-13-16, avsnitt 4.1.2). Vid uppskattning av Eh-intervall har SKB främst utgått från potentiometrisk data från (främst större djup) grundvatten i Laxemar och från bräckta, ytliga grundvatten i Fjällveden (SKB R-13-16, tabell 4-4) och landar i ett föreslaget Eh på cirka -210 mV.

Utspädning erhålls explicit i den hydrogeokemiska reaktiv-transportmodelleringen (SKB R-13-30) som utgör en del av säkerhetsanalysens underlag. Modelleringen sträcker sig ca 7000 år efter förslutning. Utspädningen förväntas i första hand ske under de första 1100 åren efter förslutning. Under denna period når kloridnivåerna ett nytt stationärt tillstånd, vilket enligt SKB motiverar att resultaten kan extrapoleras till hela den kommande klimatperioden (mellan 50 000 och 100 000 år beroende på klimatfall). pH buffras till mellan 7,3 till 8 efter 1100 år som en konsekvens av att utspätt tillströmmande vatten inducerar upplösning av mineral i berggrunden, i synnerhet kalcit. I denna modellering förutsägs reducerande betingelser råda över hela beräkningsperioden och buffertkapacitet tillskrivs sprickmineralerna hematit ($\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{s})$, basfallet) och järnsulfid ($\text{FeS}(\text{s})$, variantfallet).

I underlagsrapporten (SKB R-14-01) beskrivs termodynamisk modellering som har genomförts med målet att uppskatta ett pH för varje förvarsdel i den befintliga delen av SFR, med beaktande av sammansättningen hos avfallet i förvarsdelarna. Baserat på förvarsdelsspecifik flödesdata och genom approximationen att varje förvarsdel kan representeras med en omrörd tank beräknas cementporvattenutbyte för att kunna uppskatta tidsutvecklingen av pH per förvarsdel. Angreppssättet ger en homogen, global beskrivning av pH som funktion av tiden i respektive förvarsdel. I IBLA som saknar betongväggar, förlitar sig SKB enbart på upplösning av cementmängden i avfallet. pH-minskningen sker gradvis för att efter 19 000 år nå samma värde som det inkommande grundvattnet. Cementporvattnet i avfallskollina kommer att bibehålla ett högt pH omkring 12,5 i

samtliga förvarssalar utom 1BLA, vilket i sin tur kommer att påverka pH i grundvattnet på utflödessidan av betongbarriären respektive förvarsutrymmet BLA.

Vattensammansättningen på utflödessidan av betongbarriärerna påverkas av vattnets växelverkan med avfallet. pH-utvecklingen för 2BMA beskrivs i (SKB R-13-40). För beskrivning av pH-utvecklingen i förvarsdelarnas cementporvatten i befintliga SFR och påverkan på grundvattnet nedströms förvaret utgår SKB från rapporten (SKB R-14-01) där förvarsdelarna representeras som en omrörd tank. I studien beaktas även avfallets påverkan på pH inom ramen för metodens tillämplighet och noggrannhet.

Avseende redoxutvecklingen för närzonen inklusive förvaret förväntar sig SKB att reducerande förhållanden bibehålls under hela analysperioden på 100 000 år. I SKB:s simuleringar över redoxförhållanden förvarsrum för förvarsrum (SKB TR-12-12) anses reducerande betingelser först uppstå genom att exempelvis stålbase material korroderar och konsumerar syre med beaktande av både närvaro och frånvaro av mikrobiell aktivitet. Anoxisk korrosion av stål under vätgasutveckling fortgår därefter, beroende på förvarsutrymme och mängd stålbase material, från 5000 till 60 000 år med magnetit ($\text{Fe}_3\text{O}_4(\text{s})$) som antagen korrosionsprodukt. Den reducerande förmågan bibehålls enligt simuleringresultaten även efter en eventuell förbrukning av allt järn/stål av bildad magnetit som buffrar redox genom hela analysperioden (100 000 år). Även om resultaten visar att förvaret har en god buffringsförmåga för att upprätta reducerande förhållanden är detta resultat behäftat med vissa osäkerheter vilket föranledde en känslighetsanalys av dessa osäkerheters påverkan på förvarets förmåga att upprätthålla reducerande förhållanden under hela analysperioden (SKB TR-12-12, avsnitt 7). Dessa osäkerheter är bland annat kopplade till korrosionshastighet av stål, omfattning av tillströmmande glaciala smältvatten och degraderingstillståndet hos förvarets betong. I samma rapport utförs därför en känslighetsanalys för att utvärdera systemets förmåga att upprätthålla reducerande förhållanden i vilken man tillämpar en probabilistisk analys av stålmateriallets korrosionshastighet. Målet är att få en förståelse för hur korrosionshastighet påverkar förvarets reducerande förmåga (SKB TR-12-12, avsnitt 7.1). Dessutom analyseras hur tillströmmande glacialt smältvatten som innehåller löst syrgas som tränger in i förvaret efter 60 000 år (SKB TR-12-12, avsnitt 7.2) påverkar förmågan att buffra reducerande förhållanden. I det senare fallet antas att allt stål har korroderats och systemets reducerande förmåga orsakas av buffringsförmågan hos bildat magnetit. Den inkommande syrgasen oxiderar således magnetiten till goethit ($\text{FeOOH}(\text{s})$), som är en Fe(III)-oxid, och förväntas höja redoxpotentialen och slutligen rendera oxiderande förhållanden. Oxiderande förhållanden erhålls först efter 100 000 år (SKB TR-12-12, figur 7-4). Avseende cementdegraderingstillståndet antas cementen genomgående representeras av portlandit med ett buffrat pH på cirka 12,5. SKB studerar dock även effekten av ett lägre pH (pH 10,5), motsvarande mycket degraderad cement, och dess inverkan på redoxpotentialen för olika redox-par (SKB TR-12-12, tabell 8-1). Även vid detta pH väntas den reducerande förmågan hos systemet bibehållas.

I säkerhetsanalysen SR-PSU beaktas konservativt även effekten av oxiderande förhållanden genom restscenariot med ändrade redoxförhållanden i befintliga SFR där SKB ansätter en alternativ uppsättning K_d -värden för redoxkänsliga grundämnen (Np, Pa, Se, Tc, U och Pu).

SSM:s bedömning

SSM anser att den översiktliga beskrivningen av den geokemiska utvecklingen efter 1000 år efter förslutning är rimligt motiverad och trovärdig givet de platsdata som finns tillgänglig. Detta avser i första hand SKB:s val av referenssammansättning på grundvattnet som ansätts i säkerhetsanalysen, utom i modelleringen av betongens kemiska

utveckling där en grundvattensammansättning från en tidigare säkerhetsanalys för befintliga SFR tillämpas (SKB TR-14-12, AMF nummer 145). Underlaget som ligger till grund för beskrivningen av den grundvattenkemiska utvecklingen efter 1000 år i SR-PSU utgörs av dels reaktivtransport-beräkningar (SKB R-13-30), dels en uppskattad utveckling som har baserats på platsspecifik data (SKB R-13-16). Dessa studier visar på en rimlig överensstämmelse, vilket ses som positivt. SSM bedömer att noggrannheten i uppskattningen av grundvattenkemisk utveckling kommer att öka med utökad platsspecifik data vilket kommer att kunna erhållas när SKB utför en utökad provtagningsverksamhet i kommande steg i programmet. Överlag anser SSM att den uppskattade geokemiska utvecklingen efter 1000 år är trovärdig och ändamålsenlig för dess tillämpning i säkerhetsanalysen.

SSM anser att det är en brist att den grundvattensammansättning, och dess utveckling, som tillämpas i modelleringen av kemisk utveckling av betong (SKB R-13-40), och som ligger till grund för bedömningar av betongens degraderingsfaser, inte utgår från den som ansåts i den övriga säkerhetsanalysen SR-PSU utan från en tidigare säkerhetsanalys för befintliga SFR. SSM anser att detta behåller beskrivningen den kemiska utvecklingen av betongen med onödiga osäkerheter som förhållandevis enkelt hade kunnat undvikas. Detta bedöms vidare i Del III, avsnitt 6.3 i denna granskningsrapport.

SKB:s antagande att tillströmmande grundvatten under den tempererade perioden utgörs av meteoriskt, ytligt grundvatten bedöms vara rimlig. Efter att det lokala grundvattensystemet nått stationära förhållanden kommer strandlinjeförflyttningen inte längre att påverka den lokala grundvattensituationen vid SFR.

SSM anser att SKB:s modellering av förvarets redoxutveckling som redovisas i rapporten (SKB TR-12-12) är ändamålsenlig även om myndigheten identifierat vissa osäkerheter. SSM anser att SKB beaktat SSM:s synpunkter från SAR-08 där myndigheten förelade SKB att utföra en känslighetsanalys med avseende på risk och konsekvens till följd av förändrade redoxförhållanden. SSM anser att den känslighetsanalys som utförs i (SKB TR-12-12) i rimlig utsträckning beaktar de processer som kan antas vara betydande för att betingelserna skulle kunna förändras, såsom varierande korrosionshastigheter för järn/stål, omfattning av tillströmmande glacialt smältvatten och konsekvenser av sänkt pH i närzonen. SSM anser dock att risken för oxiderande betingelser inte helt kan uteslutas baserat på det befintliga underlaget. Enligt SSM:s bedömning kan det inte anses klarlagt att magnetit verkligen kan reagera med allt inträngande syre beroende bl.a. på det bildade mineralets reaktiva area, upplösningskinetik, och rumsliga fördelning i ett slutförvar med degraderade betongbarriärer. Det finns även vissa frågetecken kopplade till mycket långsiktiga effekter av höga korrosionshastigheter för stål och till konsekvenser av inhomogen fördelning av stålkomponenter i förvaret. Dessa frågor kommenteras mer utförligt i Del III, avsnitt 6.2.2 i denna granskningsrapport.

I (SKB TR-12-12) gör, som nämnts ovan, SKB antagandet att magnetit är slutprodukten i anoxisk stålkorrosion vid låga temperaturer. Efter att allt stål korroderats antar SKB att den bildade magnetiten ensam upprätthåller reducerande redoxförhållanden under den återstående delen av analysperioden. SSM bedömer att det finns en ytterligare osäkerhet i detta antagande även om många experimentella studier (ex. Smart m.fl. 2002, Smart m.fl. 2017) pekar på magnetit som slutprodukt vid anoxisk stålkorrosion. Ett antal experimentella studier, exempelvis (Reardon, 1995 och Wilkin m.fl., 2003), visar dock på att järnhydroxid ($\text{Fe}(\text{OH})_2(\text{s})$), som initialt bildas vid anoxisk korrosion av stål och vid förhöjda temperaturer är metastabilt, inte reagerar vidare till magnetit vid temperaturer under 100°C. Om dessa resultat är tillämpliga för SFR skulle detta kunna betyda att koncentrationen av Fe^{2+} i förvaret och närzonen, också skulle kunna vara betydligt högre

än väntat. Bildning av höga halter järn(II) skulle således kunna påverka de hyperalkaliska förhållandena samt omvandlingsreaktioner i cement. På samma sätt som Mg^{2+} substituerar Ca^{2+} i portlandit kan Fe^{2+} göra detsamma vilket medför en sänkning av cementporvattnets pH. Portlandit och CSH-geler buffrar pH vid omkring 12,5 och hur väl cementen buffrar pH beror till stor del på dessa mineralers långsiktiga beständighet. Om avfallens stålkomponenter genomgår omfattande korrosion skulle, enligt indikationer i ovannämnda studier, en omfattande mängd $Fe(OH)_2$ bildas, vilket buffrar pH vid omkring 9,5.

De processer som diskuterats ovan har identifierats av SSM:s externa expert (SSM 2016:08, del 4). De behöver betraktas som hypotetiska men de medför viss osäkerhet i och med att den inte har beaktats av SKB i SR-PSU. SSM lät dock externa experter utföra termodynamisk modellering för att utröna förutsättningar för och konsekvenser av att sådana kemiska processer äger rum (SSM 2017:28, avsnitt 3). Denna studie visar på att substansiella mängder Fe(II) skulle behövas för att erhålla pH-förändringar som äventyrar uppkomsten av hyperalkaliska förhållanden. SSM bedömer således att sannolikheten för en betydande påverkan på cementens sorptionsegenskaper och den långsiktiga strålsäkerheten är liten. Studier av anoxisk korrosion av stål i alkalisk miljö indikerar inte heller att järn transporteras in i omgivande cement (Smart m.fl. 2017).

6.7 Retardationsmekanismer för radioaktiva ämnen i slutförvarsmiljön

SKB definierar i SR-PSU fördröjning av uttransport av radionuklider som en viktig säkerhetsprincip för avfall, tekniska barriärer pluggar samt omgivande berg. Fördröjning definieras dels som begränsning av advektivt flöde, dels som sorption av radioaktiva ämnen på mineralytor. Dessa komponenter utgör centrala delar i SKB:s säkerhetsredovisning för att demonstrera kravuppfyllelse. De hanteras utförligt i huvudscenariot och utgör en grund för att definiera såväl mindre sannolika scenarier som restsценarier. I detta avsnitt granskar SSM SKB:s redovisning kring retardation av radioaktiva ämnen på mineralytor i och omkring slutförvarsmiljön.

6.7.1 Sorption och radioaktiva ämnens egenskaper i förväntad slutförvarsmiljö

SKB:s redovisning

SKB använder sig av linjära fördelningskoefficienter, så kallade K_d -värden, för kvantifiering av de radioaktiva ämnenas retention i slutförvarsmiljön och dess omgivning. Fördelningskoefficienterna uttrycker en kvot för fördelningen mellan fastfas och vattenfas vid kemisk jämvikt, dvs. desto högre värde desto större andel av det radioaktiva ämnet är sorberad på den fasta fasen och desto mindre andel föreligger som mobila ämnen i vattenfasen. Fördelningen mellan fastfas och vattenfas innebär att sorberande ämnen i varierande grad beroende på det aktuella K_d -värdet transporteras långsammare än icke-sorberande ämnen. Samma nuklider av ett och samma radioaktiva ämne har identiska kemiska egenskaper medan samma radioaktiva ämne i olika kemiska miljöer med olika förekomstformer och oxidationstal kan ha mycket olika kemiska egenskaper och sorptionsförmåga. SKB har utvecklat en databas för K_d -värden där osäkerheter beaktas genom att definiera en sannolikhetsfördelning med ett mest sannolikt värde där en övre och undre gräns sätts kring det mest sannolika värdet. SKB tillämpar generellt triangelfördelningar för denna typ av data.

K_d -värden används i radionuklidtransportberäkningar för att på ett förenklat sätt kvantifiera uttransport av radioaktiva ämnen från slutförvaret och vidare transport till biosfären. SKB poängterar att fördelningskoefficienter är empiriska och inte är representativa för, eller beroende av, någon specifik mekanism även om de förutsätter linjär reversibel sorption i så låga koncentrationer att mättnadseffekter inte uppstår. Fördelningskoefficienterna är specifika för det fasta materialets sammansättning och ytegenskaper samt den specifika kemiska miljön, i synnerhet pH, redoxpotential samt närvaro av komplexbildare i vattenlösningen. Sorptionsförsök i laboratorieskala publicerade i den vetenskapliga litteraturen utgör det viktigaste experimentella underlaget för att definiera K_d -värden för kombinationer av radioaktiva ämnen, fasta faser och kemiska betingelser. Det kan vara frågan om försök med plats specifika material men även andra material som i tillräcklig utsträckning kan bedömas ha analoga sorptionsegenskaper. I vissa fall kan diffusionsförsök användas för att härleda eller verifiera K_d -värden, liksom i några fall spårämnesförsök i fält. Den senare typen av försök har begränsningar beträffande vilka radioaktiva ämnen som kan följas under realistiska tids- och längdskalor men dessa försökstyper medför möjligheter för mätningar under realistiska transport-betingelser. I många fall saknas dock helt laboratoriedata för vissa radioaktiva ämnen under vissa specifika miljöbetingelser. SKB tillämpar i dessa situationer analogi-resonemang där K_d -värden definieras baserat på kännedom om experimentella data från andra kemiska ämnen med liknande kemiska egenskaper. Denna typ av överföring kan inte göras exakt utan är beroende av expertbedömningar. Olika typer av osäkerheter som identifieras hanteras genom konservativa parameterintervall och reduktion av det förväntade K_d -värdet med exempelvis en faktor 2, 5 eller 10. Den postulerade reduktionsfaktorn ska ta höjd för de osäkerheter som är förknippat med det ursprungliga parameterintervallet.

SKB definierar i SR-PSU sorption på tre olika material: i) cementmaterial i avfallskollin, kringgjutning och betongväggar i Silo, BMA och BTF, ii) bentonit som omger Silo, samt iii) i krossat berg och den omgivande berggrunden. För BLA tillgodoser sig SKB endast sorption i berget.

För att kunna tillämpa K_d -värden för dessa material i långa tidsskalor fodras kännedom om kemiska betingelser och deras utveckling. Aktuella kemiska betingelser i grundvatten på avsett djup har undersökts med hjälp av borrhål som en del av ett platsundersökningsprogram. En långsiktig utveckling av kemiska betingelser i grundvatten till följd av den pågående landhöjning och klimatförändringar leder till förändringar av grundvattnets salthalt, vilket bland annat har betydelse för radioaktiva ämnen som sorberar genom jonbytesprocesser. SKB konstaterar dock att de kemiska betingelserna till stor del buffras av de tillförda materialerna och att den naturliga grundvattenkemiska utvecklingen har förhållandevis begränsad betydelse. Reducerande kemiska betingelser förväntas kvarstå i förvaret till följd av korrosion av järn och degradering av organiskt material i slutförvaret. Dessa reaktioner förbrukar syre och upprätthåller reducerande betingelser (Duro m.fl., 2012). Andra aspekter av degradering av cement (Höglund, 2014) och bentonit (Gaucher m.fl., 2005) bland annat pH utvecklingen har också betydelse för val av K_d -värden. SSM granskar frågor kring den kemiska utvecklingen på annan plats i denna granskningsrapport (se Del III, avsnitt 6.2 för avfallets kemiska utveckling och Del III, avsnitt 6.8 för utvecklingen av de kemiska betingelserna i närzonen och i berget).

Sorption på cementmaterial

De flesta radioaktiva ämnen sorberar förhållandevis bra på cementmaterial som ett resultat av stora tillgängliga mineralytor hos amorfa cementfaser, samt välbuffrade pH-förhållanden. Ett relativt stort antal experimentella studier har genomförts under årens lopp. SKB har i sin analys av radioaktiva ämnens sorptionsförmåga i cementmiljö i första hand använt kunskapssammanställningen av Wang m.fl. (2009) och Ochs m.fl. (2011)

som tagits fram för ett belgiskt slutförvar för kortlivat avfall. I denna rapport finns en utförlig redovisning av experimentella sorptionsstudier, sorptionsmekanismer samt en beskrivning av hur benägenhet för sorption förändras med cementmaterialets gradvisa degradering.

Med tanke på att fördelningskoefficienter ska vara giltiga för flera 10 000 år in i framtiden är det viktigt att den gradvisa kemiska utvecklingen av cementmaterialet beaktas. I cement kan en viss gradvis minskning av sorptionsförmågan förekomma eftersom amorfa faser i cement med stor specifik yta omvandlas till kristallina faser med mindre sorptionsförmåga. Det finns också exempel på radioaktiva ämnen vars sorption påverkas av förändringar av pH samt bland annat koncentrationer av kalcium, natrium och kaliumjoner. Dessa effekter kan både förstärka och försvaga sorptionsförmågan beroende på de radioaktiva ämnenas kemiska egenskaper, och således antingen motverka eller förstärka effekten från utvecklingen av cementmatrisens specifika yta. SKB har beaktat denna utveckling för olika faser och har definierat K_d -värden för ett flertal olika tillstånd:

- Färsk cement som kännetecknas av att alkalimetaller inte har lakats ut och ett pH 13,2 eller högre
- Cement i vilket alkalimetaller har lakats ut och pH buffras av mineralet portlandit (Ca(OH)_2) runt pH 12,5
- Cement i vilket både alkalimetaller och portlandit har lakats ut och pH buffras av CSH-gelen med en kalcium /kisel- kvot i det högre intervallet över ett och ett pH från pH 12,5 till 10,5
- Cement i vilket både alkalimetaller och portlandit har lakats ut och pH buffras av CSH-gelen med en kalcium/kisel- kvot i det lägre intervallet under 1,0 och ett pH under pH 10,5

SKB har, baserat på experimentella observationer och expertbedömningar, utvecklat K_d -databaser för vart och ett av dessa degraderingstillstånd. Även om flertalet K_d -värden är opåverkade eller likartade som funktion av degraderingsförloppet medför förändringar i pH-förhållanden och mineralogiskt utveckling att K_d -både kan öka och minska som funktion av tiden. I vissa fall har enbart ytterlighetsvärdena i sannolikhetsfördelningarna justerats för att beakta att osäkerheternas betydelse kan variera till följd av cement-omvandlingar och kemisk utveckling. Vid radionuklidtransportberäkningarna har sedan det förväntade degraderingsförloppet för olika försvarsdelar kopplats samman med dessa K_d -databaser. Tidsförloppet beror bland annat på hur stora mängder cement som används och på dess geometriska fördelning i olika försvarsdelar.

Sorption kan ske på olika mineralfaser i cement och variera beroende på de radioaktiva ämnenas kemiska egenskaper. SKB förutsätter att CSH-faser med en låg grad av kristallinitet och en stor specifik yta medverkar i störst utsträckning till cementens sorptionsegenskaper. CSH-fasernas kemiska och fysikaliska egenskaper förändras dock gradvis i slutförvarsmiljön där framförallt kvoten mellan kalcium och kisel gradvis minskar och graden av kristallinitet kan förutsättas att öka. Detta kan både gynna och missgynna sorptionsprocesser vilket avspeglas i SKB:s sorptionsdatabas (SKB TR-14-10, tabeller 7.7-7.10). Det är bara i vissa fall helt klarlagt vilka specifika sorptionsmekanismer som är verksamma men generellt är det för denna typ av faser frågan om ytkomplexering och jonbytesprocesser med kalcium. Andra mineral i cement som har betydelse i sammanhanget är exempelvis aluminiumsulfater som ettringit och monosulfat repsektive hydrogranat och hydrotalkit. Den förstnämnda typen av mineraler har stor betydelse för sorption av vissa viktiga anjoner via jonbytesprocesser med sulfat. Portlandit, och brucit kan vara

betydande komponenter i cement men sorption på dessa mineral bedöms ha mindre betydelse. Ballastmaterial kan ha betydelse för radioaktiva ämnen som sorberar via jonbytesreaktioner och kalcit kan ha betydelse för retention av oorganiskt kol-14 som deltar i isotopbytesreaktioner.

Närvaron av komplexbildare kan ha en stor påverkan på radioaktiva ämnens sorptionsförmåga eftersom komplexbildningen i vattenlösning konkurrerar med sorption på mineralytor. De komplexbildare som SKB har identifierat som betydelsefulla inkluderar komplexbildare som har använts som dekontamineringskemikalier så som hydroxykarboxylsyror och polyamin-karboxylsyror samt i viss utsträckning vissa komponenter i cementtillsatser. Förutom de komplexbildare som finns inledningsvis i avfallet kan komplexbildare bildas som ett resultat av degradering av cellulosa och möjligen degradering av polyakrylonitril som används som filterhjälpmedel. En särskilt viktig komplexbildare är α -isosackarinsyra (ISA) eftersom den skulle kunna förekomma i ganska höga koncentrationer i slutförvaret beroende på den ursprungligen relativt stora mängden cellulosa i avfallet. SKB har sammanställt information om vilka koncentrationer av komplexbildare som förekommer i slutförvarmiljön eller som maximalt kan bildas under förvarets långsiktiga utveckling (Keith-Roach m.fl., 2014). En mer utförlig beskrivning och bedömning av frågor kopplade till de organiska kemiska ämnenas påverkan återfinns i avsnitt 6.2 i denna granskningsrapport.

Generellt domineras kemiska betingelser i cementmaterialen under relevanta tidskalor av buffringsreaktioner snarare än växelverkan med det omgivande grundvattnets kemiska utveckling. SKB konstaterar dock att höga salthalter i omgivande grundvatten skulle kunna ha en stor påverkan på porvattensammansättningen och skulle kunna ha stor betydelse för ett fåtal radioaktiva ämnen. Mest känslig anses sorption av strontium vara, men för salthalter upp till de för havsvatten beräknas effekten begränsas till en faktor två, vilken inryms inom de försiktiga parameterintervall som har genomförts. De aktuella databaserna anses därför vara giltiga för porvatten med salthalter upp till och något över de för havsvatten.

Sorption på bentonit

SKB har tagit fram en databas med K_d -värden för sorption på bentonit för att tillämpas på utvärdering av den bentonitbarriär som omger Silon. SKB förlitar sig i detta fall i första hand på den ursprungliga systematiska sammanställningen och analysen av sorptionsdata som gjordes i samband med säkerhetsanalysen SR-Can för slutförvaret för använt kärnbränsle (SKB TR-04-18). Skillnader mellan bränsleförvaret slutförvaret för använt kärnbränsle och Silon i SFR avser bentonittyp och den något lägre densiteten i Silon, som dock endast i undantagsfall anses kunna ha någon betydelse. SSM har granskat SKB:s tillämpning av sorptionsdata för bentonitbufferten i samband med säkerhetsanalyserna SR-Can och SR-Site.

SKB:s systematiska analys av sorptionsdata har baserats på en sammanställning av litteraturdata för sorption på MX-80 -bentonit, samt etablerandet av skalnings- eller korrektionsfaktorer för att kompensera för skillnader mellan förväntade betingelser i förvarsmiljön och betingelserna under sorptionsförsöken (SKB TR-04-18). De faktorer som i första hand har tillämpas är korrektion för katjonbyteskapacitet (CEC), pH, samt specieringseffekter (förutom de som orsakas av pH). Metodiken innefattar även en systematisk utvärdering av osäkerhetsintervall för att, förutom att definiera ett centralvärde, även definiera undre och övre gränser för K_d -databasen. De osäkerhetsfaktorer som har identifierats och kvantifierats avser källdata, katjonbytesförmåga, pH, specieringseffekter, användning av ett analogt radioelement samt användning av batchsorptionförsök. Användning av analoga radioelement medför en ökning av

osäkerhetsintervallets storlek. Dessa faktorer kan inte härledas utan har uppskattats genom expertbedömningar. Det totala osäkerhetsintervallet uppskattas baserat på multiplikation av de ingående faktorerna. För tillämpningen i SR-PSU har SKB infört vissa korrigeringar och har dessutom utökat den ursprungliga databasen. SKB anser att den kemiska miljön i porvattnet inte är tillräckligt väldefinierad för att korrektion för specieringseffekter ska vara meningsfull vid användning av sorptionsdata från andra kemiskt analoga element. Istället används K_d -värden från analoga element direkt.

I motsats till sorptionsdata för cement och betong tillämpar SKB inga tidsberoenden för K_d -värden som påverkas av materialets gradvisa kemiska omvandlingar. Alkaliska kemiska betingelser kan uppstå i delar av bentoniten till följd av reaktion med porvatten från närliggande cement (SKB R-05-80) och detta ger upphov till mineralomvandlingar och kemiska betingelser med högre pH. SKB utesluter dock inte sådana omvandlingar men konstaterar att härledning av data för omvandlad bentonit inte kan anses vara motiverad särskilt med tanke på att en betydande andel opåverkad bentonit förväntas finnas kvar under mycket lång tid (SKB TR-15-08, SKB R-05-80). Man konstaterar istället att det är lättare att helt bortse från sorption i de påverkade delarna av bufferten, trots att den är mycket troligt att omvandlade mineral också är goda sorbenter.

Sorption på berg

För sorption på berg tillämpar SKB samma data som för det planerade slutförvaret för använt kärnbränsle vid Forsmark med motiveringen att SFR-förvaret har likartade geokemiska betingelser och samma granit/granodiorit-berggrund. Förutom sorption i berggrunden som omger slutförvaret kommer sorption på berg också ske i utrymmet mellan betongkonstruktioner och bergväggar som kommer att fyllas med makadam/krossat berg i samband med förslutning av förvaret.

Härledning av sorptionskoefficienter baseras i SR-PSU på samma metodik som i SR-Site men vissa skillnader i grundvattenkemisk sammansättning har dock viss betydelse såsom att salthalterna generellt sätt är lägre och karbonathalterna generellt sätt är högre. SKB beaktar också i SR-PSU inverkan av en plym med förhöjt pH i berget till följd av cementlakning, vilket leder till högre pH och något högre redoxpotential (se nedan).

En grundläggande fråga för kvantifiering av sorption på berg är de skilda betingelser under vilka sorptionsförsök genomförs i förhållande till förväntade betingelser i slutförvarsmiljön. Detta beror på att sorptionsförsök i allmänhet har genomförts med krossade (och siktade) bergprover medan intakt berg föreligger i fältsituationen. SKB har därför tillämpat korrektionsfaktorer (eller överföringsfaktorer) för att kompensera för dels mineralyta för partikelstorlekar, dels nybildad mineralyta från mekaniska skador i samband med krossningen för att erhålla sorptionsdata tillämplig i fältsituationen. För den första faktorn utgår SKB från en beräknad medelstorlek på partiklar vid siktning, och i det andra fallet skillnaden i BET-yta mellan borrhålskärnor och prov som använts vid sorptionsförsök.

Ytterligare två korrektionsfaktorer tillämpas för att experimentellt uppmätt sorption ska anses vara giltig i fältsituationen, nämligen korrektion för bergets katjonbyteskapacitet (CEC) samt korrektion för kemiska förhållanden. Korrektion för katjonbyteskapacitet är betydelsefull för nuklider som sorberar via jonbyte, medan korrektion för kemiska förhållanden avser båda sorptionsmekanismerna eftersom CEC-faktorn bara avser den fasta fasens inverkan. De två korrektionsfaktorerna som avser partikelstorlek och effekter av krossning ger tillsammans med korrektionsfaktorn för katjonbyteskapacitet, ett K_d -värde för platsspecifika bergförhållanden och för kemiska förhållanden som motsvarar de

vid sorptionsförsöken. Dessa tre korrektionsfaktorer anses vara normalfördelade och multiplicerbara.

För den sista korrektionsfaktorn för kemiska förhållanden är situationen något mera komplex eftersom kemiska förhållanden inte enbart varierar slumpmässigt eftersom det kan förekomma systematiska variationer längs hela strömbanan från förvaret upp till markytan. Denna korrektionsfaktor kan därför inte förutsättas vara normalfördelad. SKB tillämpar därför faltning av fördelningen för bergspecifika Kd-värden med fördelningen för kemisk påverkan. Givet en viss redoxpotential konstaterar SKB att för nuklider som sorberar genom ytkomplexering är pH och karbonathalt de viktigaste grundvattenkemiska parametrarna att beakta medan jonstyrka är viktigast för nuklider som sorberar genom ytkomplexering. För att kunna kompensera för dessa grundvattenkemiska parametrar är det givetvis nödvändigt att kunna förutsäga hur sorptionen påverkas antingen empiriskt genom experiment eller teoretiskt genom termodynamiska ytkomplexeringsmodeller eller jonbytesmodeller. SKB för detaljerade resonemang för hur korrektion för kemiska förhållanden bäst kan göras för varje specifik radionuklid, dels baserat på platsspecifika mätningar, dels baserat på litteratordata. SKB rapporterar sorptionsdata för berg för samtliga beaktade radionuklider i form av lognormalfördelningar kännetecknade av deras väntevärde och standardavvikelse. Fördelningarna reflekterar underliggande osäkerheter och rumslig variabilitet för grundvattenkemiska förhållanden. För vissa nuklider hanteras osäkerheter kopplade till förväntade redoxförhållanden genom att definiera olika dominerande oxidationstal som separata fall. Undre och övre gränser definieras av 2,5 %- och 97,5 %-percentilerna.

För att hantera det specifika förhållandet för SFR med kemisk påverkan från cementlakvatten har SKB förenklat antagit kemisk jämvikt med portlandit i cementen. Detta jämviktade vatten förutsattes sedan föreligga i olika blandningsproportioner med opåverkat grundvatten. I konsekvensberäkningarna beaktas sedan, förenklat, förhållanden med $\text{pH} > 10$ så som lakvattenpåverkat och $\text{pH} < 10$ så som opåverkat. Sorption på krossat berg i anslutning till försvarsdelarna betraktas av SKB som lakvattenpåverkat (SKB TR-14-10). SKB konstaterar dock samtidigt att osäkerheterna för extrapolation av sorptionsdata för den kemiska miljön för cementlakvatten är stora och att det inte finns någon fullständig förståelse för hur samtliga radioaktiva ämnen påverkas av den ganska betydande pH skillnaden.

Frågeställningar för sorption av specifika radioaktiva ämnen på cement

Med tanke på den begränsade mängden sorptionsdata som har tagits fram under de specifika betingelserna och som finns allmänt tillgängliga i vetenskapliga och tekniska publikationer har analogiresonemang och tillämpning av data för radioelement med likartade kemiska egenskaper en stor betydelse för motivering av sorptionsdatabasen. Detta beror inte minst på att det föreligger mycket stora skillnader mellan olika typer av radioaktiva ämnens relativa betydelse beroende på, bland annat, inventarium, halveringstider och radiotoxicitet. Detta innebär att behovet av att på ett detaljerat plan förstå ett visst radioaktivt ämnes sorptionsegenskaper varierar stort. Kd-värden inom olika grupper av element i periodiska systemet är starkt korrelerade vilket utgör en grund för att bedöma deras kemiska egenskaper. Av stor betydelse har elementens oxidationstal i en förväntad porvattensammansättning, men även elementens hydrolys i vattenlösning och koordinering med ligander i vattenlösning utgör en grund för bedömning av deras kemiska egenskaper och sorptionsbenägenhet. SKB utgår från följande grupper:

- Alkalimetaller och alkaliska jordartsmetaller som föreligger med oxidationstalen +I respektive +II samt som sorberar företrädesvis via jonbytesprocesser på mineralytor: Cs, Sr, Ba, Ca och Ra.
- Trevärda aktinider samt lantanider: Am, Cm, Pu(III), Ho, Eu
- Fyrvärda aktinider med egenskaper som påminner om torium: U(IV), Pu(IV), och Np(IV)
- Femvärda aktinider: Np(V), Pu(V)
- Sexvärda aktinider: U(VI) och Pu(VI)

Förutom dessa av SKB benämnda korrelerade grupper behöver en rad andra grundämnen hanteras från sorptionssynpunkt, varav de viktigaste är övergångsmetallerna, kalkogener, halogener och kol. Dessa har starkt varierande sorptionsegenskaper beroende på oxidationstal och andra kemiska egenskaper, vilka i sin tur beror på elektronstruktur och placeringen i det periodiska systemet. SKB sammanfattar sin analys av dessa radioaktiva ämnen i SKB TR-14-10 (avsnitt 7.6). Denna analys baseras på tidigare sammanställningar av sorptionsdata av bl.a. Wang m.fl. (2009), och Ochs m.fl. (2011).

I den första gruppen, alkalimetaller och alkaliska jordartsmetaller, konstaterar SKB att det saknas data för barium och man tillämpar därför för sorption på cementdata framtagen för Sr. Elementet är förknippat med de lägsta Kd-värdena i gruppen. Sorption av radium har befunnits vara likartad av jonbytestyp och därmed snabb och reversibel. Den förväntas öka med minskande pH men eftersom experimentella belägg saknas tillämpas värdena för pH 12. Mekanismen har antagits involvera främst CSH-faser, vilket kan innebära förbättrad sorption med ökande urlakning av konkurrerande kalciumjoner. Sorption av radioaktivt kalcium har uppskattats baserat på isotoputbyte med stabilt kalcium i cement. Sorption av radium förväntas ske som ett resultat av jonbyte med kalcium.

Aktinider i SFR-avfallet kommer från rening av reaktorvatten i vilket spridning från skadat bränsle har förekommit. Sorption av trevärda aktinider förväntas ha likvärdigt goda sorptionsegenskaper som lantanider som europium, samarium och holmium. För bl.a. americium och det från sorptionssynpunkt analoga elementet europium finns ett flertal studier som visar på mycket goda sorptionsegenskaper som snarare stärks än försvagas med cementens urlakning av portlandit. Aktinium liksom curium tillhör även gruppen som föreligger med oxidationstalet +III i vattenlösning och i avsaknad av experimentell information tillämpas analogin med europium respektive americium.

De fyrvärda aktiniderna antas ha analoga egenskaper med det icke redoxkänsliga torium(+IV) som har studerats ingående. Ett flertal experimentella studier med plutonium med förväntat oxidationstal(+IV) visar på goda sorptionsegenskaper som överensstämmer väl med toriums, utom möjligen för sorption av plutonium i färsk cement som är något lägre än för torium. Experimenten tyder dessutom på att sorption företrädesvis avser CSH-faser och att cementens degraderingstillstånd i övrigt har liten betydelse. Den största felkällan för plutonium avser förmodligen osäkerheter kopplat till kontroll av redox-tillstånd under experimenten. För neptunium (IV) finns ett fåtal experimentella studier, men även här råder betydande osäkerhet kring det faktiska redox-tillståndet under experimenten. Tillgängliga resultat antyder dock sorptionsegenskaper som påminner om Pu(IV) under reducerande betingelser. För uran har sorptionsexperiment i huvudsak utförts för oxiderande förhållanden med U(VI) och för U(IV) tillämpas i avvaktan på ny experimentell data för sorption på cement därför analogin med Th(IV).

Beträffande femvärda Pu(V) råder stor osäkerhet om huruvida detta oxidationstal kan verifieras under experimentella betingelser och om de i själva verket inte är mera relevantt att enbart förlita sig på Pu(IV) för reducerande kemiska betingelser och Pu(VI) för oxiderande betingelser. Det är dock möjligt att Pu(V) har dominerat under sorptions-experiment utförda i frånvaro av syre men utan övrig redox-kontroll. SKB föreslår att Pu(V) kan betraktas som analog med Np(V). Np(V), som föreligger under oxiderande förhållanden och möjligtvis vid mindre syrekontamination, förväntas ha något sämre sorptionsegenskaper än Np(IV). Även om det finns visst belegg för att sorption av Np(V) är likvärdig med Np(IV) anses på grund av den bristande mängden experimentella data att betydligt mera konservativa angreppssätt är motiverade (Wang m.fl., 2009). SKB föreslår att analogi med sorption av tvåvärda metalljoner bör tillämpas. Detta bedömer SKB dock vara ett mycket försiktigt angreppssätt som bör kunna justeras efter tillgång till experimentella data framtagna under välkontrollerade redox-betingelser.

För de sexvärda aktiniderna U(VI) och Pu(VI) som är representativa för oxiderande betingelser uppnås mycket goda sorptionsegenskaper. Eftersom flertalet experimentella studier kring sorption av uran på cementfaser har genomförts under oxiderande betingelser finns relativt god tillgång på data i detta fall. Sorption verkar snarare öka än minska som en funktion av cementens degraderingsförlopp, vilket möjligen kan förklaras med att en minskad tillgång på kalcium innebär en minskad konkurrens om sorptionsites på CSH-gelen (Wang m.fl., 2009). Pu(VI) bedöms av Wang m.fl. (2009) vara mindre betydelsefull eftersom detta oxidationstal endast förväntas förekomma vid en kombination av oxiderande betingelser och låga pH vilket inte är relevant för ett SFR förvar.

Tenn förväntas föreligga i oxidationstalet +IV och har låg löslighet i cementmiljö. Dess starka sorption i cement är konsekvent med dess betydande hydrolys och affinitet för kalcium. Även om det finns en rimlig mängd experimentell data för relativt färsk cement som verifierar dessa egenskaper saknas kunskaper om detaljerade sorptionsmekanismer (Ochs m.fl., 2011). För mycket urlakad cement konstateras att relevant experimentell information saknas (Ochs m.fl., 2011), men SKB bedömer att sorptionen ändå inte bör påverkas särskilt mycket så länge CSH-faser finns närvarande och att den förväntade minskningen av pH bör ha en gynnsam effekt. Detta är konsekvent med data från sorption av torium(+IV) med liknande kemiska egenskaper. SKB reducerar dock den bästa uppskattningen av Kd med en faktor fem för att kompensera för avsaknaden av experimentell data. För bly med oxidationstalet +II blir sorption betydligt svagare men SKB räknar med att tillgänglig experimentell data är tillräckligt för att motivera att sorptionen inte försämras som funktion av cementens degraderingsfaser med tanke på minskande pH generellt bör ha en gynnsam effekt. Även kadmium förväntas ha ett likartat beteende men eftersom analogin med bly tillämpas fullt ut i avsaknad av relevanta experimentella data minskar SKB Kd-värdena med en faktor fem för att ta hänsyn till osäkerheterna.

Molybden-93 är en viktig radionuklid under de första 1000-talen år i SFR-förvarets långsiktiga utveckling. Den betydligt mera långlivade selenium-79 är också betydelsefull men bidrar i mindre utsträckning till slutförvarets långsiktiga risk. I förvarsmiljön förväntas molybden förekomma med oxidationstalet +VI som molybdatjoner (MoO_4^{2-}) och koncentrationer kan vara löslighetsbegränsade som powelit ($\text{CaMoO}_4(\text{s})$). Vid koncentrationer under löslighetsgränsen är det dock sannolikt frågan om en relativt svag retention tack vare jonbytesprocesser (Ochs m.fl., 2011). Eftersom det finns mycket begränsat med data för retention av molybdat i cement tillämpas analogi med den likartade selenatjonen (SeO_4^{2-}). För båda jonerna innefattar retentionsmekanismen jonbyte med sulfat i fasta faser i cementen. SKB tillämpar därför konservativt $K_d = 0$ för molybdat

och selenat för den sista fasen av cementmaterialets utveckling då det dominerade sulfatmineralet ettringit förväntas vara helt urlakad. Selen har i övrigt en något mera komplex speciering med beaktande av den intermediära selenitjonen (SeO_3^{2-}). Selenat sorberar på cementfaser även i avsaknad av sulfatmineral fast svagare, medan sorption av selenit är mer oberoende av sulfatmineral och innefattar därför sannolikt en mindre specifik mekanism (Ochs m.fl., 2011). För den mest reducerade formen $\text{Se}(-\text{II})$ saknas data och SKB tillämpar därmed $K_d = 0$, även lösligheten för selenid är mycket låg i aktuell försvarsmiljö. Bildning av selenid och förväntas vara kinetisk begränsad och mycket långsam. För polonium utnyttjar SKB analogin med selenit, men i avsaknad av experimentella data minskar K_d -värdet med en storleksordning.

Radioaktiva nickelisotoper (Ni-59, Ni-63) i metalldelar är betydelsefulla för SFR. Retardationsegenskaper i olika typer av cementfaser har befunnits vara goda på basis ett flertal omfattande experimentella studier. En slutsats är dock att retardation av nickel sannolikt inte kommer att vara en renodlad sorptionsprocess utan att löslighetsgränser och medfällning med fasta lösningar sannolikt är viktigare under förväntade förhållanden. Cementfaser innehåller nickelsubstituerade hydroxider som är löslighetsbegränsade och betydelsefulla för retardation av nickel (Wang m.fl. 2009). SKB anser att mekanismen främst är isotoputspädning med stabilt nickel i ursprungsmaterialet, vilket innebär att K_d -värden bör väljas med hänsyn till platsspecifik data. I avsaknad av sådana data minskar SKB K_d -värdena med en faktor två. För mycket urlakad cement kan dock dessa faser ha försvunnit men andra mindre dominerade retardationsmekanismer bör kvarstå även i sådana material. SKB förväntar sig ett ungefär analogt beteende för kobolt som för nickel, men i avsaknad av specifika data tillämpas försiktigtvis en reduktion med en faktor fem.

Teknetium-99 är exempel på en mycket långlivad nuklid som kan ge betydande dosbidrag i vissa fall. Grundämnet föreligger ursprungligen med oxidationstalet +VII i avfall, men i en reducerande slutförvarsmiljö förväntas +IV dominera. I sin reducerande form är lösligheten mycket låg runt 10^{-7} M till följd av bildning av hydroxidfaser. I oxiderande betingelser föreligger teknetium som perteknetatjonen (TcO_4^-), vilken tvärtom har mycket hög löslighet. Ett flertal sorptionsstudier har genomförts för reducerande betingelser och Tc(IV) och resultaten från dessa visar på betydande sorption på CSH-faser även vid mycket låga koncentrationer (Wang m.fl. 2009). Det är en mycket stor skillnad i sorptionsförmåga beroende på aktuellt oxidationstillstånd på minst tre storleksordningar. En svag sorption av perteknetatjonen TcO_4^- förväntas förekomma under oxiderande betingelser i huvudsak som en jonbytesprocess med sulfatmineral som ettringit i analogi med MoO_4^{2-} , and SeO_3^{2-} . Detta bekräftas av att denna sorptionsförmåga minskar vid höga sulfathalter. Inga betydande skillnader förväntas mellan cementens olika degraderingstillstånd.

Niob-94 förekommer i metalldelar i kärnkraftverken i vilka niob har använts som legeringsmetall. Metallen förväntas förekomma med oxidationstalet +V i cementmiljö och den mycket låga lösligheten styrs av den femvärda oxiden eller möjligen av kalciumniobat (Wang m.fl., 2009). Ett fåtal experimentella studier visar på stark sorption på CSH-faser som är relativt oberoende av pH-utveckling och cementens degraderingstillstånd. Förståelsen av mekanismer är begränsad men experimentella data anses motivera en konstant sorption med undantag för den sista fasen för vilken SKB föreslår en sänkning av K_d med en storleksordning.

Zirkonium har sin betydelse som korrosionsresistent legeringsmetall vid bränsleinkapsling. Kemiska egenskaper är relativt enkla eftersom metallen enbart föreligger som Zr(IV) i vattenlösning. Kristallina former av hydroxiden $\text{Zr}(\text{OH})_4$ har mycket låga lösligheter runt 10^{-8} M (Ochs m.fl. 2008). Trots att det bara finns någon enstaka



experimentell studie kring sorption kan konstateras att sorptionen är stark för degraderad cement. För färsk cement finns inga experimentella data och SKB har därför reducerat den bästa uppskattningen med en faktor två.

Förekomst av radioaktivt palladium i avfall avser extremt långlivad Pd-107. Metaller förekommer i vattenlösning enbart som Pd(II) och lösligheten minskar med minskande pH ner till pH 10. I avsaknad av relevanta sorptionsdata föreslås användning av främst Pb(II) men även Ni(II) som analoga element på basis av likartade hydrolysegenskaper för tvåvärda metalljoner. Dessa indikerar en gradvis ökande sorption men minskande pH enligt det förväntade degraderingsförloppet för cementfaserna. SKB accepterar användning av bly som analogt element för palladium men minskar den undre gränsen för Kd med en storleksordning.

Protaktinium förväntas föreligga som antingen Pa(IV) eller Pa(V) i cementmiljö men mycket lite termodynamisk data finns tillgänglig för detta element (Wang m.fl. 2009). Hydrolysegenskaperna förväntas i grova drag motsvara de för andra aktinider. För den fyrvärda metalljonen accepterar SKB analogin med Th(IV) och tillämpar samma Kd-värden. För den femvärda jonen och oxiderande förhållanden finns inga data tillgängliga och analogin med Np(V) anses vara osäker. SKB godtar dock analysen i Wang m.fl. (2009) som pekar på litteraturdata för sorption av Pa på geologiska material, vilket möjligen kan accepteras eftersom sorptionen förefaller vara relativt pH oberoende.

Den silverisotop som kan ha betydelse för SFR är Ag-108m som är en aktiveringsprodukt från silver som legeringsmetall i styrstavar. Silver förekommer i vattenlösning med oxidationstalet +I. De kemiska egenskaperna påminner om alkalimetallerna. Under vissa sorptionsexperiment med cement har betydande retention erhållits (Ochs m.fl., 2011), men det kan inte uteslutas att dessa resultat beror på utfällningsreaktioner snarare än sorption och de kan därför inte anses vara tillförlitliga. För cementmaterial innehållande kalcit kan dock viss sorption motiveras, och SKB definierar därför viss sorption med ett Kd-värde för den övre gränsen, men bortser i övrigt från sorption för silver ($K_d = 0$).

Klor är relevant med tanke på förekomst av Cl-36 i avfallet. Förekomst i relevant slutförvarsmiljö avser kloridjonen Cl(-I). Experimentella data visar på en förväntat svag sorption på cement med en ofullständigt känd mekanism. Den viktigaste faktorn är att sorptionen är väsentligt svagare vid höga kloridhalter. Vid mycket höga kloridhalter kan en retentions-effekt uppnås via bildning av löslighetsbegränsande faser innehållande klorid så som Friedels salt, men det har visat sig svårt att fastställa en definitiv löslighetsgräns (Wang m.fl., 2009). Sorption vid lägre koncentrationer kan avse isotoputspädning och jonbyte eller sorption på hydrotalkit eller CSH-faser. Sorptionen förväntas variera som funktion av cementens degraderingstillstånd på så sätt att en viss ökning sker initialt tills pH sjunkit till ca pH 12,5 och sorptionen sjunker därefter tillbaka något under den fas som pH minskar ner mot pH 10. Detta kan förklaras med att Z-potentialen för cementfaserna har ett maximum mitt i det aktuella pH intervallet (Wang m.fl., 2009). SKB konstaterar att pH-beroendet är marginellt och att man i SFR-fallet måste utgå från den väsentligt svagare sorptionen vid förhållandevis höga kloridhalter.

Jod har i fallet SFR något större betydelse än klor i och med förekomst av den extremt långlivade fissionsprodukten I-129. En skillnad i jämförelse med klor är att jod kan förekomma som oxidjonen jodat (IO_3^-) under oxiderande betingelser. Detta har möjligen viss betydelse eftersom jodatjonen sannolikt sorberar något starkare än jodid (I^-) (Wang m.fl. 2009). Beträffande sorption av jod på cementfaser finns väsentligt mer experimentella data i jämförelse med klor, men fastställda Kd-värden är jämförbara. En viss konkurrens om sorptionssites mellan radioaktivt jod och radioaktivt klor kan förekomma,

vilket innebär att även sorption av jod kan förväntas vara lägre vid höga kloridhalter. Sorptionen förväntas vara starkare på monosulfat och ettringit än på CSH-faser. SKB tillämpar samma Kd-värden för jod som för klor med undantag av den undre gränsen för vilken $K_d = 0$ tillämpas.

Kol-14 föreligger i SFR-avfallet antingen i organisk form eller i oorganisk form som karbonat. Den begränsade andelen som föreligger i organisk form i avfallet kan förväntas att gradvis omvandlas till dess oorganiska form. Eftersom dessa degraderingsprocesser kan vara mycket långsamma anser SKB att den organiska andelen är beständig i slutförvarsmiljön. Kol som föreligger i organisk form kan möjligen sorbera mycket svagt, men SKB tillämpar i samtliga fall $K_d = 0$. För oorganiskt kol förväntas den dominerade retardationsmekanismen vara isotoputbyte med stabilt kol i form av karbonat som föreligger i mineralet kalcit. Ett effektivt Kd-värde kan härledas direkt ur den relativa mängden karbonat i fastfasen och vattenfasen, men det behöver beaktas att bara en viss andel av kalciten är tillgänglig för reaktion. Tillgänglighetsandelen har i den vetenskapliga litteraturen varierat från ca 10 % till mindre än 1 % (Wang m.fl., 2009). Vid låga karbonathalter under mättnadsgränsen för kalcit och i frånvaro av kalcit erhålls dock även en viss retention av oorganiskt kol-14. Detta förklaras vanligen med sorption via elektrostatiske interaktioner med CSH-faser eller portlandit. SKB har vid valet av den undre gränsen för Kd-värden valt att enbart beakta experimentella data som har baserats på sorption snarare än isotoputbyte, eftersom den förstnämnda processen anses vara mera förutsägbar. För den bästa uppskattningen och den övre gränsen tillgodoräknas dock isotoputbytet med beaktande av osäkerheter i förhållandet mellan karbonatkoncentrationer i fastfas och i vattenfas. SKB beaktar även generella trender för cementens degraderingsförlopp genom att beakta att förhållandet mellan karbonat i vatten- och fast fas utvecklas, vilket symboliseras med en tidig fas med gradvis förbättrad retention följt av en senare långsiktig fas med gradvis försämrade retention.

Frågeställningar för sorption av specifika radioaktiva ämnen på bentonit och berg
Det kan konstateras att den nuklidspecifika analysen av sorption på bentonit och berg som har använts i SR-PSU till stor del har baserats på resultat som presenterats i samband med säkerhetsanalyserna SR-Can respektive SR-Site för det planerade slutförvaret för använt kärnbränsle. SKB har dock kompletterat med ytterligare information kring vissa specifika radionuklider. Den dominerande generella skillnaden är att pH förväntas vara något lägre i jämförelse med alkaliska förhållanden i den ovanstående diskussionen om sorption på cementmaterial. Skillnader i pH mellan de olika materialen förväntas minska som funktion av avståndet från betongbarriärerna och som funktion av tiden. I de flesta fall uppvisar de flesta radioaktiva ämnen liknande sorptionsegenskaper oavsett om det är frågan om cement, bentonit eller berg. Av detta skäl upprepas inte den ovanstående diskussionen kring samtliga grupper av radioaktiva ämnen för cement för sorptionen på bentonit och på berg. Några specifika frågeställningar som SKB särskilt tar upp i datarapporten för SR-PSU diskuteras dock nedan, vilket främst avser i vilken mån sorption på berg skulle påverkas av något högre pH som ett resultat av spridningen av cementlakvatten i förvarets närområde.

För bentonitbarriären har SKB också utökat den tidigare databasen med data för Ba, Ca, Po, Ac och Co som inte fanns med i den ursprungliga studien (SKB TR-04-18). I samtliga dessa fall konstaterar SKB att inga tillförlitliga källor finns för Kd-värden för sorption på bentonit och analogiresonemang tillämpas därför. Barium och kalcium anses vara analoga med strontium och radium. Polonium anses vara analog med selen(IV) med en tendens till betydligt starkare sorption. Eftersom aktinium i vattenlösning föreligger med oxidationsstalet +III tillämpar SKB med ett utökat osäkerhetsintervall samma data som för trevärdiga aktinider. För kobolt som enbart förväntas förekomma med oxidationsstalet +II konstaterar

SKB ett analogt kemiskt beteende med nickel. De begränsade mätningar som finns tyder på motsvarande eller bättre sorptionsegenskaper för kobolt och SKB anser därför det är motiverat att använda samma sorptionsdata som för nickel. För oorganiskt kol-14 tillämpar SKB liksom för cementmaterialen antagandet att det föreligger ett isotoputbyte med inaktivt karbonat främst med kalcit i dynamisk jämvikt med en vattenlösning. På så vis erhålls en liknande retentionsmekanism som kan tillgodoräknas och beräknas med utgångspunkt från mängden kalcit i bufferten och en förväntad karbonathalt i bentonitens porvatten. För organiskt kol kan inga sådana isotoputbyten motiveras i bentonit och SKB betraktar därför organiskt kol-14 som icke-sorberande.

För bergbarriären saknas i tillräcklig utsträckning fältmätningar som visar på tillgången på kalcit som en tillgänglig fas för isotoputbyte och av detta skäl tillämpar SKB $K_d = 0$ även för oorganiskt kol-14. Molybden förväntas även förekomma som molybdatjoner (MoO_4^{2-}) även i berget men i avsaknad av sulfatmineral tillgängliga för jonbytesprocesser som finns i cementmatrisen tillämpar SKB $K_d = 0$. För neptunium förväntar sig SKB betydande skillnader mellan den fyrvärda formen och den femvärda formen, där den fyrvärda formen har visat sig vara stabil under kemiskt reducerande betingelser. Storleken på skillnaden är dock något oklar men är möjligtvis flera tiopotenser för grundvatten påverkat av cementlakvatten. SKB tillämpar sorptionsdata för den fyrvärda formen för berget och sorptionsdata för den femvärda formen för återfyllnaden av krossat berg som i högre grad förväntas vara påverkad av cementlakvatten. För niob finns experimentella data som tyder på en väsentligt starkare sorption vid höga pH men då den teoretiska förståelsen är något bristfällig har SKB pessimistiskt valt sorptionsdata som uppmätts vid neutrala pH. För plutonium ger förändringar i pH en påverkan på vilket oxidationstal som dominerar i vattenlösning. SKB antar konservativt en tiopotens lägre K_d -värde för plutonium för att beakta förekomst av Pu(IV) snarare än Pu(III) vid högre pH-värden. För polonium diskuterar SKB osäkerheter i specieringen och drar slutsatsen att eftersom den icke-sorberande Po(-II) inte kan uteslutas bör $K_d = 0$ tillämpas. I slutändan konstaterar dock SKB att med tanke på den korta halveringstiden för den dominerade nukliden Po-210 kan radioaktiv jämvikt med modernukliden Pb-210 tillämpas. För silver (Ag-108m) tillämpar SKB $K_d = 0$ med beaktande av avsaknaden om jonbytesprocesser för Ag(I) och den starka komplexbildningen med kloridjoner. För teknetium konstaterar SKB att man måste förutsätta förekomst av icke-sorberande Tc(VII) i form av perteknetatjoner (TcO_4^-) för både cementpåverkat och glaciale grundvatten. För stabilt reducerande grundvatten bör dock viss sorption kunna tillgodoräknas då teknetium förväntas föreligga i sin mer sorptionsbenägna form som Tc(IV). SKB tillämpar ett liknande resonemang för uran där sorptionsdata för fyrvärd uran (U(IV)) används för reducerande grundvatten, medan ett betydligt lägre K_d tillämpas för sexvärd uran (U(VI)) i glaciale och cementpåverkat grundvatten. Slutligen för zirkonium finns experimentella data som tyder på att Zr(IV) sorberar betydligt starkare i cementpåverkat grundvatten vid högre pH, men eftersom det saknas tillräcklig teoretisk förståelse använder SKB samma K_d som för opåverkat grundvatten.

SSM:s bedömning

SSM konstaterar att sorptionsegenskaper för de från dossynpunkt viktigaste radioaktiva ämnena är betydelsefull för SFR:s långsiktiga strålsäkerhet och omgivningspåverkan. De utgör ofta bland de mest betydelsefulla parametrarna i dosberäkningarna, vilket berättigar långtgående analyser och motiveringar av såväl den vetenskapliga bakgrunden som betydelsen av identifierade osäkerheter. Retardation av radionuklider är en betydelsefull säkerhetsfunktion i sammanhanget SFR. Samtidigt finns många radioaktiva ämnen i avfallet som är förhållandevis kortlivade, och/eller finns i mycket små mängder. SSM anser därför att det är rimligt och resursmässigt nödvändigt att använda den potentiella

relativa betydelsen av olika radioaktiva ämnen som underlag vid bedömning av data-
underlagets omfattning och kvalitet.

Sorptionskoefficienter eller K_d -värden är konditionella parametrar som bara är strikt tillämpliga för ett visst radioaktivt ämne, en viss kemisk miljö och en viss typ av fast fas av given sammansättning. Sorptionsexperiment är också förknippade med olika typer av mätosäkerheter. SSM inser därför att det inte är möjligt att ta fram sorptionsdata som är strikt tillämpliga för samtliga förhållanden och som utan betydande osäkerheter ger en fullt ut realistisk bild av sorptionsprocesser i slutförvarsmiljön. Hantering av osäkerheter och användning av väl avvägda konservativa antaganden blir därmed viktiga moment i säkerhetsanalysens hantering av sorption. SKB tillämpar i dessa sammanhang konservativa korrektionsfaktorer samt förhållandevis breda parameterintervall för K_d -värden inom probabilistiska dosberäkningar som täcker in intervall så stora som en eller flera tiopotenser. SSM anser att dessa metoder är rimliga, men vill påtala risken att dessa tämligen grova angreppssätt överutnyttjas. De kan aldrig fullt ut ersätta tillgång till mera representativa data. En ojämn tillämpning av konservatism kan ge felaktig bild av olika nuklidens säkerhetsbetydelse. Vanlig förekomst av breda parameterintervall medför en lägre tilltro till säkerhetsanalysens resultat, sämre precision för dos/risk beräkningar samt en potential för riskutspädning.

I perspektivet bedömning av SFR förvarens långsiktiga säkerhet och strålskydd har forskning och utredningar kring sorption av radionuklider pågått i flera årtionden både nationellt inom SKB:s program och även internationellt eftersom cementförvar för kortlivat radioaktivt avfall förekommer i flera andra länder. SSM anser att SKB:s metodik för att kvantifiera och korrigera sorptionsdata för slutförvarsbetingelser har utvecklats i samband med SR-PSU liksom i samband med tidigare säkerhetsanalyser för ett kärnbränsleförvar. Den kan anses godtagbar och rimligt tillförlitlig. SSM konstaterar samtidigt att SKB i SR-PSU beträffande sorption på cementmaterial och val av sorptionsparametrar har fäst mycket stor vikt vid kunskapssammanställningar inom det belgiska slutförvarsprogrammet av Wang m.fl. (2009) och Ochs m.fl. (2011). Även om SSM bedömer att dessa kunskapssammanställningar och underlag för parameterval har motiverats och dokumenterats på ett utförligt och trovärdigt sätt, är det på sikt angeläget att dessa kunskapssammanställningar matchas av egna insatser inom SKB:s program. Detta för att upprätthålla tillräcklig kompetens inom SKB:s organisation och skapa förutsättningar att på ett lämpligt sätt integrera nytillkommen kunskap som publiceras i den vetenskapliga litteraturen. Det bör också noteras att otillräcklig informationsmängd för parameterbestämning för ett antal relevanta radioaktiva ämnen och slutförvarsmiljöer har påtalats i ovanstående kunskapssammanställningar.

Det mest försvarbara underlaget för bedömning av sorptionens omfattning utgör data från sorptionsförsök med aktuella radioaktiva ämnen och fasta faser under kemiska förhållanden som så långt som möjligt överensstämmer med förvarsmiljön. För cement finns ett flertal experimentella studier som har simulerat och experimentellt verifierat sorption på degraderat material, vilket är betydelsefullt för att kunna täcka in erforderliga tidsförlopp i säkerhetsanalysen. Detta har dock inte varit praktiskt och resursmässigt möjligt att genomgående ta fram realistiska experimentella underlag för samtliga radioaktiva ämnen och relevanta material. Av detta skäl måste sorptionsdata delvis baseras på expertbedömningar och även på resultat från experimentella studier med andra radioaktiva ämnen med analoga kemiska egenskaper och sorptionsförsök med likartade material. Metoden att minska K_d med en faktor två, en faktor fem eller en storleksordning för att beakta en specifik osäkerhet är enkel att tillämpa men har utan utförliga motiveringar visat sig vara svårbedömd vid SSM:s granskning.

SKB:s argumentation kring val av K_d -värden anses dock av myndigheten vara överlag välmotiverad mot bakgrund av tydligt försiktiga parameterintervall i relation till data från relevanta experiment. SSM konstaterar att analogiresonemang i generella termer är acceptabla och att de många fall utgör en tillräcklig grund för bedömning av sorptionsegenskaper särskilt hos mindre betydelsefulla radionuklider som inte medför betydelsefulla dosbidrag. SSM håller dock med den oberoende experten Bertetti om att det finns vissa problematiska inslag kring kunskapen om sorption av betydelsefulla radioaktiva ämnen så som plutonium och teknetium (SSM 2017:33). SKB:s behov av att i vissa fall förlita sig på mycket konservativa parameterintervall kan åtminstone i viss utsträckning också försvåra bedömningen av förvarets långsiktiga skyddsförmåga. SSM bedömer mot bakgrund av detta att det finns ett fortsatt behov av att åtgärda vissa kunskapsbrister kring sorption av radionuklider på främst cement och betong men även i viss utsträckning bentonit och berg (krossat och intakt berg) av betydelse för utvärdering av förvarets långsiktiga säkerhet och strålskydd. Tidigare problem som beror på avsaknad eller begränsad redox-kontroll under experiment behöver i så fall åtgärdas. Även om SKB för sorptionen på intakt berg har tillämpats på ett mera konservativt angreppssätt än för övriga barriärer bedömer SSM att ytterligare forskning och utredningar kan medföra underlag för en realistisk och mera trovärdig representation av denna barriärfunktion. En fortsatt forskning i SKB:s regi för att ta fram ytterligare kunskap kring sorptionsprocesser kan säkerställa tillgång till kapacitet för att hantera nya nuklidspecifika frågor inom säkerhetsanalysen om sådana behov skulle uppstå.

SSM anser att SKB bör bedriva kompletterande experimentell verksamhet för att kvantifiera sorptionsprocesser för främst nuklider som har störst betydelse i dos/risk beräkningar, men möjligen även nuklider för vilka sorptionsdata helt saknas så som palladium. Parameterkänslighetsstudier för relevanta scenarier och beräkningsfall bör också genomföras för att förbättra förutsättningarna för att resultat från nya försök har förutsättningar att på ett signifikant sätt vidareutveckla och underbygga säkerhetsanalysen. Förutom renodlad experimentell kvantifiering av sorptionsförmåga är det långsiktigt viktigt att det vetenskapliga underlaget vidareutvecklas och uppdateras. SSM anser därför att SKB fortsättningsvis behöver bevaka den vetenskapliga litteraturen och ta initiativ till viss fortsatt forskning inom området. Karaktärisering och kvantifiering av ytkomplexeringsreaktioner bidrar exempelvis till förutsättningar för att underbygga hur sorptionsförmåga påverkas av långsiktig geokemisk utveckling.

Retentionsmekanismer för flera viktiga nuklider är komplexa och relativt outforskade. Det är inte alltid frågan om renodlade sorptionsprocesser som ytkomplexering och jonbytesprocesser på dominerade faser, utan retention som är beroende av specifika mineral i cementmatrisen och isotopbytesreaktioner med stabila nuklider. Fortsatt forskning bör syfta till förbättrad förståelse för såväl kinetik för redoxprocesser för bedömning av radioaktiva ämnens oxidationstal som kinetik för mineralomvandlingsreaktioner som påverkar sorption. Detta gäller exempelvis Tc(VII) vars reduktion till Tc(IV) möjligen är långsam och inte fullbordas. Förståelsen av radioaktiva ämnen som förekommer som oxyanjoner som molybdat, vars retention beror på förekomst av sulfatmineral är också en viktig fråga. Denna förekomst och denna typ av interaktion behöver på ett tillförlitligt sätt kunna påvisas för långa tidsskalor. En annan fråga som påverkar dosberäkningar är verifikation av retention av oorganiskt kol-14 genom isotopbyte med stabilt kol som karbonat i kalcitmineral. Stabilitet och retardation av kol-14 i olika former av organiskt kol är oklara och är ett tema för pågående forskning (Tits m.fl., 2017). Även om tillfredsställande information finns för definition av konservativa K_d -värden finns anledningar för

ytterligare forskning. Ytterligare mekanistisk förståelse bedöms förbättra förutsättningarna för extrapolationer, korrekationer och etablerandet av mera avgränsade osäkerhetsintervall för representation av sorptionsprocesser i dosberäkningar.

SSM konstaterar sammanfattningsvis att trots de utvecklingsbehov som har identifierats ovan bedöms SKB ha hanterat kvarvarande osäkerheter med konservativa antaganden genom att etablera osäkerhetsintervall och genom att sänka utvalda K_d -värden med faktorer som bör kompensera för kvarvarande kunskapsbrister. SSM anser också att ytterligare kvarvarande osäkerheter kring betydelsen av sorption har blivit belysta genom analysen av relevanta mindre sannolika scenarier och restsценarier (se kapitel 9). Hantering av sorptionsdataosäkerheter genom att formulera mindre sannolika scenarier är en rimlig hantering av det nuvarande kunskapsläget, men förfarandet skulle möjligen kunna ersättas genom ytterligare dataunderlag och mera rigorösa metoder att definiera och propagera numerisk databasosäkerhet.

Paul Bertetti (South West research institute, USA) har på SSM:s uppdrag granskat SKB:s underlag och motivering av val av K_d -värden för cement, bentonit och berg (SSM 2017:33). Bertetti konstaterar sammanfattningsvis att SKB:s metoder för val av K_d -värden är väletablerade och i grunden följer det mönster som har använts i tidigare säkerhetsanalyser. Metodiken med tillämpning av korrektionsfaktorer och överföringsfaktorer för att kompensera för det faktum att förhållanden vid sorptionsförsök inte helt överensstämmer med fältsituationen anses vara rimlig. Även om stora osäkerhetsintervall har konstaterats för vissa nuklider har SKB till stor del förlitat sig på pessimistiska parameterintervall med vissa radionuklider betraktade som icke-sorberande ($K_d = 0$) eller svagt sorberande. Dessa parameterintervall är i vissa fall realistiska men är i andra fall en följd av avsaknad av data eller bristande grundvetenskaplig förståelse kring de kemiska mekanismer som är involverade i en eventuell sorptionsprocess.

Beträffande hanteringen av de nuklidspecifika frågeställningarna, konstaterar Bertetti vidare att SKB:s motiveringar generellt har baserats på vetenskapliga experiment av hög kvalitet som redan har granskats av oberoende expertis. Mest problematisk anses vara tillämpning av analogiresonemang för viktiga element särskilt teknetium och plutonium. I båda fallen anses analogiresonemang baserade på sorptionsegenskaper för Th(IV) problematiska. I några fall bedöms SKB:s K_d -värden något för höga så som för Tc(IV), Pu(IV), Ac(III), även om problemet i de sistnämnda två fallen bara avser fördelningens övre gräns. Ytterligare nuklidspecifika frågor som särskilt uppmärksammas är behov av ytterligare förståelse mekanismer för sorption av oorganiskt kol-14 på cement och bentonit. Sorption av cesium-135 på bentonit via jonbytesreaktioner anses kunna påverkas negativt av långsiktiga bentonitombvandlingar, vilket således är en fråga som bör vara föremål för ytterligare studier. Kunskapsunderlag och parameterosäkerheter kopplade till sorption av de viktiga nukliderna Mo-93, Ni-59, Ni-63, I-129, Pa-231 kan förbättras respektive minskas, men SKB:s parameterintervall bedöms ändå vara välmotiverade på grundval av försiktigt valda K_d -värden.

Frågor som anses vara i grunden väl omhändertagna vid framtagandet av ett försvarbart tekniskt underlag som underbygger sorptionsdatabasen är:

- Tidsmässiga förändringar av grundvattenkemiska betingelser efter förslutning av SFR-förvaren som en följd av möjliga klimatförändringar och hydrogeologisk utveckling.
- Den utförliga modelleringen av långsiktiga kemiska och mineralogiska förändringar hos de tekniska barriärerna cement och bentonit.

- Modellering av redox-utveckling under säkerhetsanalysens tidsskala för både när- och fjärrråde.
- Beräkningar av koncentrationer av komplexbildare som kan påverka radionuklidernas sorptionsegenskaper.
- Tillämpning av sorptionsdata i konsekvensanalysberäkningar som utgångspunkt för att ytterligare prioritera och underbygga underlaget för val av K_d -värden.

Särskilda punkter som den externa experten tar upp för vilka svagheter har noterats som bör uppmärksammas i samband med fortsatt utvecklingsarbete är:

- Användningen av analogiresonemang även för potentiellt betydelsefulla radionuklider så som plutonium och teknetium. Även om dessa resonemang troligen leder till konservativa parameterintervall kan resultat från vissa ytterligare sorptionsexperiment användas för ett mera optimalt parameterintervall.
- Ytterligare sorptionsdata är även berättigade för vissa särskilt känsliga radionuklider i samband med dos/risk beräkningar för SFR så som Mo-93.
- I vissa fall bedöms de övre gränserna i fördelningar för K_d -värden behöva justeras eller motiveras bättre mot bakgrund av ny sorptionsdata som har tagits fram under senare år.
- Användning av log-triangelfördelningar kan mot bakgrund av slumpmässig provtagning resultera i medelvärden och medianvärden som på ett markant sätt avviker från förväntade värden. Användning av trunkerade log-normalfördelningar kan möjligen vara mera ändamålsenlig.
- En högre grad av tydlighet/spårbarhet kring hur korrektionsfaktorer för förekomst av komplexbildare har tillämpats i konsekvensanalysberäkningar efterlyses.
- Mindre betydelsefullt ur granskningssynpunkt men ändå värt att påpeka är att det finns vissa skäl att misstänka att K_d -värden för bergbarriären är överdrivet konservativa mot bakgrund av en mycket konservativ metod för att korrigera för reaktiva mineralytor i samband med sorption. Även bedömningen av sorption på den del av berget som är krossat och som används som återfyllnadsmaterial skulle underlättas av mera detaljerade beskrivningar av skalningsprocessen.
- Med tanke på att omvandlingsprocesser i bentonit orsakade av kontakten med cementlakvatten är på sikt är oundviklig krävs ytterligare uppmärksamhet kring frågan hur sorptionen påverkas av förväntade mineralomvandlingar.

6.7.2 Sorption och radioaktiva ämnens egenskaper under oxiderande förhållanden

SKB:s redovisning

SKB redovisar K_d värden för oxiderande förhållanden i slutförvarsmiljön för cementpasta, bentonit samt makadam/bergkross (SKB, 2015, tabell 7.3, 7.4, 7.5). Dessa data motsvarar det mest oxiderade tillståndet av redoxkänsliga nuklider som neptunium, protaktinium, selen, teknetium och uran, eller för plutonium oxidationstillståndet med lägst K_d -värden (SKB TR-14-10, tabell 7.6, 7.7, 8.6). För många redoxkänsliga nuklider medför en framtida övergång till oxiderande förhållanden avsevärt sämre retardationsegenskaper i cementmiljön. K_d -värden minskar med ungefär en tiopotens för sorption på cement och ändå mer för sorption på bentonit. Nuklider som då kommer föreligga med högre oxidationstal och som föreligger i negativ laddad anjonisk form växelverkar i mindre utsträckning med negativt laddade mineralytor i slutförvaret. Ett undantag är dock selen

som enligt bl.a. Ochs m.fl. (2011) i oxiderad form som anjonen selenat (SeO_4^{2-}) sorberas genom att ersätta sulfat i mineralet ettringit. För den reducerande formen selenid finns dock inga data. Med tanke på avsaknaden av belägg för en betydande sorption av selenid tillgodoser sig SKB inte denna process i sina konsekvensberäkningar.

K_d - värden för oxiderande betingelser tillämpas i restscenariot ändrade redoxförhållanden i SFR-1. SKB argumenterar för att de baserat på modellering av redoxutvecklingen med fokus på bl.a. korrosion av metaller och bildning av korrosionsprodukten magnetit kan visa att förhållanden under tänkbara omständigheter förblir reducerande (SKB TR-12-12). Scenariot ändrade redoxförhållanden definieras som ett restscenario eftersom det baserat på modelleringsstudier inte rimligen förväntas kunna inträffa. Enligt SKB:s beräkningar blir den högsta dosen för scenariot bara något högre än för huvudscenariot. Det är dock intressant att notera att toppdosen nås långt senare med betydande dosbidrag för redox-känsliga nuklider som Pu-239, och Tc-99 snarare än Mo-93 och C-14 som dominerar i huvudscenariot.

SSM:s bedömning

SSM konstaterar att SKB:s beräkningar visat på en endast liten effekt av uppkomst av oxiderande förhållanden i slutförvaret, vilket kan relateras till den begränsade mängden av redox-känsliga nuklider i SFR-1. Enligt SSM:s bedömning kan en uppkomst av oxiderande förhållanden inte helt uteslutas baserat på den analys som SKB låtit genomföra (SKB TR-12-12, se även Del III, avsnitt 6.2 och 6.6 i denna granskningsrapport). Detta förväntas dock inte ha någon avgörande betydelse med tanke på dels en relativt liten påverkan på beräknad dos/risk, dels att om sådana förhållanden skulle uppstå skulle det med all sannolikhet avse tider långt in i framtiden och tider långt efter det att icke-redoxkänsliga nuklider ger stora dosbidrag. Avsaknaden av en tidsmässig överlappning mellan bidragen från redoxkänsliga och icke-redoxkänsliga nuklider begränsar exempelvis påverkan på toppdoser. SKB:s hantering av frågan genom ett modifierat urval av sorptionsdata för nuklider med ett visst oxidationstal ger en rimlig förståelse för betydelsen av en övergång till oxiderande förhållanden i slutförvaret. Metoden ger dock en mycket förenklad bild av betydelsen av kemiska förändringar och variationer som med all sannolikhet kommer att uppkomma i slutförvarsmiljön. Det finns möjligheter att förfinas representationen av hur sorption påverkas av den föränderliga och varierande kemiska miljön i slutförvaret utöver definition av antingen oxiderande eller reducerande förhållanden samt tillämpningen av parameterintervall för K_d -värden i dosberäkningar.

6.7.3 Användning av sorptionsreduktionsfaktorer för beaktande av komplexbildare i slutförvarsmiljön

SKB:s redovisning

Komplexbildare i porvattnet i SFR kommer att medföra en reduktion av sorptionskapaciteten och därmed ett snabbare utflöde av radionuklider. SKB har för att uppfylla krav på långsiktig strålsäkerhet efter slutlig förslutning sedan länge tillämpat rutiner för att så långt som möjligt eliminera eller minska förekomsten av komplexbildare i slutförvaret. Komplexbildare har dock redan tillförts SFR förvaren i viss omfattning. Viss ytterligare tillförsel av komplexbildare kan inte heller helt undvikas och effekten måste därför beaktas i dos/riskberäkningar i form av en korrektionsfaktor för K_d -värden. Experimentellt uppmätta K_d -värden som har använts som underlag för SKB:s databaser avser generellt kemiska förhållanden utan närvaro av organiska komplexbildare. De komplexbildare som har en betydelse är dels isosackarinasyra (ISA) som härstammar från degradering av cellulosa under alkaliska förhållanden i slutförvarsmiljön, dels rester från olika typer av rengöringsmedel och dekontamineringskemikalier som finns ursprungligen i

avfallet exempelvis EDTA, NTA, glukonat, citrat och oxalat (SKB R-14-03). Förutom att interagera med radioaktiva ämnen kan även komplexbildare bilda fasta faser med exempelvis kalcium. Denna effekt bortser dock SKB konservativt ifrån, förutom för ISA, eftersom en sådan utfällningsprocess minskar koncentrationen av komplexbildaren i vattenlösning och därmed även påverkan på radionuklidtransport.

SKB använder två parametrar för att beakta effekten av komplexbildare, dels en övre koncentrationsgräns under vilken ingen kvantifierbar effekt av komplexbildaren kan förväntas, dels en reduktionsfaktor som avser effekten av komplexbildare på det aktuella K_d -värden för koncentrationer över koncentrationsgränsen (SKB R-14-22). Dessa två parametrar uppskattas för det ternära systemet radionuklid-cement-komplexbildare baserat på experimentella data, där så är möjligt. För fall där ingen eller en försumbar effekt av komplexbildaren kan förväntas oavsett koncentration används reduktionsfaktorn 1. För övriga fall används en reduktionsfaktor av antingen 10 eller 100, dvs. en reduktion av K_d med en eller två tiopotenser. Det är även tänkbart att reduktionsfaktorer behövs för höga koncentrationer av komplexbildare tillämpas med stegvisa ökningar i ett bredare koncentrationsintervall. Detta har dock en mindre praktiskt betydelse eftersom koncentration av komplexbildare inte förväntas överstiga cirka 20 mM (SKB R-14-03). För det fallet att väsentligt högre koncentrationer komplexbildare skulle förekomma i förvaret har dock SKB definierat ett särskilt mindre sannolikt scenario benämnt ”Scenariot med höga koncentrationer av komplexbildare” (SKB, 2015, avsnitt 7.6.6). Detta scenario ska beakta risken för att SKB inte kan minska komplexbildare i enlighet med deras planering på grund av ett behov att ta hand om ogynnsamma avfallskategorier. SKB har ansatt scenariosannolikheten 10% för detta fall. Den enda skillnaden i jämförelse med huvudscenariot är att de tillämpade sorptionsreduktionsfaktorerna ökas med en faktor 10.

Ett antal experimentella data visar att effekten av tillsatta komplexbildare generellt är försumbar i låga koncentrationsintervall cirka 0,1 – 1 mM. Eftersom mekanismer för reduktion av radionuklider skiljer sig markant beroende på det specifika radioelementets kemiska egenskaper är reduktionsfaktorer specifika för varje enskilt radioaktivt ämne. Ett och samma radioaktiva ämnen kan också ha olika reduktionsfaktorer vid olika oxidationsstadiet eftersom de kemiska egenskaperna och i vissa fall retardationsmekanismen påverkas av oxidationstalet.

SKB föreslår reduktionsfaktorer och gränsvärdeskoncentrationer för radioaktiva ämnen med komplexbildning med ISA respektive andra komplexbildande ämnen av typen bästa möjliga uppskattningar från experimentella data (SKB TR-14-10, tabell 7-11a, b) samt av typen konservativa begränsande värden (SKB TR-14-10, tabell 7-11c).

Mot bakgrund av begränsad tillgång till relevanta experimentella data för att definiera reduktionsfaktorer används i första hand kemiska analogier, dvs. användning av experimentella data för andra kemiska ämnen med likartade kemiska egenskaper. Teoretiska beräkningar av förekomstformer i vattenlösning vid kemisk jämvikt har även använts men den metoden bedöms vara mindre tillförlitligt i jämförelse med metoden kemiska analogier. Inverkan av ISA är det mest väl undersökta området i den vetenskapliga litteraturen men det finns också en mera begränsad datamängd för andra komplexbildande ämnen så som glukonat, EDTA, NTA, citrat och oxalat. Det bör också noteras att degraderingstillståndet för cement påverkar kemiska förhållanden som pH och sorberande fasers ytegenskaper, vilket i sin tur även kan ha en betydelse för komplexbildarnas inverkan. Denna faktor diskuterar dock SKB endast för några få radioaktiva ämnen så som uran(VI) (SKB R-14-22).



För att ge några exempel på resonemang kring ett urval av särskilt viktiga radioaktiva ämnen diskuteras nedan betydelsen av komplexbildare för sorption av aktinider, kalcium, nickel, kobolt, molybden och selen.

Sorption av trevärda aktinider och lantanider, respektive fyrvärda aktinider förväntas bli påverkad av närvaron av organiska komplexbildare på ett betydande sätt. Med tanke på svårigheter att renodla betydelsen av olika oxidationstal för aktinider används i experimentella studier ofta europium (III) som analog för trevärda aktinider och torium(IV) för fyrvärda aktinider. Starkare effekter för fyrvärda joner i jämförelse med trevärda har generellt noterats. Experimentella resultat visar tydliga generella trender med skillnader i försöksuppställningar och materialval gör det svårt att jämföra tillgängliga experiment och fastställa reproducerbarhet. För trevärda aktinider föreslås gränskoncentrationen 1 mM och reduktionsfaktorn 10, medan för fyrvärda aktinider tillämpas den lägre gränsen 0,1 mM och den högre reduktionsfaktorn 100. Reduktionsfaktorn gäller för varje 10-faldig ökning av koncentrationen av komplexbildare. De mest betydande experimentella studierna avser ISA och glukonat. För andra komplexbildare tillämpas ett analogi-resonemang med ISA som i sammanhanget anses vara en effektiv komplexbildare. För femvärda aktinider finns inga data i litteraturen så SKB tillämpar en analogi med femvärt palladium för vilken i sin tur bly(II) anses vara en analog (SKB R-14-22). För sexvärda aktinider finns mycket lite data även om en studie kring inverkan av ISA på sorption av uran(VI) i cement finns tillgänglig. SKB tillämpar gränsvärdet 0,5 mM och reduktionsfaktorn 10 i detta fall.

För nuklider vars retardations styrs av utbyte med stabila isotoper snarare än renodlade ytreaktioner rekommenderas reduktionsfaktorn 1, dvs. komplexbildare borde inte ha någon effekt i slutförvarsmiljön. Detta gäller exempelvis för kalcium, nickel och kobolt för vilka den betydande mängden stabila isotoper i cementmaterial möjliggör denna retardationsmekanism. SKB refererar till ett flertal studier i vilka oförändrad retardation har påvisats i närvaro av olika typer av komplexbildare. För nickel och kobolt är dock experimentella resultat inte entydiga vid höga koncentrationer av exempelvis ISA. Av detta skäl tillämpar SKB en sorptionsreduktionsfaktor 10 vid koncentrationer av organiska ligander som överstiger 5 mM.

För nuklider i anjonisk form som sorberar genom jonbyte med sulfatfaser i cement som ettringit förväntas organiska komplexbildare inte ha någon påverkan vilket gäller molybden (molybdat) och selen (selenat). Därför har SKB ansatt en reduktionsfaktor 1 för dessa nuklider.

Reduktionsfaktorer är inte heller relevanta för radionuklider som inte förväntas sorbera på ett betydande sätt i slutförvarsmiljön eller för de nuklider som man inte med tillräcklig tillförlitlighet kan styrka att de sorberar på ett betydande sätt. Detta gäller exempelvis organiskt kol-14 för vilken $K_d = 0$ tillämpas i säkerhetsanalysen.

SSM:s bedömning

SKB:s metod för att beakta effekter av komplexbildare med såväl en konstant reduktionsfaktor oberoende av koncentration som en absolut koncentrationsgräns under vilken ingen effekt förekommer bedöms vara rimlig med beaktande av begränsad tillgång på data. Metoden är dock uppenbart approximativ eftersom effekten blir konstant i ett brett koncentrationsintervall. Tillämpningen behöver därför baseras på ett försiktigt parameterval. En mer exakt form av beaktande så som att inkludera komplexbildare i specieringsberäkningar bedöms inte kunna ge ett bättre underlag med nuvarande kunskapsnivå.

SSM konstaterar att en viktig omständighet förutom begränsad kunskap om inverkan av komplexbildare på sorption av radioaktiva ämnen, är förutsättningar för att kunna kontrollera och minimera mängder av komplexbildare i framtida avfall till SFR. SSM anser det därför vara angeläget att problematiken med potentiell sorptionsreduktion på grund av dessa ämnen adresseras utförligt i samband med framtagande och tillämpning av acceptanskriterier för avfall till befintliga och tillkommande förvarsdelar i SFR.

I SR-PSU diskuteras inte sorptionsreduktion på grund av komplexbildare för geosfären. SKB har dock adresserat frågan som en komplettering från 2016 (SKB dokID 1577134). Författarna konstaterar att frågan är komplex eftersom ett flertal parametrar varierar i gränsområdet mellan förvaret och geosfären, inte bara koncentration av den specifika komplexbildaren utan även pH, därmed Eh och karbonathalt. Samtliga dessa parametrar har en betydande påverkan på sorptionsförmågan. Ett kvantitativt ramverk som förutsäger pH-gradientens utsträckning samt den totala effekten av tillhörande parametervariation anses vara mycket svår att utveckla. SKB påpekar att scenariot i vilket sorption i geosfären bortses ifrån ger ett gränssättande fall med små effekter på beräknad dos. SSM konstaterar att koncentrationerna av komplexbildare på grund av utspädning avtar från närområdet och att effekten har störst betydelse i gränsområdet närområde geosfär. I beräkningarna av sorption i närområdet förutsätts att effekten av komplexbildare inte förändras som funktion av tiden. Ett beaktande av borttransport av komplexbildare från närområden till geosfären innebär samtidigt att komplexbildning i närområdet minskar. SSM instämmer därför med SKB att frågan har liten betydelse.

Det finns förutom för ett fåtal kombinationer av komplexbildare och nuklid en betydande avsaknad av data och tillgänglig data är i vissa fall motstridiga vilket gör valet av sorptionsreduktionsfaktor svårt och i något fall godtyckligt som SKB själva föreslår (SKB R-14-22). Analogiresonemang är enligt SSM:s bedömning en acceptabel utgångspunkt för parameterintervall för nuklider som även i pessimistiska fallen inte kan ge stora dosbidrag. Det måste dock beaktas att parameterintervall för andra potentiellt mera betydelsefulla nuklider som har baserats på denna metod tillför en betydande osäkerhet. Detta gäller i synnerhet om analogiresonemang har tillämpats för både nuklid och komplexbildare. Analogiresonemang har också tillämpats i flera led. I vissa fall används även i avsaknad av data experiment med andra fasta faser än cement som till exempel fältspat. Det går sannolikt inte att på ett tillförlitligt sätt förutsäga samtliga effekter av att använda sorptionsdata för system som skiljer sig mycket från de som avses.

Mot bakgrund av en otillfredsställande liten datamängd och de betydande osäkerheter som föreligger är viss ytterligare forskning för prioriterade system en viktig fråga för kommande säkerhetsanalyser. I vissa fall som till exempel selen i form av selenationen tillämpas reduktionsfaktorn ett baserat på en teoretisk förmodad mekanism som inte rimligtvis kan påverkas av närvaron av komplexbildare. I avsaknad av experimentell verifikation måste detta betraktas som ytterligare en osäkerhet. Att vissa experimentella data pekar på så stor reduktion som en faktor 1000 för viktiga nuklider som Pu(IV) är ett exempel på en fråga som behöver ytterligare uppmärksamhet (SKB R-14-22). SSM bedömer dock sammanfattningsvis att SKB har gjort ett försiktigt parameterintervall baserat på tillgängligt dataunderlag. Scenariot med höga koncentrationer av komplexbildare med en dosökning på cirka 40 % i förhållande till huvudscenariot bedöms ge en god indikation även för betydelsen av osäkerheter i sorptionsreduktionsfaktorer. SKB:s scenarier som helt bortser från sorption visar också gränssättande fall i avseendet betydelsen av osäkerheter i sorptionsreduktionsfaktorer.

6.7.4 Andra retardationsmekanismer och transportprocesser samt interaktioner med radioaktiva ämnen

SKB:s redovisning

SKB:s dos/risk beräkningar i SR-PSU beaktar transport av radionuklider genom diffusion och advektion samt retardation genom växelverkan med fasta faser till följd av linjär reversibel sorption (SKB TR-14-09). De fasta faser som beaktas är cement, berg och bentonit. Denna förenklade beskrivning av växelverkan med fasta faser innebär att kvoten mellan koncentrationer av radioaktiva ämnen i lösning och motsvarande mängd sorberad på fastfas är konstant i det aktuella delsystemet. Andra retardations- och transportprocesser är dock i princip möjliga i slutförvarsmiljö:

- Kolloidbildning och transport av radionuklider med mobila kolloider
- Sorption av radionuklider på korrosionsprodukter
- Lösighetsbegränsningar
- Transport av gasformiga radioaktiva ämnen

Kolloider är små partiklar ($< 1 \mu\text{m}$) som är stabila och dispergerade i en vattenfas, och kan därmed transporteras med ett grundvattenflöde utan att växelverka med andra fasta faser. I samband med radionuklidtransport från ett slutförvar finns två sätt som mobila kolloider kan påverka systemet; 1) genom att ett radioaktivt ämne bildar egenkolloider dvs. kolloider som består av rena faser och 2) genom att ett radioaktivt ämne sorberar och transporteras på en annan kolloidal fas. SKB beaktar inte kolloidal transport av radionuklider i sina beräkningar av dos/risk för huvudscenariot med motivet att förekomsten av kolloider i slutförvaret är mycket liten. SKB nämner särskilt bitumenkolloider som ett möjligt undantag för vilket högre halter inte kan uteslutas eller tom kan förväntas pga. deras inneboende kolloidala egenskaper och negativa ytladdningar. Det anses dock inte möjligt att denna typ av kolloider kan sorbera några betydande mängder radionuklider och därför har även denna potentiella påverkan försumrats.

Generellt förutsätter SKB låg stabilitet för kolloider med hög jonstyrka i synnerhet till följd av höga kalciumkoncentrationer, vilket förväntas förekomma långsiktigt i förvarsdelar konstruerade med stora mängder cement. Höga pH kan dock i förhållande till neutrala pH i viss mån gynna kolloidal stabilitet till följd av dess påverkan på det elektriska dubbellagrets tjocklek. SKB har identifierat fyra typer av kolloider förutom bitumenkolloider som nämns ovan: 1) organiska kolloider, 2) cementkolloider, 3) järnoxidkolloider från korrosion av stål, och 4) egenkolloider av radioaktiva ämnen (SKB TR-14-03). De höga halter av kalcium (10^{-4} tom 10^{-2} M) som förväntas förekomma i slutförvarsmiljön verkar destabiliserande för kolloider eftersom elektrostatisk repulsion minskar vilket ger upphov till koagulering. Kalcium finns i omgivande grundvatten och tillförs i långsam takt i samband med cementdegradering. Det förutsatta koncentrationsintervallet ger enligt experimentella studier mycket låga kolloidhalter (SKB TR-14-03, och referenser däri). Det bör noteras att tillskott av kalcium från cementdegradering inte gäller i samma utsträckning för BLA med betydligt lägre förekomst av cementmaterial (SKB TR-14-04, avsnitt 8.4.4). För BLA tillgodoräknar sig SKB dock inte radionuklidretardation med sorption i närområdet och därför har frågan om kolloider mindre betydelse för BLA. Relativt höga kalciumkoncentrationer finns i grundvatten vilket också har en inhiberande effekt, men dessa förutsättningar gäller enbart konsekvent under den första halvan av säkerhetsanalysens tidsram med tempererat klimat vilken omfattar cirka 50 000 år.

Under permafrostförhållanden förekommer inte betydande grundvattenflöden vilket begränsar/elimineras en betydelse av kolloidbunden radionuklidtransport. Under vissa delar av den senare delen av säkerhetsanalysens tidsram med glaciala förhållanden förväntas dock glaciala smältvatten förekomma med mycket låga kalciumhalter. Med tanke på att degraderingen av betongbarriärer är svår att förutsäga efter så långa tider kan inte heller tillförsel av tillräckliga mängder kalcium från denna källa förutsättas. SKB bedömer därför att det inte går att utesluta kolloidal transport av radionuklider under dessa förhållanden. Detta fall illustreras av scenariot med förlust av barriärfunktion men ingår dock inte i huvudscenariot.

För att bedöma transport av kolloider behöver andra aspekter förutom kolloidal stabilitet beaktats exempelvis filtrering och interaktion av kolloider med andra fasta faser. Dessa aspekter har omnämnts av SKB (SKB TR-14-04, avsnitt 6.4.5). De har dock inte analyseras på ett djupgående sätt med hänvisning till argumentet låga kolloidhalter. Beträffande egenkolloider med plutonium och americium konstaterar SKB att experiment visar att sådan bildning förekommer under neutrala pH betingelser. Höga pH respektive höga kalciumhalter innebär dock att bildning av denna typ av egenkolloider inhiberas (SKB TR-14-03). Detta är en fråga som SSM har begärt kompletterande information om (se nedan under SSM:s bedömning).

Beträffande sorption av radionuklider på korrosionsprodukter kan ytterligare sorption endast minska utflödet av radioaktiva ämnen från slutförvaret (förutom för fallet då korrosionsprodukterna bildar en kolloidal fas, se ovan). Processen är i princip väl känd och korrosionsprodukterna bör ha god sorptionskapacitet men SKB har valt att inte beakta denna process i sina beräkningar (SKB TR-14-03). För att detta ska gå att motivera krävs experimentella data för sorption på exempelvis magnetit under de aktuella pH- och redoxbetingelserna. För att tillförlitligt kunna säkerställa tillgänglighet av sorbent krävs också att bildningen av korrosionsprodukter kan förutsägas i relevanta tidskalor.

Löslighetsbegränsningar innebär att de radioaktiva ämnena kommer upp i så höga koncentrationer att de istället för att växelverka med andra fasta faser faller ut som egna fasta faser. Normalt sätt bildas långsiktigt den fas som har lägst löslighet i den aktuella miljön, men i kortare tidskalor kan metastabila faser förekomma vars bildning gynnas av olika kinetikfaktorer. Generellt för SFR gäller dock att förekomsten av radioaktiva ämnen i avfallet är så låg att koncentrationerna inuti slutförvaret kommer ligga långt under aktuella löslighetsgränser. SKB har dock genomfört vissa överslagsberäkningar kring betydelsen av en löslighetsgräns för nickel som innefattar Ni-59 (en av de viktigaste radionukliderna för SFR förvarets omgivningspåverkan). En förutsättning för att denna löslighetsgräns ska ha någon betydelse är dock att stabilt nickel som finns i konstruktionsmaterial i slutförvaret också beaktas. SKB:s beräkning visar att utflödet av Ni-59 kan minska med upp till två storleksordningar om löslighetsgränsen beaktas (SKB TR-14-09, appendix B). I SKB:s dos/risk beräkningar för att påvisa kravuppfyllelse har denna process dock inte tillgodoräknats.

Enligt SKB:s redovisning är de radioaktiva ämnen som kan förekomma i gasfas är C-14, H-3 och Rn-222. Den gasformiga transportvägen från SFR domineras enligt SKB:s bedömning sannolikt av C-14. SKB har inte utfört någon explicit modellering av gasformig transport av radionuklider. I beräkningsfall som beaktar gasformig frigörelse av radionuklider förutsätts dessa nå biosfären direkt.

SSM:s bedömning

SSM bedömer att kolloidtransport sannolikt har en mycket liten betydelse för SFR-förvaren långsiktiga strålsäkerhet för tider innan 50 000 år, och en begränsad betydelse för

den efterföljande perioden. Denna slutsats baseras främst på att den förväntade kemiska miljön i slutförvaret innefattar porvattensammansättningar med tillräckligt höga jonstyrka för att motverka kolloidal stabilitet. Dessa förhållanden förväntas gälla under 10 000-tals år när höga kalciumkoncentrationer i förvarets närområde tillgodoses av både tillförsel från cementdegradering och omgivande grundvattens sammansättning. SSM instämmer dock med SKB att situationen blir mera osäker efter cirka 50 000 år då glaciala smältvatten kan ha infiltrerat förvarsmiljön och cementdegradering är långt gången. Detta innebär att en betydelse av kolloidal transport inte kan uteslutas för denna tidsperiod. SKB:s värdering av fallet är oklar (SKB TR-14-04, avsnitt 5.4.5). Enligt SSM:s bedömning är det därför åtminstone en formell brist att SKB refererar till ett restscenario för hantera ett förhållande som vare sig är av hypotetisk art eller som inte kunnat visas ha låg sannolikhet att inträffa. Det är dock möjligt att baserat på SKB:s beräkningar och scenarier för vilka sorption bortses ifrån att bilda sig en uppfattning om den kolloidala transportens möjliga påverkan. Detta gäller även om det inte finns något scenario i vilket sorption i såväl närområde som berg bortses ifrån. Beräkningarna visar på en betydlig med dock inte dramatisk ökning av doserna för Ni-59 och Pu-239 för tider efter 50 000 år. Det bör påpekas att huvuddelen av denna ökning härrör från silon och om en möjlig kolloidal transport enbart avser förvarsdelar utan bentonitbarriär blir effekten betydligt mindre. SKB anger att kolloider normalt inte förväntas passera bentonitbarriären som eliminerar betydande grundvattenflöden (SKB TR-14-04, avsnitt 7.4.5). Organiska kolloider anses dock kunna passera även denna barriär.

SSM har under granskningsprocessen begärt kompletterande information om SKB:s hantering av kolloider i SR-PSU (SSM2015-725-42). SSM efterfrågade en mera detaljerad analys av fördelningen av koncentrationer i porvatten av plutonium och americium för olika förvarsdelar, liksom en analys av löslighetsgränser för dessa båda radioelement med hänsyn till pH, Eh, och förekomsten av komplexbildare i olika förvarsdelar. Denna analys förväntades sedan ligga till grund för en bedömning av risken för bildning av egenkolloider i de förvarsdelar där löslighetsgränsen överskrids. SKB uppmanades vidare att utveckla analysen av betydelsen av de två i sammanhanget viktiga omgivningsbetingelserna höga pH-värden och höga kalciumkoncentrationer, och om bentonitbarriären runt silon har förutsättningar att filtrera eventuella bildade egenkolloider. Den sista frågan avsåg stabilitet av och eventuell radionuklid sorption på cementkolloider.

I SKB:s svar på kompletteringsbegäran (SKB dokID 1564239) fastslogs att förväntade plutoniumkoncentrationer i slutförvaret generellt är under löslighetsgränsen för bildning av kolloidalt plutonium i den reducerande kemiska miljön och att bildning av plutoniumkolloider därför är osannolikt. I silon överskrids dock löslighetsgränsen men detta förutsätter komplexbildning med organiska komplexbildare samt att all förekomst av plutonium mobiliseras momentant vilket anses vara osannolikt. För fallet plutonium(IV) ansåg författarna att det inte finns något stöd för hypotesen att höga kalciumkoncentrationer destabiliserar plutoniumkolloider, men att den låga förekomsten begränsar förutsättningar för att sådana kolloider kan bildas. Bildning av egenkolloider med plutoniumfaser behöver dock bevakas som ett område med mycket aktiv forskning. För trevärt americium och plutonium är dock situationen något annorlunda. I dessa fall finns belägg för att egenkolloider destabiliseras mycket snabbare vid ökande kalciumkoncentrationer och vid höga pH-värden. Det finns experimentella studier som visar att eventuella bildade egenkolloider för Pu(III) och Am(III) förväntas koagulera och lösa upp sig vid aktuella betingelser. Cementkolloider ansågs vara mycket instabila och ansågs ha mycket begränsad kapacitet att påverka förutsättningar för radionuklidtransport för nuklider som eventuell kan sorbera på cementkolloider. Enligt SKB:s bedömning har lågkompakterad

bentonit som omger silon inte någon tillförlitlig förmåga att filtrera eventuella bildade egenkolloider med americium eller plutonium.

Enligt SSM:s bedömning är SKB:s analys av förutsättningar för bildning av egenkolloider rimlig. De små mängderna och spridda förekomsten av relevanta radioaktiva ämnen i slutförvaret talar för att dessa faser har små förutsättningar att bildas, och det är ännu mer osannolikt att de skulle ha en betydelse för radionuklidtransport.

SSM konstaterar att kolloidalt material förväntas bildas utöver de fall som SKB redovisar i samband med erosion av bentoniten som omger silon, vilket möjligen i viss utsträckning kan påverka förutsättningar för radionuklidtransport. Kiselkolloider kan möjligen bildas i den pH gradient som bildas i gränsområdet mellan förvarsdelarna och det omgivande berget. Eftersom dessa kolloider inte förekommer i nära anslutning till avfallet bedöms de dock ha en liten eller helt försumbar påverkan.

SSM konstaterar att SKB inte närmare diskuterar betydelse av löslighetsgräns för nickel. SSM anser att detta fall borde undersökas ytterligare eftersom det enligt SKB:s överslagsberäkningar har en stor effekt på utflödet av nickel. SSM konstaterar vidare att inverkan av korrosionsprodukter från järn/stål potentiellt kan ha en beaktansvärd betydelse mot bakgrund av stora reaktiva ytor för dessa faser. En möjlig vidareutveckling av säkerhetsanalysen är beaktande av den kvantitativa inverkan av dessa faser.

6.8 Sammanfattande bedömning

Detta kapitel fokuserar på SSM:s granskning och bedömning av SKB:s redovisning av förvarets utveckling mellan 1000 till 100 000 år under temperade klimatförhållanden. Granskningen omfattar utvecklingen av olika processer kopplade till avfallet, betongbarriärer och betongkonstruktioner och lerbarriärer. Den innefattar även utvecklingen av hydrogeologi och kemiska betingelser i förvarets närzon och i berget. Vidare redovisas SKB:s hantering av retardationsmekanismer för radioaktiva ämnen i slutförvarsmiljön och SSM:s bedömningar av bland annat hur SKB har valt fördelningskoefficienter för sorption, så kallade K_d -värden.

Avfall

SSM anser att det är av stor vikt att SKB vidtar nödvändiga åtgärder i samband med tillverkning av avfallskollin, detaljutformning av Silo och BMA-förvaren, samt genomför en optimal utplacering av känsliga avfallskollin för att så långt som möjligt undvika skador på förvarets betongkonstruktioner. Frågan om svällning av jonbytarmassor har större betydelse för det befintliga SFR i jämförelse med de tillkommande förvarsdelarna. Frågan behöver en fortsatt hantering på en högre detaljeringsnivå som en del av SSM:s tillsyn av driften av det befintliga SFR.

Beträffande SKB:s modellering av degraderingsförloppet för organiskt material respektive korrosion av metaller anser SSM att SKB:s redovisning är utförda med en välgrundad och huvudsakligen korrekt metod. Analysen av dessa processer har utvecklats betydligt sedan tidigare säkerhetsanalyser.

Angående SKB:s slutsats att kemiskt reducerande betingelser kvarstår i slutförvaret under hela säkerhetsanalysens analysperiod, anser SSM dock att risken för oxiderande betingelser inte helt kan uteslutas baserat på det befintliga underlaget. SSM anser att mängd, typ och specifik yta av metaller och organiskt material som tillförs avfallskollin noggrant behöver dokumenteras. Dessutom behöver den bildade magnetitens reaktiva

area, upplösningskinetik och rumsfördelning i slutförvaret vidare studeras. Även fördelning av grundvattenflöden i förhållande till förekomst av magnetit behöver utredas för att bedöma om rumsliga eller temporära fickor i förvaret med oxiderande betingelse kan uppstå. Andra faktorer som utförligare behöver beaktas i säkerhetsanalysen är fördelning av metallkorrosionshastighet, andel av korroderat järn som bildar andra korrosionsprodukter så som järnsulfider snarare än magnetit.

Enligt SSM:s bedömning är den säkerhetsmässiga betydelsen av att inte helt kunna utesluta oxiderande förhållandet i slutförvaret under den aktuella analysperioden 100 000 år dock begränsad. Beräkningarna för det särskilda restscenariot ändrade redoxförhållanden i SFR-1 visar att effekten på den maximala totaldosen är liten. Dessutom förekommer med all sannolikhet risken för oxiderande betingelser i någon del av slutförvaret endast efter att 1) syresatta grundvatten infiltrerar slutförvaret vilket är kopplat till glaciala förhållanden långt fram i analysperioden, 2) tillgängligt järn/stål har förbrukats genom korrosion, och 3) organiskt material antingen har förbrukats eller visar sig vara icke-reaktivt i slutförvaret.

Betongbarriärer och betongkonstruktioner

SKB:s beskrivning av betongens kemiska utveckling och degradering för 1-2BMA bedöms vara vetenskapligt välgrundad och trovärdig. SSM anser dock att det finns inneboende osäkerheter i modellen som bottnar i, framför allt, val av termodynamisk databas för beräkningsfallet vilket i första hand kan ge upphov till osäkerheter av mineral-sammansättningens utveckling över tid. Avseende påverkan av sprickförekomst på betongens kemiska degradering visar SKB:s modellering att mindre sprickor har en liten påverkan på degraderingshastighet och –förlopp medan större sprickor (sprickvidd) inte oväntat har en större påverkan på den kemiska degraderingen (SKB R-13-40, avsnitt 9.3). SSM bedömer att mindre variationer i betongens flödesbarriärfunktion sannolikt inte påverkar den kemiska degraderingshastigheten i stor utsträckning. Vidare SSM delar SKB:s bedömning att sprickor med stor sprickvidd är lättare att identifiera och åtgärda innan förslutning.

SSM vill påpeka att det finns vissa motsägelser i SKB:s redovisning och underlagsrapporter avseende den antagna hastigheten med vilken portlanditutarmsningen av 1-2BMA-konstruktionerna sker. I vissa redovisningar antar SKB att bägge konstruktioner degraderar i samma takt, och i andra redovisningar skiljer sig tidpunkten för portlanditutarmsning i 1- och 2BMA avsevärt oavsett om reparationsåtgärder för 1-BMA beaktas eller inte. SSM anser att SKB behöver ta hänsyn till detta i sin uppskattning av utvecklingen av betonghållfastheten i 1BMA, eftersom tidpunkten för portlanditutarmsning har stor säkerhetsbetydelse. SSM anser att mer noggranna beräkningar än de som nu finns tillgängliga skulle fordras för att visa att en minskad hållfasthet med en hel portlanditutarmsning fortfarande kan ge stabila förhållanden och en bibehållen strukturell integritet fram till 20 000 år under de förväntade lasterna från grundvatten och återfyllnad, vilket SKB antar i huvudscenariot i SR-PSU.

SSM bedömer att SKB har förutsättningar att visa att 1BMA kan uppvisa önskvärd tålighet mot de förhållanden, händelser och processer som kan förväntas ske i slutförvarsmiljön. Emellertid behöver SKB redovisa mera detaljerade analyser vid relevanta tidpunkter över betongkonstruktionernas statiska beteende till följd av betongdegradering, samt beakta de resonemang SSM fört i denna granskningsrapport. SKB bör i noggrannare mån analysera vilka lastsituationer betongkonstruktionen i 1BMA kan förväntas motstå, oavsett vilka reparationsåtgärder man inom ramen för driften väljer

att gå vidare med. Detta dels för att utöka konstruktionens beständighet mot portlandit-utarmning, dels för att noggrannare kunna uppskatta de osäkerheter som påverkar slutsatserna om tålighet lång tid efter förslutning.

SSM bedömer att SKB:s redovisning av kemisk utveckling i betongen i 2BMA är väl underbyggd och grundar sig i vedertagna vetenskapliga antaganden och därför är ändamålsenlig avseende barriärkonstruktionens tålighet. SSM bedömer att det finns förutsättningar för att de värden för den hydrauliska konduktiviteten som SKB använder i sina scenarioanalyser ($1 \cdot 10^{-7}$ m/s) kan spegla förhållandena i 2BMA en relativt lång tid efter förslutning. SSM anser även att värdena som används i det mindre sannolika scenariot med ”accelererad betongdegradering” ($1 \cdot 10^{-5}$ m/s) är mycket konservativt givet att SKB utöver bl.a. de kvalitetskontroller vid kommande uppförande av förvarsdelar som angivits i redovisningen.

SSM bedömer att SKB:s redovisning av betongdegradering i Silo är ändamålsenlig. SSM instämmer med SKB att degraderingshastigheten för betongbarriären i Silo sker långsammare än för betongkonstruktionerna i exempelvis 1BMA som utsätts för advektivt flöde av tillkommande grundvatten. Detta pga. att betongväggen i Silo omges av bentonitfyllningen och förvarsdelen ligger djupare som bidrar till att begränsa grundvattenflödena genom 2BMA. SSM anser att, i likhet med SKB, en redovisning som motsvarar den detaljeringsnivå som tillämpats för BMA skulle vara önskvärd även för Silo, i kommande steg av SKB:s program, där bentonitfyllningens påverkan på cementkemin och dess utveckling över tid skulle beaktas.

SSM anser att det finns osäkerheter kopplade till den betongens utveckling i Silo, vilket i huvudsak kan härledas till osäkerheterna avseende initialtillståndet på dess betongbarriär, där status på sprickförekomst och omfattning är oklar. Trots att SKB genomgående i säkerhetsanalysen har tillskrivit Silo materialegenskaper som motsvarar en väldigt degraderad betong, vilket SSM bedömer vara konservativt och godtagbart, anser SSM dock att de val av parametrar för materialegenskaper hos Silos betongbarriär som tillämpas i säkerhetsanalysen tydligare borde kopplas till processbeskrivningen av utvecklingen för Silo.

SSM bedömer att de antagna materialparametrarna hos betongkonstruktionen 1BRT (hydraulisk konduktivitet, effektiv diffusivitet samt porositet) i de i säkerhetsanalysen ingående beräkningsfallen är rimligt konservativa.

Lerbarriärer

Beträffande utvecklingen av lerbarriärerna i slutförvaret bedömer SSM att SKB:s redovisning av mineralomvandling av montmorillonit i bentonit orsakad av lakningsvatten med mycket höga pH-värden från cementbaserade material är ändamålsenlig och modelleringsresultaten i redovisningen är trovärdiga. SSM anser att SKB har skaffat sig en fördjupad förståelse för processen och goda erfarenheter att numeriskt modellera processerna.

SSM instämmer med SKB att omvandlingsprocessen av montmorillonit är en relativt långsam process i den förväntade slutförvarsmiljön. SSM anser att faktorerna så som om reaktionen sker med kemisk jämvikt eller genom kinetikkontroll, om intilliggande cementbaserade barriärer innehåller sprickor eller inte, har en relativt begränsad inverkan på montmorillonit-omvandling i Silo, på grund av den mycket låga massöverföringshastigheten genom bentoniten som begränsar den totala omvandlingshastigheten. SSM anser dock att SKB, i kommande steg av sitt program, utförligare behöver studera faktorernas inverkan på montmorillonit-omvandling för att öka säkerhetsmarginalen.

SSM bedömer att SKB:s angreppssätt att inte ta hänsyn till bentonitdegradering i huvudscenariot i säkerhetsanalysen utan istället hantera inverkan av bl.a. mineralomvandlingen som ett mindre sannolikt scenario är rimligt. Mineralomvandling av montmorillonit begränsas endast i gränssnitten mellan sprutbetong och bentonit i förvarets tidiga utveckling (under de första tusen åren) och blir mer omfattande bara efteråt. De nya mineraler som bildas till följd av mineralomvandlingen brukar emellertid åtminstone lika bra skyddsförmåga som montmorillonit pga. att de har högre molvolym och därför bidrar till minskad porositet och vattengenomsläpplighet, samt att de är av zeolittyp som brukar ha god sorptionsförmåga.

SSM bedömer att SKB:s redovisning av cementering av bentonit är godtagbar. SKB har redovisat en god förståelse av processens mekanism och inverkan på mekaniska egenskaper hos bentoniten. SKB:s uppfattning att cementering av bentoniten är en långsam process samt SKB:s slutsats att cementeringen kommer att blir relativt omfattande långt efter förslutningen av slutförvaret anses vara trovärdiga.

SSM instämmer med SKB att inverkan av bentonitcementering på slutförvarets långsiktiga strålsäkerhet inte är betydelsefull. SSM anser att det är teoretiskt välgrundat att SKB antar att bentoniten beter sig elastiskt och att betongväggen i Silo utgör den lastbärande komponenten i jordskalvsmodelleringen. SSM vill dock påpeka att SKB:s redovisning av processens inverkan på bentonitens mekaniska egenskaper i stor utsträckning baseras på studier av cementering under varma förhållanden medan den mest relevanta processen i SFR-förvaret är cementering orsakad av cement-bentonit-interaktion vid låga temperaturer. De mineralomvandlingsprodukter som erhålls skiljer sig beroende på process. SSM anser därför att SKB i kommande steg av sitt program behöver utreda olika omvandlingsprodukters bidrag till bentonitens cementering och deras inverkan på bentonitens mekaniska egenskaper.

SSM instämmer med SKB att möjligheten för bentonitfyllningen i Silo att expandera och tränga in i betongväggen är försumbar under hela perioden för säkerhetsanalysen och att konsekvenserna av denna process därför inte behöver beaktas i säkerhetsanalysen. Bentonitfyllningen i Silo har alltid ett lägre svälltryck än draghållfastheten hos betongväggen, även om betongväggen kraftigt har degraderats med fullständig utarmning av portlandit.

SSM bedömer att SKB:s redovisning av interaktion mellan betongväggen och bentonitfyllningen i Silo, med medföljande degradering av betongbarriären, är vetenskapligt välgrundad och att SKB:s modelleringsresultat för interaktionen mellan barriärerna samt resulterande degradering är trovärdiga. SKB:s antagande att interaktionen mellan betongväggen och bentonitfyllningen i Silo huvudsakligen sker genom massöverföring av lösta ämnen anses av SSM vara i enlighet med grundläggande principer i termodynamik.

SSM anser att SKB:s slutsats att betongväggen i Silo degraderas betydligt långsammare än betongkonstruktionerna i BMA är trovärdig. Till skillnad från betongkonstruktionerna i BMA är betongväggen i Silo på lång sikt skyddad från tillkommande grundvatten från berget av bentonitfyllningen, eftersom bentonitfyllningens masstransportmotstånd inte avsevärt kommer att minska under analysperioden.

SSM anser att SKB, i kommande steg av sitt program, behöver explicit inkludera möjligt advektivt flöde i betongväggen efter att väggen kraftigt degraderats i sin modellering av interaktionen mellan Silos barriärer och deras utveckling efter förslutning. SSM bedömer dock att avsaknad av hänsyn till detta inte kommer att ha en stor säkerhetsbetydelse

eftersom en komplett degradering av betongväggen i Silo leder till en ökning av det advektiva flödet med endast ca. 20 %.

SSM bedömer att SKB:s redovisning kring frågan om kolloidbildning från montmorillonit i bentonit är ändamålsenlig. SSM anser vidare att SKB, baserat på tidigare omfattande egen forskning samt internationellt samarbete, har byggt upp en god teoretisk förståelse kring frågan. SSM anser att SKB:s slutsats att processen har försumbar effekt på förvarets långsiktiga strålsäkerhet och därför går att bortses från i säkerhetsanalysen är godtagbar. SKB:s modellering har visat att jonstyrkan i porvattnet i bentonit samt i närliggande betongbarriärer är högre än det gränssättande värdet för bentonitkolloidbildning. SSM anser dock att SKB mer ingående behöver utreda inverkan av bräckt grundvatten på bentonitkolloidbildningen, för att kunna behäfta bedömningen med en större säkerhetsmarginal.

Gällande bentonit-järn-interaktion bedömer SSM att SKB:s redovisning av är godtagbar för detta steg av SKB:s program. Bedömningen baseras huvudsakligen på att järnkomponenterna i förvarsdelen inte förväntas vara i direkt kontakt med bentoniten och massöverföringen av de lösta järnkorrosionsprodukterna till bentoniten i allmänhet förväntas vara långsam. SSM anser dock att SKB behöver studera processen ytterligare. Med hänsyn till att mekanismsförståelsen i vissa avseenden fortfarande är knapphändig och att osäkerheter föreligger avseende sprickbildning i betongkonstruktionerna (som möjligen kan medföra en kraftig ökning av massöverföringen genom betong), anser SSM att SKB särskilt behöver fördjupa förståelsen kring huruvida Fe(II) från järnkorrosion kan leda till mineralomvandling av montmorillonit samt förståelsen för mekanismen bakom interaktionen mellan Fe(II) bildat från järnkorrosion och Fe(III) i montmorillonits kristalliska gitterstruktur. Dessutom anser SSM att SKB behöver beakta och analysera gränssättande fall avseende inverkan av bentonit-järn-interaktionen på förvarets långsiktiga strålsäkerhet. Detta för att säkerställa att man hanterar processen med tillräckligt stor säkerhetsmarginal i kommande säkerhetsredovisningar.

Hydrogeologi i närzonen och berget

SSM bedömer att SKB:s sätt att hantera topprandvillkoret med successiv ändring över tid för att återge strandlinjeförskjutningen i hydrogeologiska modelleringen är godtagbart, och SKB:s basfall ger en rimlig kvantifiering av flödet genom förvarssalarna för tiden efter 1000 år efter förslutning. SSM noterar dock att ad-hoc förfarandet att fylla sänkor för att undvika orimliga förhållanden pekar på att randvillkoret är behäftat med vissa osäkerheter. Dessa behöver beaktas vid tolkningen av partikelspårningens resultat i kommande steg av SKB:s program.

SSM bedömer att SKB:s tillvägagångssätt för att lokalisera potentiella brunnar och beräkning av andelen vatten i brunnarna som är påverkat av slutförvaret är godtagbart. SSM bedömer att SKB:s placering av brunnar i, eller i direkt anslutning till, de deterministiskt hanterade deformationszonerna innefattar en viss konservatism som bör omhänderta åtminstone en del av osäkerheter i den ytliga berggrundsakviferen. SSM bedömer att det är godtagbart att beräkna sannolikheten för brunnar inom ett visst område utifrån dagens brunnstäthet och när det gäller intrångsbrunnar även utifrån statistik på brunnsdjup.

SSM bedömer att SKB:s beräkningsfall i scenariot med högt flöde i berget kan anses definiera ett rimligt spann för flödesstorlekar och beräkningsresultaten i detta fall är en godtagbar uppskattning i förhållandet till den antagna sannolikheten på 10 % att den ska inträffa.

SSM bedömer att SKB:s hantering av flödet i fjärrzonen i de hydrogeologiska beräkningsfallen, som ligger till grund för scenarierna accelererad betongdegradering och bentonitdegradering, är rimlig. Antagandet att barriärerna inte har något nämnvärt flödesmotstånd i scenariot med högt vattenflöde i förvaret bedöms vara lämpligt. SSM anser att det också är ett rimligt antagande att samma flöden som för basfallet med skillnaden att det inte förekommer några permafrostperioder med lägre flöden gäller för scenariot med förlängd global uppvärmning.

Kemiska betingelser i närzonen och berget

SSM bedömer att noggrannheten i uppskattningen av grundvattenkemisk utveckling kommer att öka med utökad platspecifik data vilket kommer att kunna erhållas när SKB utför en utökad provtagningsverksamhet i kommande steg i programmet. Överlag anser SSM att den uppskattade geokemiska utvecklingen efter 1000 år är trovärdig och ändamålsenlig för dess tillämpning i säkerhetsanalysen. SSM anser att den valda referenssammansättningen av grundvatten, givet de platsdata som finns till förfogande, är rimligt motiverade. SKB:s antagande att tillströmmande grundvatten under den tempererade perioden utgörs av meteoriskt och ytligt grundvatten bedöms vara rimlig.

SSM anser att SKB:s modellering av förvarets redoxutveckling är ändamålsenlig även om myndigheten identifierat vissa osäkerheter. SSM anser att känslighetsanalysen som SKB utfört i rimlig utsträckning beaktar de processer som kan antas vara betydande, såsom variation av korrosionshastigheter för järn/stål, omfattning av tillströmmande glacialt smältvatten och dess konsekvenser, samt minskning av pH-värdet i närzonen. SSM anser dock, som bedöms i Del III, avsnitt 6.2, att risken för oxiderande betingelser inte helt kan uteslutas baserat på det befintliga underlaget även under denna period (efter 1000 år efter förvarets förslutning). Det finns även vissa frågetecken kopplade till mycket långsiktiga effekter av höga korrosionshastigheter för stål och till konsekvenser av inhomogen fördelning av stålkomponenter i förvaret.

SSM anser att SKB:s antagande att magnetit är slutprodukten i anoxisk stålkorrosion vid låga temperaturer är behäftat med viss osäkerhet. SSM instämmer med SKB att antagandet stöds av många experimentella försök, men vill dock påpeka att det finns ett flertal studier som visat på att järnhydroxid kan initialt bildas och förblir metastabilt och inte omvandlas till magnetit vid temperaturen i slutförvarsmiljön. Bildning av järnhydroxid istället för magnetit verkar inte ha någon avgörande inverkan på systemets reducerande kapacitet men det möjligen kan påverka de hyperalkaliska förhållandena och således omvandlingsreaktioner i cement. Termodynamisk modellering utförd av SSM:s externa experter visar dock på att substantiella mängder Fe(II) skulle behövas för att pH-förändringar som äventyrar uppkomsten av hyperalkaliska förhållanden. SSM bedömer därför att sannolikheten för en betydande påverkan från alternativa korrosionsprodukterna på cementens sorptionsegenskaper och den långsiktiga strålsäkerheten är liten. Studier av anoxisk korrosion av stål i alkalisk miljö indikerar inte heller att järn transporteras in i omgivande cement.

Retardationsmekanismer för radioaktiva ämnen i slutförvarsmiljön

SSM konstaterar att sorptionsegenskaper för de från dossynpunkt viktigaste radioaktiva ämnena är betydelsefull för SFR:s långsiktiga strålsäkerhet och omgivningspåverkan. SSM anser därför att det är rimligt och resursmässigt nödvändigt att använda den potentiella relativa betydelsen av olika radioaktiva ämnen som underlag vid bedömning av dataunderlagets omfattning och kvalitet.

SSM inser att det inte är möjligt att ta fram sorptionsdata som strikt är tillämpliga för samtliga förväntade förhållanden i slutförvarsmiljön. SSM bedömer därför att det är

rimligt att SKB hanterar osäkerheter med användning av väl avvägda konservativa antaganden och tillämpar konservativa korrektionsfaktorer samt förhållandevis breda parameterintervall för K_d -värden inom probabilistiska dosberäkningar som täcker in intervall så stora som en eller flera tiopotenser. SSM anser dock att detta relativt grova angreppssätt aldrig kan fullt ut ersätta tillgång till mera representativa data som SKB så långt som möjligt behöver försöka ta fram i kommande steg av sitt program.

SSM anser att SKB:s metodik för att kvantifiera och korrigera sorptionsdata för slutförvarsbetingelser vara godtagbar och rimligt tillförlitlig. SSM konstaterar samtidigt att SKB i SR-PSU beträffande sorption på cementmaterial och val av sorptionsparametrar har fäst mycket stor vikt vid kunskapssammanställningar inom ett fåtal studier (Ochs m.fl., 2011; Wang m.fl., 2009). Det bör noteras att otillräcklig informationsmängd för parameterbestämning för ett antal relevanta radioaktiva ämnen och slutförvarsmiljöer har påtalats i dessa kunskapssammanställningar.

SSM anser att det finns vissa problematiska inslag kring kunskapen om sorption av betydelsefulla radioaktiva ämnen. SSM bedömer mot bakgrund av detta att det finns ett fortsatt behov av att åtgärda vissa kunskapsbrister genom att bedriva kompletterande experimentell verksamhet för att kvantifiera sorptionsprocesser av radionuklider på främst cement och betong men även i viss utsträckning bentonit och berg (krossat och intakt berg) av betydelse för utvärdering av förvarets långsiktiga säkerhet och strålskydd.

Beträffande effekt av komplexbildare på sorption bedömer SSM att SKB har gjort ett försiktigt parameterintervall baserat på tillgängligt dataunderlag. Scenariot med höga koncentrationer av komplexbildare med en dosökning på cirka 40 % i förhållande till huvudscenariot bedöms ge en god indikation även för betydelsen av osäkerheter i sorptionsreduktionsfaktorer.

SSM bedömer att SKB:s metod för att beakta effekter av komplexbildare på sorption av radionuklider med såväl en konstant reduktionsfaktor oberoende av koncentration som en koncentrationsgräns under vilken ingen effekt förekommer är rimlig med beaktande av begränsad tillgång på data. Viss ytterligare forskning kring analogiresonemang för prioriterade system bedöms vara en viktig fråga.

SSM anser att SKB ytterligare borde undersöka betydelsen av löslighetsgräns för nickel eftersom det enligt SKB:s överslagsberäkningar har en stor effekt på utflödet av nickel. SSM konstaterar vidare att inverkan av korrosionsprodukter från järn/stål potentiellt kan ha en beaktansvärd betydelse mot bakgrund av stora reaktiva ytor för dessa faser. En möjlig vidareutveckling av säkerhetsanalysen är beaktande av den kvantitativa inverkan av fasta faser av nickel.

7 Slutförvarets utveckling efter 1000 år - periglacialt klimat

7.1 Inledning

SSM bedömer i detta kapitel SKB:s redovisning av slutförvarets utveckling och skyddsförmåga när ett periglacialt klimattillstånd råder. Ett kallare klimat leder till lägre temperaturer på förvarsdjup med en möjlig risk för frysning av de tekniska barriärerna i SFR och påverkan på grundvattnets salthalt genom saltutfrysning. Frysning av berget påverkar berggrundens mekaniska stabilitet och ytligt grundvattenflöde är inte möjligt

under permafrostförhållanden. Efter att permafrost upphör kan grundvattenflödet återuppstå och i vissa fall ökas genom nya sprickor som har bildats och genom att befintliga sprickors aperturer har ökat. Avsnittet inleds med en övergripande redogörelse av SKB:s redovisning av slutförvarets utveckling under periglacialt klimat samt SSM:s bedömning. Därefter följer mer detaljerade bedömningar av SKB:s redovisning av betongbarriärernas och bentonitbarriärernas utveckling, samt den hydrologiska och kemiska utvecklingen under periglacialt klimattillstånd.

Enligt 9 § SSMFS 2008:21 ska säkerhetsanalysen omfatta förhållanden, händelser och processer vilka kan leda till spridning av radioaktiva ämnen efter förslutning och att sådana analyser ska göras innan slutförvaret uppförs, innan det tas i drift och innan det försluts. Av de allmänna råden till 9 § framgår det att syftet med säkerhetsanalysen är bl.a. att visa att riskerna är acceptabla i förhållande till SSMFS 2008:37. Säkerhetsanalysen bör också syfta till att ge en grundläggande förståelse av slutförvarets funktion i olika tidsrymder och till att identifiera krav på funktion och konstruktion av slutförvarets olika delar. 10 § SSMFS 2008:21 anger att säkerhetsanalysen ska omfatta så lång tid som barriärfunktioner behövs, dock minst 10 000 år. I de allmänna råden till 10 § SSMFS 2008:37 framgår det att för slutförvar som inte innehåller använt kärnbränsle eller annat långlivat kärnavfall bör riskanalysen åtminstone omfatta tiden fram till dess att de förväntade maximala konsekvenserna avseende risk och miljöpåverkan har inträffat, dock längst för en tidsrymd upp till hundratusen år.

Mot bakgrund av ovan angivna krav och allmänna råd som utgångspunkt granskas i detta kapitel om SKB:s redovisning för perioder med periglacial miljö, och dess övergångar till tempererat klimat, utgör ett godtagbart underlag för att bedöma SKB:s förutsättningar att kunna uppfylla tillämpliga krav.

7.2 Övergripande redovisning för tiden efter 1000 år – periglacialt klimat

Beskrivning av SKB:s underlag

Scenariot med *tidigt periglacialt* klimat ingår i huvudscenariot. Under perioder med periglacial miljö förekommer permafrost som kontinuerlig eller diskontinuerlig. Skillnaden på de båda permafrostformerna är att kontinuerlig permafrost är sammanhängande och djupgående, och diskontinuerlig har inslag av ofrusen mark, s.k. talikar, vilka vanligtvis förekommer under större sjöar och vattendrag. *Tidigt periglacialt klimat* är en variant av fallet *global uppvärmning* i vilken koncentrationen av koldioxid avtar tillräckligt snabbt för att en period av periglaciala förhållanden med permafrosttillväxt ska kunna inträffa runt 20 000 år efter förslutningen (SKB-TR-13-04). Enligt SKB går det inte att utesluta att permafrosten når ett djup av ca 110 meter ca 20 000 år efter förslutningen och -3° isotermeren når ett djup av 110 m ca 50 000 år efter förslutningen (SKB-TR-13-04). Detta djup närmar sig basen på Silon och bergsalarnas tak i den planerade utbyggnaden.

Saltutfrysning i samband med permafrosttillväxt kan öka salthalten i grundvattnet på förvarsdjup. SKB bedömer dock att denna process har mindre betydelse för grundvattnets utveckling efter förslutningen och att den dominerande utvecklingen är att grundvattnet tvärtom med tiden späds ut allt mer till följd av en kontinuerlig infiltration av meteoriskt vatten efter att området höjts ovanför vattenytan (SKB 2015, tabell 6-8).

Gällande avfallets utveckling under perioder med periglacialt klimat kommer alla kemiska processer att ske mycket långsamt om grundvattnet på förvarsdjup fryser. Likaså kommer grundvattenflödet, och däri lösta ämnen, till och från förvaret att minska eller helt upphöra

(SKB 2015, avsnitt 6.5.7). När det periglaciala klimatet övergår i tempererat kommer grundvattenflödet genom bergsalarna, liksom de kemiska processerna i avfallet, att fortsätta.

Framtida perioder med permafrost och glaciation påverkar mekaniska förhållanden i berggrunden, såsom bergspänningsfältet, och kan orsaka sprickbildning och rörelser i berget. SKB gör dock bedömningen att sprickbildning och rörelser i berget i samband med en glaciation inte påverkar förvarets strålsäkerhet (SKB 2015, avsnitt 6.3.3, SKB TR-14-05, kapitel 4, SKB R-13-53).

SKB bedömer att den termo-mekaniska utvecklingen under den periglaciala och glaciala perioden inte har en signifikant inverkan på grundvattenflödet (SKB TR-14-05, avsnitt 4.2.7). Även om berget närmast bergsalarna deformeras till följd av förändrade randvillkor i samband med ett kallare klimat innebär det inte ett ökat vattenflöde genom bergsalarna. Det som styr det totala flödet genom bergsalarna är spricknätverket och sprick- och deformationszonerna i det omgivande utanför den degraderade zonen närmast bergsalarna (SKB dokID 1564380). SKB beaktar inte heller effekterna av frysning eller på- och avlastningen av markytan under en glaciationscykel vid sin analys av bergutfall och stabiliteten av bergpelarna mellan bergsalarna BMA och BLA i SFR1 (SKB-R-13-53). SKB:s analys beaktar dock indirekt effekten av förändrade klimatförhållanden genom att göra ett antal konservativa antaganden. Exempelvis, istället för att modellera sprickpropagering gör SKB i SKB-R-13-53 det konservativa antagandet att sprickorna har infinit längd. Likaså är valet av gränssättande friktionsvinkel vid modelleringen av degraderingen av bergmassan runt om bergsalarna mycket lågt vald vilket implicit beaktar porvattentrycket (SKB TR-14-05, avsnitt 4.3.7).

SSM:s bedömning

SSM anser att klimatet under den kommande 100 000 årsperioden kommer sannolikt utgöras av perioder med tempererat klimat och periglacialt klimat med dess övergångar, vilka har beaktats i SKB:s säkerhetsredovisning. SSM bedömer därför att SKB:s hantering av klimatutvecklingen för huvudscenariot är lämplig. Mer detaljerade beskrivningar av SKB:s redovisning av klimatutvecklingen efter förslutningen och SSM:s bedömning av denna ges i del III, avsnitt 3.2 i denna granskningsrapport. SSM bedömer att SKB:s redovisning av effekten av saltutfrysning och avfallets kemiska utveckling under periglaciala förhållanden är godtagbar.

Bergsalarnas stabilitet över tiden och associerade förändringar i den hydrauliska konduktiviteten är viktiga faktorer att ta hänsyn till vid bedömningen av säkerhetsfunktionen *långt flöde i förvarsutrymmen*, vilket kopplar till säkerhetsprincipen *fördröjning av uttransport av radionuklider*.

SSM:s inledande granskning av ingenjörsgelogiska aspekter (SSM 2016:12, del 3) identifierade flera områden i behov av fördjupad granskning bl.a.:

- långsiktig stabilitet av bergsalarna i SFR och inverkan av klimatförändringar och kommande glaciationer
- effekterna av degradering av bergförstärkningarna i SFR.

SSM har genomfört en oberoende analys som adresserar dessa punkter (SSM 2017:31 del 1). Inkluderat i denna analys är en modellering av periglaciala och glaciala förhållanden och deras övergångar till ett tempererat klimats påverkan på bergsalarnas långsiktiga stabilitet. Modelleringen har utförts med 2D programmet UDEC. SKB har däremot använt

sig av 3D versionen av UDEC benämnd 3DEC. Modelleringen utgår från SKB:s klimatfall *tidigt periglacialt klimat* där permafrost ner till förvarsdjup förväntas ske vid tiden 17 000 till 20 500 år efter förslutning. Övergången till ofrusna markförhållanden antas ta 1000 år. Permafrostens påverkan på bergsalarna simulerades genom en serie 2D UDEC hydro-mekanisk kopplade modeller för att uppskatta porttryckets inverkan på den totala spänningen. Fyra DFN-realisationer modellerades för både befintligt SFR och utbyggnaden av SFR och för olika tider. Tiderna 20 000 år och 50 000 år inkluderar simuleringar av permafrost och permafrostavsmältning samt glacial pålastning och avlastning. Resultatet visade att SKB:s motsvarande modellering är konservativ med avseende på sprickfriktionsvinklar och att väldigt låga friktionsvinklar behövdes för att simulera en storskalig kollaps. SKB menar att uppsprickning av berg inte kommer att nå havsbotten och modelleringen utförd i av SSM:s externa experter (SSM 2017:31, del 1) stödjer denna konklusion. Modelleringen visar att för befintligt SFR kommer troligen endast utfall av små kilar, begränsad spjälkning samt små skjuvrörelser att ske. Den höga horisontella spänningen bidrar i stor utsträckning till stabiliteten. Skjuvrörelserna kan dock ge upphov till en kumulativ effekt av sprickvidgning inom en meter från en specifik bergsal och öka permeabiliteten i bergmassan. Simuleringar med avseende på utökat djup och lägre andel av återfyllda tunnlar medförde en ökning av bergskador över och runt tunnlar för utbyggt SFR jämfört med befintligt SFR. Även spjälkning och bergutfall ökade under glacial pålastning och avlastning i modelleringen som avser utbyggnad av SFR. Detta visar på vikten av återfyllnadens funktion för stabiliteten av tunnlar. SSM:s experter drar slutsatsen att bergutrymmena är stabila med återfyllnad utan bergförstärkning under en lång tid efter förslutning. SSM anser sammanfattningsvis att SKB modellerat tunnelstabiliteten på ett fullgott sätt.

7.3 Betongbarriärer

Beskrivning av SKB:s underlag

SKB redovisar i SKB dokID 1572377 studier av Pålbrink och Rydman (2013) i vilka man har utfört ultraljudsmätningar på betong före och efter frysning ned till minst -10°C . Dessa experiment utgår från betong med förhållandevis högt vattencementtal (0,7 att jämföra med 0,63 som 1BMA hade vid uppförandet) för att efterlikna åldrad betong med större porvolym. Dessa studier visar på uppkomst av mikrosprickor men inga omfattande skador i några av försöken vilket står i kontrast till tidigare modelleringar där betong som genomgått frysning bedömdes få en hydraulisk konduktivitet motsvarande grus (Emborg m.fl., 2007). I senare experiment (Thorsell, 2013) erhöles sönderfusen betong efter nedkylning till -5°C . Torkningsmetoderna som tillämpades i de experimenten gjordes när betongen ej var vattenmättad vilket bedöms kan ha påverkat resultaten (SKB dokID 1572377). Nedfrysning till -4°C gav dock, trots torkningsmetoden, inga detekterbara skador. Liknande de studier som utfördes av Pålbrink och Rydman (2013) har gjorts på portlanditutlakad betong för att analysera effekten av frysning på kraftigt degraderad betong (Babaahmadi, 2015). Mängden tillgängligt vatten som kan genomgå frysning i utlakad betong är större än för färsk betong. Ultraljudsmätningar utfördes på fryst, utlakad betong för att uppskatta omfattningen av sprickbildningen men påverkan på betongens hydrauliska konduktivitet bedömdes vara begränsad (Karlsson, 2017, SKB dokID 1572377), där den för fryst färsk betong uppmättes till $2,7 \cdot 10^{-11}$ m/s och för lakad och fryst betong till $6,3 \cdot 10^{-10}$ m/s, vilket är betydligt lägre än de hydrauliska egenskaper som antas gälla för samtliga betongbarriärer i SFR med planerad utbyggnad vid perioden då periglaciala förhållanden förväntas uppstå. Baserat på modelleringar av den framtida klimatutvecklingen bedömer SKB att betongbarriärernas frystemperaturkriterium på -3° sannolikt nås tidigast vid solinstrålningsminimumet 54 000 år efter förslutningen av SFR

(SKB TR-13-04, avsnitt 4). Vid denna tidpunkt antar SKB att betongbarriärerna redan är fullständigt degraderade med en hydraulisk konduktivitet motsvarande makadam-återfyllnadens (SKB TR-14-09, tabell 4-1). En frysning vid 50 000 e.Kr har därför en försumbar påverkan på betongens hydrologiska barriärfunktion. Den kemiska barriärfunktionen, som baseras på betongens sorptionsegenskaper och förmågan att tillgodose gynnsamma kemiska betingelser, förväntas dock bestå under denna tidsskala (SKB, 2015 avsnitt 6.5.8).

SSM:s bedömning

SSM anser att påverkan på betongens hydrauliska egenskaper som följd av frysning beror på betongens degraderingstillstånd och vilken lägsta temperatur som slutligen når förvarsdjupet. Utifrån SKB:s redovisning visar studier på att betong med relativt stor porstorlek, motsvarande åldrad betong, är förhållandevis motståndskraftig mot frysning och att temperaturer motsvarande -10°C krävs för att betongen ska frysa sönder. De frysningsexperiment som SKB har utfört på lakad betong bedöms vara trovärdiga och vetenskapligt motiverade. Dessa experiment visar på att frysning av lakad och förhållandevis kraftigt kemiskt degraderad betong medför en relativt liten påverkan på dess hydrauliska egenskaper. Exempelvis så är SKB:s ansatta värden för betongens hydrauliska konduktivitet vid tidpunkten då periglaciala förhållanden för de minst degraderade barriärerna flera storleksordningar högre än de experimentellt uppmätta värdena och SKB bedöms således ha hanterat betongens frysning på ett rimligt sätt i SR-PSU.

7.4 Lerbarriärer

Beskrivning av SKB:s underlag

På grund av osmoseffekt förekommer en fryspunktssänkning vid frysning av porvattnet i bentonit (SKB TR-10-40). Experimentella studier av bentonitfrysning visar att processerna för frysning är komplicerade. Frysning av bentonitporvattnet sker alltid under 0°C och föregås av en total förlust av svälltrycket hos bentoniten. SKB definierar fryspunkten som den temperatur (T_c) vid vilken svälltrycket blir noll. Beroende på bentonitens densitet kan fryspunkten variera från lite mindre än 0°C ned till -10°C . Cykliska tester visar också att processen frysning/tining är reversibel, dvs. svälltrycket återhämtar sig efter en cykel av frysning och tining (SKB TR-10-40; SKB R-14-29, kapitel 2).

Under fryspunkten blir den kemiska potentialen för is lägre än den för porvattnet och en dynamisk process sker; vattnet transporteras från att ha befunnit sig mellan montmorillonitflaken till porerna inuti bentonit där det fryser till is. Som en följd av detta minskar avståndet mellan montmorillonitflaken och en ny kemisk jämvikt etableras. Detta innebär att porvattnet i bentonit inte fryser vid en bestämd temperatur utan processen sker under ett temperaturintervall (SKB R-14-29, avsnitt 2.2). Denna typ av frysning har observerats hos bentonitprover med relativt hög densitet, i vilka bentonitmaterialet och även porvattnet har varit homogent fördelat (SKB TR-10-40 och SKB R-14-29, kapitel 3).

Om porvattnet i bentonit inte är homogent fördelat kan vatten i större porer frysa betydligt tidigare, strax under 0°C . Anledningen till detta är att osmoseffekten i de större porerna är betydligt mindre. Frysning och isbildning i stora porer i bentonit kan möjligen leda till frosthävning och bildning av islins. Storleken på islinsen är beroende på av permafrostens propageringshastighet. Med de i Forsmark-området typiska förhållandena under den periglaciala perioden uppskattas den största islinsen bli ca en meter tjock (SKB R-14-29, avsnitt 4.1).

Islinsen bildas genom att porvattnet i andra områden flödar till linsens yta och fryser. Denna process leder till en konsolidering av bentonit i andra områden med en densitetsökning som följd, vilket i sin tur kan leda till ett högre svälltryck. I de båda fallen då konsolideringen antingen antas ske med endast porvattenöverföring eller med både porvattenöverföring och deformation av bentonitmaterial, uppskattas den högsta densiteten i den ofrusna delen av Silo att uppnå 1300 kg/m^3 (torrdensitet) och det högsta svälltrycket motsvarar 2 MPa (SKB R-14-29, avsnitt 4.1 och 4.2).

SKB analyserar även fallet där porvattnet blir fångat lokalt i ett visst område i Silo pga blockering av dräneringsvägar för detta vatten när vatten i omgivningen av området fryser. En topp i svälltrycket, så kallad frostvittringstrycktopp ("frost weathering pressure peak"), kan förekomma under en kort period av tid (SKB R-14-29, avsnitt 4.3).

SSM:s bedömning

SSM bedömer att SKB:s redovisning av frysning av bentonit är vetenskapligt välgrundad och trovärdig. SSM anser att SKB:s analys av säkerhetsbetydelse för frysning och islinsbildning är godtagbar.

SKB:s förståelse av frysningsprocessen av bentonit bygger på väletablerad kunskap i termodynamik, samt experimentella observationer. SSM instämmer med SKB att frysning och islinsbildning i bentonit inte kommer att ha en stor påverkan på Silos långsiktiga strålsäkerhet. Bedömningen har baserats på att frysning och tining av bentonit är en reversibel process och att bentoniten i stort sätt återfår sin skyddsförmåga efter att ha genomgått en cykel av frysning och tining.

SSM anser dock att SKB ytterligare behöver förbättra sin kvantifiering av den så kallade frostvittringsprocessen. Enligt SKB:s preliminära analyser kan processen leda till en väsentlig tryckökning (SKB, 2015, avsnitt 6.6.2; SKB R-14-29, avsnitt 4.3). Analyserna visar också att, om dräneringen blockeras tidigt vid en relativt hög temperatur (-2 till -5°C), kan en trycktopp erhållas på tiotals miljoner Pascal i det mest konservativa fallet. Konsekvenserna av dessa trycktoppar behöver utvärderas i kommande säkerhetsredovisningar.

7.5 Hydrogeologi i närzonen och berget

Beskrivning av SKB:s underlag

SKB beskriver i SR-PSU (avsnitt 6.5.4) att det som huvudsakligen påverkar skillnaden i flöden under tempererade respektive kalla klimatförhållanden är utbredningen av frusen mark. Den frusna marken hindrar grundvattenbildning och påverkar den rumsliga fördelningen av in- och utströmningsområden. Om talikar förekommer påverkas de hydrauliska gradienterna i förhållande till helt frusna eller tempererade förhållanden.

För en situation med genomgående frusen mark minskar flödena i SFR och flödesvägar samt transporttider blir längre samtidigt som flödesrelaterade transportmotståndsvärden ökar. Endast för en situation med talikar kan något ökande flöden genom förvarssalarna förekomma i förhållande till tempererade förhållanden (SKB R 13-25, figurer 5-5 – 5-8; SKB P 14-06, figurer 8-5 – 8-8). SKB konstaterar att osäkerheten i totala flöden för de olika periglaciala klimatfallen som har undersökts inte är större än osäkerheterna förknippade med tempererade förhållandena. Utsläppspunkterna vid markytan styrs av förekomsten av talikar, vars lägen i modelleringen baseras på olika antaganden.

Påverkan på flödet genom förvarssalarna har simulerats med antagandet att marken ovanför förvaret är frusen. Flödena avtar markant för en sådan situation. Om förvaret också fryser avstannar flödet helt (SKB, 2015, avsnitt 6.5.5). SKB sammanställer alla beräkningsfallen i tabell 5-2 i SKB R-13-25.

SSM:s bedömning

SSM bedömer att SKB:s beskrivning av ett kallt klimats påverkan på flödena i fjärr- och närzonen ger en rimlig bild av skillnaderna till de tempererade förhållandena som råder nu och förhållanden som kan uppstå under en längre tid framöver. SSM delar SKB:s slutsats att genomgående permafrost leder till lägre flöden, vilket begränsar utsläpp av radionuklider till biosfären. Likaså är det givet att förekomst av talikar ändrar dessa förhållanden och att högre flöden därmed kan förekomma. SSM bedömer att SKB:s antaganden kring antal och lokaliseringen av talikar är godtagbar. Modellering baserat på dessa antaganden visar ett spann av möjliga utfall som utgör en lämplig utgångspunkt för konsekvensanalysen. Eftersom dessa modelleringar har baserats på samma modell som beräkningarna för den tempererade fasen är de också behäftade med motsvarande osäkerheter. Dessa diskuteras i denna rapport del III avsnitt 3.5 och 5.7. Härur framgår det också att SSM bedömer att SKB:s hantering av viktiga modelleringsosäkerheter är adekvat samt att modellernas resultat är tillämpliga för fortsatta analyser i säkerhetsanalysen SR-PSU.

7.6 Kemiska betingelser i närzonen och berget

Beskrivning av SKB:s underlag

Enligt SKB:s beskrivning (SKB, 2015, avsnitt 6.5.6) kommer vattenflöde och transport av lösta ämnen till och från förvaret att minska eller till och med upphöra helt då periglaciala förhållanden råder. Advektiv transport av lösta ämnen begränsas av det låga flödet, vilket kan förändras av förekomsten av talikar. Som även nämnts i avsnitt 6.8 föreslår SKB två grupper av grundvattensammansättningar, en för en periglacial period inom de närmaste 40 000 åren och en för motsvarande period i en avlägsen framtid (SKB, 2015, tabell 6-8). Sammansättning uppskattas likna den som förväntas under perioder med tempererat klimat även om man bejakar att utfrysning av olika ämnen kan påverka grundvattnets salinitet. Detta bedöms dock endast ske lokalt varpå påverkan på salthaltsfördelningen anses vara försumbar (SKB R-13-16, avsnitt 4.2). Infiltrerande meteoriskt grundvatten förväntas istället späda ut grundvattnet. SKB anser att blandning med äldre grundvattentyper kan påverka rumslig fördelning av sammansättningen men att resultat från de reaktiva transportmodellerna (SKB R-13-30) i synnerhet måste beaktas för förståelsen av den långsiktiga utvecklingen.

Underlagsrapporten (SKB R-13-16) om långsiktig grundvattenkemisk utveckling förlitar sig i första hand på expertbedömningar som har baserats på tillgänglig kemidata för grundvatten relaterade till permafrostförhållanden (bl.a. från Lupingruvan i Kanada, se referenser i SKB R-13-16, avsnitt 4.2). Redovisade data visar på små skillnader i pH och relevanta koncentrationer av lösta ämnen i jämförelse med vad som föreslås för det tempererade fallet.

Rapporten (SKB R-13-30) beskriver SKB:s reaktiva transportmodellering för både det tempererade och periglaciala fallet. I beräkningsfallen (ett basfall och ett variantfall) förväntas i första hand kalcit buffra pH och hematit respektive FeS buffra redoxförhållanden. I modelleringen erhöles aningen högre pH-värden (8.2-9.4) och aningen mer negativ redoxpotential (-271 till -352 mV), i jämförelse med fallet med tempererat klimat. Dessa värden tillämpas dock inte explicit i SR-PSU även om de ger ett stöd för de val man

gjort med avseende på grundvattnets referenssammansättning. SKB:s reaktivtransportmodellering visar inte på några betydande förändringar i grundvattensammansättning till följd av infiltrerande vatten från talikar.

SSM:s bedömning

SSM bedömer att SKB:s beskrivning av ett kallt klimats påverkan på grundvattenkemiska betingelser i närzonen är rimlig. SSM delar SKB:s slutsatser rörande påverkan på flödena i fjärr- och närzonen (se del III avsnitt 7.5 i denna rapport) och bedömer att hanteringen av talikar är godtagbar. Givet detta bedömer SSM vidare att SKB:s antagande att grundvattnets sammansättning inte i någon större omfattning bör förändras jämfört med den som antas under perioder med tempererat klimat är godtagbar.

SSM noterar dock att SKB anser att man i beskrivningen av den långsiktiga utvecklingen av grundvattnets sammansättning i större utsträckning bör förlita sig på resultaten i reaktiv transportmodelleringen. SSM anser inte att SKB gjort detta på ett transparent och tydligt sätt i säkerhetsanalysen och önskar en tydligare motivering och härledning av valen av sammansättning för perioder med kallt klimat utifrån de två underlagsrapporter man hänvisar till och förlitar sig på för att beskriva den geokemiska utvecklingen efter förslutning av förvaret.

7.7 Sammanfattande bedömning

SSM anser att klimatet under den kommande 100 000 årsperioden sannolikt kommer att utgöras av perioder med tempererat klimat och periglacialt klimat med dess övergångar. Enligt SSM:s bedömning är SKB:s hantering av klimatutveckling för huvudscenariot lämplig eftersom den hanterar dessa faser och övergångar.

SSM konstaterar avseende betongbarriären att SKB:s ansatta värden för betongens hydrauliska konduktivitet vid tidpunkten då periglaciala förhållanden för de minst degraderade barriärerna är flera storleksordningar högre än experimentellt uppmätta värden för motsvarande situationer. SSM bedömer baserat på detta att SKB har hanterat betongens frysning på ett rimligt sätt i säkerhetsanalysen.

SSM bedömer att SKB:s redovisning av frysning av bentonit är vetenskapligt välgrundad och trovärdig. SSM anser att SKB:s analys av säkerhetskONSEKVENSERNA till följd av frysning och islinsbildning är godtagbar.

SSM bedömer att SKB:s beskrivning av ett kallt klimats påverkan på flödena i fjärr- och närzonen ger en rimlig bild av skillnader mellan tempererade förhållandena som råder nu och tänkbara förhållanden under en lång tid framöver. SSM delar SKB:s slutsats att genomgående permafrost leder till lägre flöden och begränsar utsläpp av radionuklider till biosfären. Likaså är det givet att förekomst av talikar ändrar dessa förhållanden och att högre flöden därmed kan förekomma. SSM bedömer att SKB:s antaganden kring antal och lokalisering av talikar är godtagbar och resultat från analyserna visar på ett spann av möjliga utfall som är en lämplig utgångspunkt för konsekvensanalyserna.

SSM bedömer att SKB:s beskrivning av ett kallt klimats påverkan på grundvattenkemiska betingelser i närzonen är rimlig. SSM delar SKB:s uppfattning rörande påverkan på flödena i fjärr- och närzonen och bedömer hanteringen av talikar som godtagbar. Givet detta bedömer SSM vidare att SKB:s antagande att grundvattnets sammansättning inte i någon större omfattning förändras jämfört med den som antas under perioder med tempererat klimat är godtagbar.

8 Framtida mänskliga handlingar

SSM bedömer i detta kapitel SKB:s hantering av framtida mänskliga aktiviteter inverkan på SFR förvaret efter förslutning. Valet att isolera och koncentrera det radioaktiva avfallet snarare än att späda ut eller sprida ut det leder oundvikligen till att framtida mänskliga aktiviteter FHA ("Future Human Actions") kan, direkt eller indirekt, påverka förvarets säkerhetsfunktioner och därmed den långsiktiga strålsäkerheten. I samband med förvarsutformningen och platsvalet behöver därför möjligheten att begränsa sannolikheten för att framtida mänskliga handlingar inverkar negativt på slutförvarets skyddsförmåga beaktas. Detta innefattar exempelvis val av förvarsdjup respektive lokalisering i områden utan betydande naturresurser. SSM avser i detta sammanhang framtida mänskliga handlingar som är *oavsiktliga* i perspektivet påverkan på slutförvaret. Skillnaden gentemot avsiktliga mänskliga handlingar är att vetenskapen om förvarets syfte och lokalisering, och vilka risker det kan medföra att exempelvis förvaret penetreras genom borrhå, har gått förlorad. För att så långt som möjligt minska sannolikheten för oavsiktliga intrång behöver det också finnas strategier för kunskaps- och informationsöverföring till framtida generationer.

I SSM:s författningssamling (SSMFS) finns inga krav på redovisning av scenarier för avsiktligt framtida intrång i ett slutförvar av kärnavfall. Anledningen är att sådana scenarier skulle bli spekulativa både vad gäller deras sannolikheter och eventuella konsekvenser. Dagens samhälle kan inte skydda framtida samhällen från sina egna medvetna handlingar om de förstår deras potentiella konsekvenser (NEA, 1995). Detta synsätt ligger i linje med internationella rekommendationer med avseende på avsiktliga framtida intrång (en sammanställning av dessa görs i SKI Rapport 2008:19, bilaga 3; se även ICRP 2013, avsnitt 4.6.2).

Kapitlet inleds med en beskrivning av kravbilden för framtida mänskliga handlingar enligt SSMFS vilket följs av en allmän beskrivning av SKB strategi för hantering av framtida mänskliga handlingar, vilken även inkluderar motsvarande scenariobeskrivning. Därefter följer mer detaljerade beskrivningar och bedömningar av SKB:s: framtagna scenarier.

8.1 Inledning

Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter om arkivering vid kärntekniska anläggningar (2008:38) beskriver överskådligt i Bilaga 1 vilken dokumentation som ska sparas respektive kan gallras. Vidare hänvisar SSMFS2008:38 i stor utsträckning till Riksarkivets föreskrifter publicerade i Riksarkivet författningssamling (RA-FS).

SSM har utfärdat två föreskrifter gällande strålsäkerheten efter förslutningen av ett förvar för kärnavfall (SSMFS 2008:21 och 2008:37).

Enligt 9 § SSMFS 2008:37 ska konsekvenserna av ett intrång i ett slutförvar redovisas för de olika relevanta tidsperioderna och slutförvarets skyddsförmåga efter intrång ska redovisas. Enligt 4 § SSMFS 2008:37 ska optimering av strålskyddet ske, liksom hänsyn till bästa möjliga teknik tas, vid slutligt omhändertagande av kärnavfall.

Enligt 9 § SSMFS 2008:21 ska säkerhetsanalysen omfatta förhållanden, händelser och processer vilka kan leda till spridning av radioaktiva ämnen efter förslutning, vilket enligt de allmänna råden även innefattar framtida mänskliga handlingar.

Förutom 9 § SSMFS 2008:37 finns inga explicita krav i föreskrifterna gällande hanteringen av FHA. Nämnade föreskrifters allmänna råd ger dock vägledning till

myndighetens bedömning huruvida redovisning med avseende på FHA kan förväntas uppfylla föreskriftskraven. Enligt de allmänna råden till 2 och 3 §§ i SSMFS 2008:21 bör ett slutförvar förläggas på betryggande avstånd från naturresurser som utnyttjas idag eller kan komma att utnyttjas i framtiden. Liknande resonemang förs i de allmänna råden till 4, 8 och 9 §§ i SSMFS 2008:37. Där framgår det att vid tillämpning av bästa möjliga teknik bör hänsyn också tas till möjligheten att begränsa sannolikheten för, och konsekvenserna av, oavsiktlig framtida mänsklig påverkan på slutförvaret, t.ex. oavsiktligt intrång. Ett ökat förvarsdjup och undvikande av förläggningsplatser med brytbara mineraltillgångar kan t.ex. minska sannolikheten för oavsiktligt mänskligt intrång. Vidare framgår det enligt de allmänna råden till 4, 8 och 9 §§ i SSMFS 2008:37 att en strategi bör tas fram för informationsbevarande så att åtgärder kan vidtas inför förslutning av slutförvaret. Exempel på information som bör beaktas är uppgifter om slutförvarets läge, innehåll av radioaktiva ämnen och konstruktion.

De allmänna råden till 5-7 §§ i SSMFS 2008:37 ger vägledning kring definition av scenarier för framtida oavsiktlig mänsklig påverkan på slutförvaret som bör redovisas. Scenarierna bör omfatta ett fall av direkt intrång i samband med borring i förvaret, och några exempel på andra aktiviteter som indirekt försämrar säkerhetsfunktionerna, t.ex. genom att förändra de hydrologiska eller grundvattenkemiska förhållandena i slutförvaret eller dess omgivning. Urvalet av intrångsscenarioer bör baseras på dagens levnadsvanor och tekniska förutsättningar, och ta hänsyn till slutförvarets egenskaper. Konsekvenserna för det störda slutförvarets skyddsförmåga bör illustreras med beräkningar av stråldoser för individer i den mest exponerade gruppen, och redovisas separat utanför riskanalysen för det ostörda slutförvaret. Resultaten bör användas för att belysa tänkbara motåtgärder och ge ett underlag till tillämpning av bästa möjliga teknik.

Ytterligare vägledning ges i de allmänna råden till 9 § och bilaga i SSMFS 2008:21. Där framgår det att hanteringen av framtida mänskliga handlingar bör omfatta restscenarier för att belysa konsekvenserna av ett ej förslutet slutförvar som lämnats utan övervakning samt fall för att åskådliggöra skador på människor som gör intrång i slutförvar. Vidare framgår det att mindre sannolika scenarier som beaktar effekter av framtida mänsklig verksamhet såsom skador som tillfogats barriärer bör tas fram.

8.2 Allmänt om framtida mänskliga handlingar

Beskrivning av SKB:s underlag

SKB:s hantering av framtida mänskliga handlingar beskrivs i FHA-rapporten (SKB TR-14-08) med en sammanfattning i SR-PSU. Beräkningar av konsekvenserna av användningen av vatten från uppförda brunnar i anslutning till förvaret samt från ett övergivet oförslutet förvar redovisas i radionuklidtransportrapporten (SKB TR-14-09). För att säkerställa att alla relevanta faktorer, relaterade till FHA, är omhändertagna i säkerhetsanalysen SR-PSU har SKB jämfört SR-PSU:s FEP katalog, dels med tidigare säkerhetsanalyser för använt kärnbränsle (SR-Site, SR-Can och SR 97), dels med tidigare säkerhetsanalyser för SFR (SAR 08 och SAFE), och dels med NEA:s FEP databas.

Förvaret ligger utanför kusten och utgörs huvudsakligen av granitiska bergarter och pegmatiter. Runt förvarsvolymen dominerar berggrunden av felsiska till intermediära metavulkaniter. Inga järn- eller sulfidmineraliseringar har observerats i vulkaniterna, men eftersom merparten av området ligger under Östersjön, varifrån inga mineralogiska data finns framtagna, kan mineraliseringar av ekonomiskt intresse i vulkaniterna inte helt uteslutas (SKB R-04-18). Genom att förlägga förvaret i en vanligt förekommande

bergartstyp utan naturresurser där den omgivande berggrunden sannolikt saknar malmpotential bedömer SKB att platsvalet bidrar till att begränsa sannolikheten för inverkan av FHA. Faktorer som minskar sannolikheten för framtida mänskliga intrång är dels att SKB avser att slutligt försluta försvaret, dels att området kommer vara täckt av Östersjön under ca 1200 år efter förslutningen (SKB TR-13-05, avsnitt 2.2). SKB antar således i sin scenarioanalys att FHA kan inträffa först efter ca 3000 e.Kr. Placeringen under Östersjön är en av de mest betydelsefulla säkerhetsrelaterade egenskaperna hos förvarets initialtillstånd (SKB, 2015, avsnitt S2.2). Placeringen innebär att den hydrauliska gradienten kommer vara låg under den inledande ca 1000 år långa marina fasen efter förslutningen och under denna tid hinner en stor del av avfallets radioaktivitet att klinga av.

Val av förvaringsdjup är ytterligare en faktor av betydelse för att minska sannolikheten att FHA ska påverka förvaret. SKB har i kompletteringsbilaga SFR-U K:4 förtydligt och motiverat varför utbyggnaden av SFR är planerad att förläggas till 120 m (SKB dokID 1535980). Baserat på statistik för brunnsdjup i norra Uppland (SKB dokID 1535980, tabell 4-1) och på den relativt begränsade arean för förvarets olika delar i förhållande den nutida areella fördelningen av brunnar (SKB R-13-19, avsnitt 6), bedömer SKB att den minskade risken för FHA vid ett förläggningsdjup på 230 m är marginell för dricksvattenbrunnar. Beträffande energibrunnar minskar risken för genomborring av förvaret markant vid ett förläggningsdjup på 230 m jämfört med 120 m. Eftersom vattencirkulationen i energibrunnar är sluten bedömer dock SKB att exponeringen är låg efter att arbetet har avslutats. Däremot innebär borring av energibrunnar en risk att utsättas för borrhax med radioaktivt material. SKB anser sammanfattningsvis att den marginella förväntade förbättringen vid ett förläggningsdjup på 230 m jämfört med 120 m inte är försvarbar ur en ekonomisk-, tids- och miljöbelastningssynpunkt (SKB dokID 1535980).

I kompletteringsbilaga SFR-U K:1 till ansökan om utbyggnad av SFR framgår det att SKB bedömer att förvarets utformning ger förutsättningar för att förvaret inte behöver kontrolleras eller övervakas för att upprätthålla säkerheten efter förslutningen (SKB dokID 1476551, avsnitt 3.31). Detta ligger i linje med ICRP:s rekommendationer med innebörden att intrång efter slutlig förslutning primärt förhindras genom utformningen av slutförvaret (ICRP, 2000). SKB framhåller vidare vikten av informationsbevarande åtgärder efter förslutning av slutförvaret. De uppger att en strategi för bevarande av information efter förslutning av förvaret kommer att tas fram i rimlig tid innan förvaret försluts, som delvis baseras på internationellt samarbete (SKB, 2015, bilaga B1.3). Syftet är att framtida generationer ska kunna fatta välgrundade beslut och hindra oavsiktliga intrång. I kompletteringsbilaga SFR-U K:1 framgår att så länge som SKB:s anläggningar är i drift kommer SKB bevara all data och information av betydelse. När SKB:s verksamhet upphör ska arkivet vara ordnat och förtecknat, och överlämnas till Riksarkivet. För att säkerställa att informationen om ett slutförvar kan bevaras in i framtiden har SKB startat upp flera egna forskningsprojekt samt deltar i internationella projekt som OECD-NEA:s projekt RK&M ("Records, Knowledge and Memory").

SKB:s metodik för hantering av FHA scenarier följer den som har använts för tidigare säkerhetsanalyser för bränsleförvaret (SR-Site, SR-Can) och för SFR (SAR 08). SKB har vid sin definition av scenarier relevanta för FHA tillämpat en s.k. top-down-strategi (SKB TR-14-08, figur 3-1), vilken innefattar identifikation av:

- säkerhetsfunktioner
- mänskliga handlingar som kan påverka säkerheten efter förslutning (tekniska FEP:s),

- tänkbara samhällsförhållanden vilka påverkar sannolikheten att framtida mänskliga handlingar kan ske som kan påverka ett slutförvars radiologiska säkerhet (sociala FEP:s).

Med dessa utgångspunkter har SKB tagit fram flera representativa scenarier för mänskliga handlingar vilka har analyserats och utvärderats antingen kvantitativt eller kvalitativt. SKB klassificerar två av de framtagna scenarierna som mindre sannolika och som således beaktas i risksummeringen:

- Scenariot med brunnar nedströms förvaret (SKB, 2015, avsnitt 7.6.7).
- Scenariot med intrångsbrunnar (SKB, 2015, avsnitt 7.6.8)

Övriga relevanta scenarier klassificeras som restscenarier:

- Scenariot med ej förslutet förvar (SKB, 2015, avsnitt 7.7.6)
- Scenarier för framtida mänskliga handlingar (SKB, 2015 avsnitt 7.7.7)
 - Borrning i förvaret
 - Vattenverksamhet
 - Underjordskonstruktion

I SR-PSU (SKB, 2015, kapitel 9) redogör SKB för radionuklidtransport och dosberäkningar för dessa scenarier.

Remissinstansers synpunkter

Göteborgs universitet

Göteborgs universitet har synpunkter på SKB:s ansökan (SSM2015-1640-21) gällande hantering av framtida mänskliga handlingar (SKB TR-14-08), och särskilt avsnitt 4.4.1 den SKB-rapporten. Remissinstansen anser att rapporten alltför kortfattat hanterar frågan om eventuella mänskliga intrång i framtiden. Det antas i SKB:s rapport att den som kan borra ner till avfallet också har tillräcklig kunskap och förståelse för det radioaktiva avfallets strålning (SKI TR 89:15). Ingen hänsyn alls tas dock till senare års humanistiska forskning om dessa frågor. I själva verket är frågan betydligt mer komplicerad än vad som kortfattat omnämns. Att framtida generationer har kunskap om borrning behöver inte innebära att de också har kompetens inom strålningsområdet. Det kan vara värt att beakta att man vid driften vid Falu koppargruva redan för femhundra år sedan nådde trehundra meter under marknivån. Intrång kan alltså ske av olika skäl utan att kunskap finns om strålningen och/eller kompetens att bedöma dess farlighet. Av historien kan vi också lära att det som grävs ner gärna grävs upp i ett senare skede, t.ex. vid gravsättningar. Det finns vidare skäl att ta hänsyn till den forskning om det radioaktiva avfallets etiska aspekter som bedrivits under senare år. Överhuvudtaget är etiska infallsvinklar på legitimitet rörande förvar av radioaktivt avfall ett område som intresserat forskningen under senare år, vars resultat inte beaktas i SKB:s tillståndsansökan. Göteborgs universitet anser att underlagen behöver kompletteras. Universitetet vill poängtera att frågor som rör mänskligt intrång i förvaret behandlas i ansökan på ett sätt som inte ger underlag för att på ett sakkunnigt kunna bedöma riskerna.

Naturskyddsföreningens och Miljöorganisationernas kärnavfallsgranskning

Naturskyddsföreningens och Miljöorganisationernas kärnavfallsgranskning (MKG) anser (SSM2015-1640-32) att slutförvaringen av kortlivat radioaktivt avfall i Forsmark på djup som det är tänkt innebär en långsiktig risk för avsiktliga mänsklig intrång. I miljökonsekvensbeskrivningen på sidan 122 framgår att "Havet utgör en barriär mot

framtida mänskliga intrång i förvaret fram till dess att strandlinjen passerat förvaret, runt år 3000". Vad risken för avsiktliga intrång innebär efter att strandlinjen har passerat förvaret efter år 3000 redogör dock inte den sökande för. Det finns ett intresse av att föra vidare information in i framtiden för att kunskap ska finnas om slutförvarets existens. Sådan information kan dock även leda till att intrång görs i slutförvaret. Föreningarna anser att problematiken med risken för avsiktliga intrång inte är tillräckligt utredd. De vill att sökanden kompletterar ansökan och MKB:n med en beskrivning av olika scenarier samt med konsekvensanalyser för avsiktliga intrång efter förslutning. Föreningarna vill att sökanden gör en utredning som beskriver vilka barriärkonstruktioner och varningssystem som kan utformas för att i möjligaste mån förhindra avsiktliga intrång och att sedan sådan information tas med i ansökan och MKB:n. Efter kungörelsen har MKG gällande de långsiktiga riskerna för avsiktliga intrång betonat att en förbättrad redovisning görs beträffande de långsiktiga riskerna för avsiktliga intrång, något som sökanden anser inte behövs.

Boverket

Boverket (SSM2015-1640-12) anser att den kommande markanvändningen kan komma att påverkas på något sätt. Det finns inget utvecklat i ansökan om detta. Men det bör exempelvis knappast vara tillåtet att inom överskådlig framtid borra några djupare hål i markområdet. Kunskapen om området behöver också dokumenteras på ett sätt som gör att denna kunskap långsiktigt kan upprätthållas.

Östhammars kommun

Östhammars kommun (SSM2015-1640-33) anser att informationsbevarande efter förslutning är en viktig fråga och kommunen vill gärna ta del av den internationella praxis som ligger till grund för SKB:s förväntningar. En källhänvisning vore därför önskvärd. Efter kungörelsen har Östhammars kommun framfört att kommunen anser att SKB bör hålla frågan om informationsbevarande efter förslutningen aktuell och levande och regelbundet redovisa utvecklingen av ny teknik och strategier för bevarandet av information efter förslutningen till tillsynsmyndigheten. Vidare anser Östhammars kommun att SKB under drifttiden bör hålla frågan om övervakning efter förslutning aktuell och levande och regelbundet redovisa utvecklingen av ny teknik för övervakning efter förslutning till tillsynsmyndigheten.

SSM:s beaktande av remissynpunkter

Göteborgs Universitet (GU) kritiserar att scenariot borring i förvaret antar att de som gör intrånget även förstår farligheten i det radioaktiva materialet som förs upp till markytan. GU hänvisar till avsnitt 4 i FHA-rapporten (SKB TR-14-08) vilket beskriver förhållanden, händelser och processer (FEP) relaterade till framtida mänskliga handlingar som potentiellt kan påverka strålsäkerheten efter förslutning. Det specifika avsnittet som GU syftar till diskuterar samhällsutvecklingen i förhållande till den allmänna vetenskaps- och kunskapsnivån. En ogynnsam samhällsutveckling i det perspektivet kan leda till att tekniken för att borra sig ner i förvaret samt kunskapen om avfallets natur går förlorad. En mer kontinuerlig samhällsutveckling där vetenskaps- och kunskapsnivån successivt byggs på kan innebära motsatsen, dvs. att både tekniken för att borra ner till förvaringsdjup finns kvar och att de som gör intrång också har kvar förmågan att förstå farligheten i det radioaktiva material som förs upp till markytan. Men, som GU påpekar, finns det naturligtvis inga garantier för att detta generella orsakssamband ska råda i framtiden, dvs. även om kunskapsnivån överlag ökar så kan viss kunskap, såsom kunskapen om radioaktivitet, av olika orsaker glömmas bort (s.k. selektiv glömska). I detta avseende är det viktigt att förtydliga att SKB i scenariot med borring i förvaret har beaktat risken för selektiv glömska, vilket framgår i SSM:s granskningsrapport (del III, avsnitt 8.5). SSM bedömer därför att denna synpunkt från GU är beaktad i SKB:s redovisning.

Gällande GU:s synpunkt om etiska aspekter håller SSM med om att det är viktigt att hänsyn tas till dylika frågeställningar. SSM menar dock att det internationellt inte har framkommit något som ändrar NEA:s (1995) bedömning att ur ett etiskt perspektiv, inkluderande överväganden av den långsiktiga säkerheten, kan vårt ansvar mot framtida generationer bättre uppfyllas genom ett försvarskoncept som inte kräver övervakning. Försvarskoncept som kräver övervakning innebär att ansvaret succesivt ärvs av kommande generationer och förutsätter en kontinuerlig och stabil samhällsstruktur. För slutförvar avsedda för långlivat radioaktivt avfall bedömer NEA (1995) att geologisk slutförvaring är den bästa strategin. SSM bedömer därför att SKB:s slutförvarsstrategi med geologiskt slutförvar för kortlivat låg och medelaktivt avfall även ur ett etiskt perspektiv är lämpligast och är konsekvent med internationella riktlinjer.

Beträffande MKG:s synpunkt om avsiktliga mänskliga intrång är SSM:s kravbild, se (SSM, 2019, del III, avsnitt 8.1), avgränsad till oavsiktliga mänskliga intrång. Denna kravbild är konsekvent med internationella rekommendationer kring hantering av framtida mänskliga intrång i säkerhetsanalysen. MKG efterfrågar även en redovisning kring hur barriärkonstruktioner och varningssystem ska utformas för att minimera risken för framtida avsiktliga intrång. För att försvåra oavsiktliga mänskliga intrång ska, enligt SKB:s redovisning, SFR toppförslutas vilket innebär att tillfartstunnlarnas översta 50 längdmetrar fylls med stenblock vilket avslutas med betongpluggar (SKB, 2015, avsnitt 4.3). SSM bedömer att dessa åtgärder tillräckligt väl försvårar framtida mänskliga intrång.

Ytterligare utredningar från SKB:s sida beträffande barriärkonstruktioner för att minimera risken för framtida intrång bedöms inte vara nödvändiga under ett skede när den planerade utbyggnaden beskrivs i termer av en referensutformning. MKG:s synpunkt om varningssystem bedömer SSM falla in under kategorin informationsbevarande och andra åtgärder som bör genomföras för att minska risken för framtida mänskliga oavsiktliga intrång. En annan sådan åtgärd är tillämpningen av markanvändningsrestriktioner, vilket även Boverket påtalar. SSM delar Boverkets syn att markanvändningsrestriktioner i någon form sannolikt kommer att tillämpas under tiden för institutionell kontroll. SSM anser dock, som framgår i SSM:s bedömning (del III, avsnitt 8.1), att utformning av dylika åtgärder kan specificeras i ett senare skede i god tid före förslutningen av förvaret.

Gällande informations- och kunskapsbevarande delar SSM Östhammars synpunkt att detta är en betydelsefull fråga. Östhammar efterfrågar den internationella praxis som ligger till grund för SKB:s förväntningar gällande insatser för informationsbevarande efter förslutning. I inledningen till avsnittet framgår det att det pågår ett internationellt projekt (OECD-NEA:s RK&M projekt) vilket ämnar ge stöd till att ta fram en strategi för informations- och kunskapsbevarande. Projektet avrapporterades under 2018 och slutrapporten är färdigställd inför en kommande publicering.

Gällande Östhammars kommuns synpunkt efter kungörelsen på aktiviteter som berör informations- och kunskapsbevarande så kan SSM konstatera att omfattning och utformning av dylika aktiviteter behöver utvecklas och granskas i kommande steg av SKB:s program för att säkerställa att strategier för kunskapsbevarande inför framtiden finns på plats i god tid inför förslutningen av anläggningen. Beträffande frågan om övervakning efter förslutning så kommer SFR inte ha samma behov av övervakning som slutförvaret för använt kärnbränsle eftersom inget, eller endast begränsade mängder, kärnämne har placeras i SFR. SSM håller dock med Östhammars kommun att frågan om övervakning och dess teknikutveckling bör bevakas av SKB för att möjliggöra för det framtida samhället vid förslutning att, om så önskas, kunna övervaka förvaret efter förslutning.

För SKB:s antagande när i tiden efter förslutningen ett slutförvar är bortglömt för SKB resonemang om detta, med hänvisningar till olika referenser, i kapitel 4 i FHA-rapporten (SKB TR-14-08).

SSM:s bedömning

SSM ser positivt på att SKB:s redovisning av scenarier relaterade till FHA har utökats och anser vidare att de har genomförts förbättringar jämfört med SKB:s föregående säkerhetsredovisning (SAR-08) för det befintliga SFR. SSM bedömer även att scenarierna beaktar kraven i myndighetens föreskrifter och följer de allmänna råden.

Myndigheten anser att SKB under platskaraktäriseringen av förvarsplatsen tillräckligt väl har visat att kandidatvolymen och den omgivande berggrunden har försumbar malm-potential. Beträffande val av förvarsdjup instämmer SSM med SKB att ett förläggingsdjup till 120 m för utbyggnaden är godtagbart med hänsyn till kravet att så långt som rimligen möjligt minimera risken för oavsiktliga mänskliga intrång i slutförvaret. SSM bedömer att, även om intrångsbrunnar inte kan uteslutas på det föreslagna förvarsdjupet, så innebär förläggingsdjupet, mot bakgrund av dagens levnadsvanor, en påtaglig begränsning av sannolikheten för ett intrång till följd av anläggningen av en dricksvattenbrunn. Denna bedömning delas av SSM externa expert (SSM 2019:16, del 2). SSM bedömer således att SKB har följt SSM:s allmänna råd gällande tillämpningen av bästa möjliga teknik i sammanhanget mänsklig påverkan (SSMFS 2008:37, AR till 4 §). För energibrunnar når mer än hälften, vilket motsvarar ca 20 % av alla bergborrade brunnar, ner till det planerade djupet på 120 m, vilket dock har sin största betydelse vid uppskattningen av sannolikheten för scenariot *borrning i förvaret* (se Del III, avsnitt 10.3). Energi-brunnar ger dock inte upphov till samma spridning av radioaktiva ämnen eftersom de är baserade på en sluten cirkulation.

Eftersom inga brunnborrningar i anslutning till förvaret förväntas ske under tiden som förvaret ligger under Östersjön anser SSM att det är rimligt att SKB:s brunnsscenarioer utgår från tidsperioden efter 3000 e.Kr. Baserat på nuvarande användning vattenbrunnar i området bedöms SKB:s antagande om när vattenbrunnborrning tidigast kan ske vara försiktigt valt. För scenariot *borrning i förvaret* går det däremot inte att bortse ifrån att det kan ske redan tidigare i undersökningssyfte. Det är i princip omöjligt att förutse samtliga framtida tänkbara mänskliga beteenden. SKB:s verksamhet utgör med de egna undersökningarna exempel på ett undersökningsprogram med djupa borrhål som har genomförts i en berggrund bestående av vanligt förekommande bergarter utan naturresurser. SSM kan därför konstatera att det inte går att utesluta att *borrning i förvaret* genomförs i andra syften än att anlägga en dricksvattenbrunn redan innan området har höjts över havsytan. SSM bedömer därför att i kommande steg av SKB:s program behöver analysen av scenariot *borrning i förvaret* belysa konsekvenserna av *borrning i förvaret* 300 år efter förslutningen. En sådan analys är konsekvent med SKB:s antaganden för när genomborrning av kärnbränsleförvaret inträffar och är värdefull för att utvärdera förvarskonceptets robusthet mot genomborrning och vikten av informationsbevarande till framtida generationer.

SSM anser att det är angeläget att SKB tar fram en övergripande handlingsplan hur information och kunskaper ska bevaras under mycket lång tid innan den utbyggda anläggningen tas i provdrift. I den övergripande handlingsplanen bör det även framgå hur det säkerställs att de delar av information som bedöms vara av betydelse för tiden efter förslutning ska sammanställas på ett lämpligt sätt. SSM konstaterar att synpunkter (SSI 2003:21; SKI 2003:37) på den tidigare säkerhetsanalysen SAFE (SKB, 2001) är omhändertagna på ett adekvat sätt. De synpunkter som betonades vid SAFE granskningen är för övrigt beaktade i det internationella RK&M projektets slutsatser. SKB har inom

ramen för RK&M projektet tagit fram ett utkast som beskriver den information som anses vara central för informationsbevarandet för ett geologiskt förvar för använt kärnbränsle.

8.3 Brunnsborrning i anslutning till förvaret

I de allmänna råden till 5-7 §§ i SSMFS 2008:37 framgår det att valet av intrångsscenarioer bör baseras på dagens levnadsvanor och tekniska förutsättningar, och ta hänsyn till slutförvarets egenskaper. Eftersom förvarsdjupet för den utbyggda anläggningen är jämförbart med det för brunnsborrning är det nödvändigt att konsekvenser av brunnsborrning i anslutning till förvaret beaktas. Detta avsnitt beskriver de mindre sannolika scenarierna *brunnar nedströmsförvaret* och *intrångsbrunnar*. För analys av konsekvenser i samband med hanteringen av borrhax efter brunnsborrning hänvisas till Del III, avsnitt 8.5 i detta kapitel.

8.3.1 Brunnar nedströms förvaret

Beskrivning av SKB:s underlag

Baserat på regolitens sammansättning i Forsmarksområdet (SKB R-13-22) bedömer SKB att de framtida förutsättningarna för att driva jordbruk i anslutningen till förvarsplatsen inte är optimala. SGU:s brunnsarkiv (SGU 2011), vilket bl.a. innehåller uppgifter om enskilda brunnars läge och användning, indikerar att kustnära brunnsborrning huvudsakligen kan associeras till odlingsbar mark (SKB R-13-19, avsnitt 6.4.2). Detta påverkar sannolikheten för framtida brunnsborrning för vattenuttag nedströms förvaret. SKB anser dock att det inte går att utesluta att framtida brunnsborrning utförs. En framtida brunnsborrning behöver inte vara kopplad till en förväntad framtida markanvändning, men beaktandet av denna minskar sannolikheten för brunnsborrning. Därav en klassificering av brunnsborrning som ett mindre sannolikt scenario (SKB, 2015, avsnitt 7.6.7). Scenariot används för att utvärdera säkerhetsfunktionen *undvika brunnar i förvarets direkta närhet*, tillsammans med scenariot för intrångsbrunnar (Del III, avsnitt 8.3.2).

För att uppskatta hur stor mängd radionuklider som en brunn nedströms förvaret kan dra åt sig definierar SKB ett s.k. brunnsinteraktionsområde. Detta område representerar en avgränsad berggrundsvolym, representativ för brunnsdjupet i Forsmarksområdet, med potentiellt höga koncentrationer av radionuklider från förvaret (SKB R-13-19, avsnitt 6.4.5). Brunnsinteraktionsområdet har baserats på hydrogeologisk modellering av grundvattenflödet genom förvaret, och på hur partiklar som släpps ut från förvaret transporteras genom berget och bildar en radionuklidförorenad grundvattenplym (SKB R-13-19, bild 6-12). SKB bedömer konservativt att en brunn borrar i den kontaminerade grundvattenplymen kan fånga ca 10 % av radionukliderna från utsläppen från alla förvarsutrymmen (SKB R-13-19, avsnitt 6.5). Mängden radionuklider som tas upp ur en vattenbrunn ökar linjärt med vattenuttaget, radionuklidkoncentrationen i brunnen är därför oförändrad (SKB R-13-19, avsnitt 6.4.6).

SKB har, baserat på SGU:s brunnsarkiv, analyserat brunnsdensiteten lokalt runt SFR och regionalt i norra Uppland (SKB R-01-27, avsnitt 12.3). Analysen ger en brunnsdensitet på 0,5 brunnar per km² nära SFR under de första 1000 åren efter att strandlinjeförskjutningen medfört att förvaret ligger under mark, vilket innebär ca 2000 år efter förslutning. Analysen ger vidare ca 0,9 brunnar ca 3000 år efter förslutningen varefter brunnsfrekvensen sjunker under 0,5 brunnar per km². Den regionala brunnsfördelningen visar samma tidsrelaterade mönster med skillnaden att vissa områden uppvisar en brunns-

densitet på upp till 2 brunnar per km². En senare studie bedömer att den lokala brunnsfrekvensen som uppgavs i SKB-R-01-27 på 0,9 brunnar per km² efter ca 2000 år efter förslutningen är för pessimistisk då den inkluderar även jordbrunnar och övergivna brunnar (SKB R-13-19, avsnitt 6.4.5). Med anledning av detta bedömer SKB i R-13-19 att det är rimligare att utgå ifrån en brunnsfrekvens på 0,5 brunnar per km² som antas efter 1000 år efter förslutning (SKB R-01-27, avsnitt 12.3). Eftersom interaktionsområdets area är ca 0,26 km² motsvarar detta en sannolikhet på 0,13. SKB har även räknat med en ackumulerande sannolikhet över hela analysperioden (SKB, 2015, avsnitt 10.6.3).

De beaktade utsläppen av radioaktiva ämnen har baserats på beräkningarna i huvudscenariots variant med global uppvärmning. SKB beräknar att maximala doser för hela slutförvaret erhålls för den exponerade gruppen *hushåll med köksträdgård*. Det maximala medelvärdet för den årliga effektiva dosen nås vid ca 5000 år e.Kr., och beräknas till 15,6 µSv, dvs. strax över den dos som motsvarar riskkriteriet. Utsläpp från 1BLA dominerar den högsta årliga effektiva dosen vars radionuklidbidrag i sin tur domineras av intaget av Ac-227 från dricksvatten taget från en brunn borrhåld inom interaktionsområdet (SKB, 2015, avsnitt 9.3.7). Den maximala årliga radiologiska risken ligger dock under riskkriteriet på 10⁻⁶ (SKB, 2015, avsnitt 10.3).

SSM:s bedömning

SSM anser sammanfattningsvis att SKB:s scenario för att belysa effekten av brunnar nedströms förvaret kan anses vara rimligt väl underbyggt med bakgrund av SSM:s föreskriftskrav (SSMFS 2008:37, AR till 5-7 §§). Som SSM konstaterar i kapitel 9 kan exponering genom intag av brunnsvatten ses som en exponeringsväg och bör därmed utvärderas inom ramen för de scenarier som ingår i risksummeringen. SSM bedömer även att den relativt låga sannolikheten för att framtida bergborrhåld brunnar anläggs nedströms förvaret stöder SKB:s klassificering av scenariot som mindre sannolikt.

SSM har i granskningen förutom SKB:s redovisning beaktat det granskningsarbete som har utförts av externa experter på uppdrag av SSM (SSM 2016:08; SSM 2016:09; 2017:33).

SSM bedömer att SKB:s val av en frekvens på 0,5 brunnar/km² är ett rimligt antagande (se även avsnitt 6.7 i denna del av granskningsrapporten). Den framtida brunnsfrekvensen kan antas variera med tid eftersom brunnsstätheten i dagsläget är kopplad till avståndet från kusten. För ett avstånd till kusten som motsvarar förvarets placering vid tiden 4000-5000 år efter förslutning, vilken sammanfaller med tidpunkten för högsta dosen, kan den framtida frekvensen antas vara 2 brunnar/km². Denna frekvens överensstämmer med brunnsdensiteten för motsvarande delområden norr och söder om SFR. Sammantaget blir det en fråga om tillämpning av en brunnsstäthet som har medelvärdesbildats över tiden och därmed finns en koppling till riskutspädning. SKB har i avsnitt 10.6.3 (SKB, 2015) redogjort för effekter av riskutspädning i samband med brunnar nedströms förvaret. SSM:s bedömning av riskutspädning finns beskriven i Del III, avsnitt 10.6.1 i denna granskningsrapport.

SSM:s bedömning av SKB:s antagande att en brunn borrhåld i den kontaminerade grundvattenplymen kan fånga ca 10 % av radionukliderna görs i Del III, avsnitt 6.5 i denna granskningsrapport.

8.3.2 Intrångsbrunnar

Beskrivning av SKB:s underlag

SKB antar att koncentrationen av radionuklider i vattnen taget från en intrångsbrunn motsvarar porvattenkoncentrationen i det penetrerade återfyllnadsmaterialet. För bergsalar som inte har återfyllts antas koncentrationen i brunnsvattnet motsvara koncentrationen i vattnet i respektive förvarsutrymmen (SKB, 2015, avsnitt 8.4.8). SKB bedömer att sannolikheten för att intrångsbrunnar borraras direkt in i de olika försvarsdelarna är låg. Denna bedömning baseras på data från SGU:s brunnsarkiv vilket ger en förväntad frekvens av vattenförsörjningsbrunnar och brunnsdjup i norra Uppland, samt på arean av de olika förvarsutrymmena (SKB, 2015, avsnitt 7.6.8). SKB har på SSM:s begäran även kompletterat ansökan gällande det valda förvarsdjupet (SKB dokID 1535980). Kompletteringen visar att av de bergborrade vattenförsörjningsbrunnarna i norra Uppland når ca 30 % ner till 70 m djup och endast ca 1 % når ner till 120 m, vilket motsvarar det planerade djupet för den utbyggda delen av anläggningen (SKB dokID 1535980, tabell 4-1). SKB har dock konservativt inkluderat även bergborrade energibrunnar vid beräkning av sannolikheten för intrångsbrunnar, vilket leder till att det uppskattade antalet vattenförsörjningsbrunnar som når de båda förvarsdjupen 70 m och 120 m ökar till ca 50 % respektive 20 %. Statistiken för samtliga bergborrade brunnar leder till en beräknad sannolikhet för en intrångsbrunn i Silo, vars area är ca 800 m², till $2 \cdot 10^{-4}$. Eftersom bergsalarna har nästan fyra gånger större area än Silo är sannolikheten ca $8 \cdot 10^{-4}$ för att en intrångsbrunn borraras in i den befintliga anläggningen och $3 \cdot 10^{-4}$ för utbyggnaden. Skillnaden mellan befintliga och tillkommande försvarsdelar avser förvarsdjupet. Dessutom kommer salthalten i en brunn åtminstone inledningsvis sannolikt vara för hög för att den kan tjäna som vattenkälla för tiden när området ovanför SFR har blivit land. Detta gäller särskilt för den djupare belägna utbyggnaden där det kan dröja ytterligare flera hundratals år innan grundvattnets salthalt är tillräckligt låg för att en brunn ska kunna tjäna som vattenkälla (SKB-P-13-01, avsnitt 4.3.2).

Scenariot med intrångsbrunnar beaktar den exponerade gruppen hushåll med köks-trädgård. Årsdosen till följd av användning av dricksvatten från en sådan brunn skulle överskrida den dos som motsvarar riskkriteriet för något av valven strax efter 3000 e.Kr. och för de flesta valv åtminstone fram till 8000 e.Kr. Maximala årliga doser runt 4,5 mSv erhålls vid intrång i 1BLA strax efter att området ovanför SFR har stigit upp ur havet (SKB 2015, figur 9-39). SKB betonar att de inledande höga doserna från 1BLA är relaterad till att BLA-salarna inte kommer att återfyllas varför en fullständig omblandning av radionuklider från avfallet antas ske direkt vid 3000 e.Kr. Antagandet ingen retardation av radionuklider i BLA-salarna medför en initialt hög koncentration och uttransport av radionuklider, vilket bedöms vara ett pessimistiskt antagande.

Beroende på inväxt av dotterisotoper i urans sönderfallskedjor kan radiotoxiciteten öka med tiden. För att belysa effekten en längre uppehållstid av radionuklider i 1BLA har SKB tagit fram varianter av scenariot intrångsbrunnar där aktivitetskoncentrationen i vattnet är 1-4 storleksordningar lägre än i huvudfallet. Dessa fall resulterar i att doserna är lägre än såväl huvudfallet som bakgrundsstrålningen (1mSv) i samtliga alternativa beräkningsfall. De överstiger dock den dos som motsvarar riskkriteriet (14μSv) i fallen med 1 och 2 storleksordningar lägre aktivitetskoncentration i vattnet (SKB 2015, avsnitt 9.3.8). Den maximala risken ligger dock under riskkriteriet på 10^{-6} (SKB 2015, avsnitt 10.3.1).

SSM:s bedömning

SSM konstaterar, i likhet med SKB, att dosberäkningarna för detta fall utgår från flera konservativa antaganden, så som tidpunkten vid anläggningen av en dricksvattenbrunn,

ingen retention av radionuklider samt fullständig blandning redan år 3000 e.Kr. SSM bedömer därför att det valda försvarskonceptet är tillräckligt tåligt även efter beaktande av den osannolika händelsen att framtida generationer anlägger en vattenbrunn direkt genom de olika försvarsdelarna. Men, SKB:s analys pekar ändå på att det är av stor betydelse att SKB tar fram strategier för informationsbevarande av information så att åtgärder för att minska risken för intrång kan vidtas innan förslutningen av förvaret.

I SSM:s granskning av säkerhetsanalysen SAR-08 (SSM 2008/981-30) lyftes betydelsen av framtida intrång fram där myndigheten då efterlyste en analys av betydelsen av direkt påverkan på de tekniska barriärerna i de mest kvalificerade försvarsdelarna 1BMA och Silo. SSM bedömer att SKB till viss del har beaktat denna synpunkt genom att illustrera effekten av direkt intrång genom tre scenarier för framtida mänskliga handlingar (SKB, 2015, avsnitt 9.4.7). Dock avsåg SSM med kommentaren att analysen även skulle innefatta en utvärdering av långsiktiga konsekvenser som följd av intrång för att belysa förvarets skyddsförmåga och tålighet *efter* att en barriär har penetrerats. SSM bedömer dock att det för detta förvar, för vilket funktionen i första hand avser fördröjning av utsläpp snarare än inneslutning, sannolikt inte kommer få betydande konsekvenser. Denna slutsats har baserats på bedömning av de konsekvenser av skadade barriärer som illustreras genom SKB:s scenarioval, vilka visar på en förhållandevis stor tålighet mot reducerade barriärfunktioner i både Silo och BMA-försvarsdelarna. Utförligare bedömningar av SKB:s scenarioval och konsekvensanalys återfinns i Del III, kapitel 9 respektive 10 i denna granskningsrapport.

8.4 Övergivit och oförslutet förvar

I de allmänna råden till SSMFS 2008:21 9§ framgår att ett fall med ett oförslutet slutförvar som lämnas utan övervakning bör belysas som ett restscenario.

Beskrivning av SKB:s underlag

Fallet med ett ej förslutet slutförvar utgår ifrån att allt avfall, inklusive mellanlagrat långlivat avfall avsett för SFL, har deponerats i förvaret som sedan har övergivits utan att det har förslutits. Det innebär att ingen installation av återfyllnadsmaterial och pluggar kommer att ske, men att en del av avfallet har kringgjutits. Med tiden kommer betongkonstruktionerna i SFR att successivt degraderas och radionuklider kommer att lösas upp i det omgivande grundvattnet, även om förvarets sorptionsförmåga utgör en gränssättande faktor. Eftersom den hydrauliska gradienten kommer vara låg när förvaret är under Östersjön bedömer SKB att uttransporten av radionuklider genom de öppna försvarsutrymmena till förvarets öppning kommer att förbli relativt låg. Det kommer även dröja lång tid innan det initialt salta grundvattnet, som på några år kommer fylla förvaret efter att det har övergivits, kommer att spädas ut tillräckligt för att bli tjänligt som bevattnings- och dricksvatten.

Doskonsekvenser har beräknats med utgångspunkten att dricksvatten tas från tunnelöppningen 100 år efter att förvaret har övergivits. SKB har delat in scenariot i två beräkningsfall, ett som inkluderar avfallet som ska lagras i SFL och ett utan detta avfall. Det förstnämnda mest konservativa fallet ger en årlig dos på ca 550 mSv och det med en mera realistisk bästa uppskattning baserat på det avfall som för närvarande planeras att deponeras i SFR ger en motsvarande dos på 13 mSv (SKB 2015, avsnitt 9.4.6). SKB konstaterar att resultaten illustrerar betydelsen av att genomföra en adekvat förslutning av förvaret. Jämförelsen i tabell 9-16 (SKB 2015) är dock missvisande då radiotoxiciteten i Silo domineras av alfastrålaren Am-241 i en särskild avfallstyp (typbeskrivning S.24:1 enligt SKB R-15-15). Deponering av denna avfallstyp i SFR är inte godkänd och avsikten

är att detta avfall i stället ska deponeras i det kommande Slutförvaret för långlivat låg- och medelaktivt avfall (SFL) (SKB dokID 1689290).

Remissinstansers synpunkter

Kungliga vetenskapsakademien

Remissinstansen anför (SSM2015-1640-29) följande: ”Olika scenarios presenteras i figurer och tabeller s. 330–332 i SKB TR 14-01 (SKB, 2015). I ett scenario där SFR av någon anledning överges innan det har förslutits, och det grundvatten som kommer fram vid ingången används som dricksvatten, framgår att om det temporära SFL-avfallet då finns kvar i SFR innebär detta en dramatisk skillnad i uppskattad dos (SKB, 2015, s. 324). Som framgår ovan, så saknas dock en variant av ett ”main scenario” där SFL av någon anledning inte blivit till och man har valt att försluta SFR utan att föra bort ”SFL-inventariet”. Detta är särskilt intressant mot bakgrund av nämnda scenario där förvaret lämnats öppet. En sådan situation kan även påverka hanteringen av avfall som mellanlagrats i Oskarshamn och på andra platser.”

Kärnavfallsrådet

Remissinstansen anför samma synpunkt (SSM2015-1640-22) som Kungliga vetenskapsakademien, se ovan.

Östhammars kommun

Remissinstansen anför följande (SSM2015-1640-33): SKB planerar att mellanlagra delar av det långlivade medelaktiva avfall som senare ska deponeras i SFL. Det är av betydelse för kommunen att SFR inte förvandlas till ett ”permanent mellanlager” utan möjlighet till förslutning. Ansökan om att bygga ut SFR bör innehålla en tidplan för hanteringen av det mellanlagrade baserat på olika framtida scenarier.

SSM:s beaktande av remissynpunkter

Efter att ansökan har lämnats in har SKB beslutat att inget SFL-avfall ska deponeras i SFR. SSM bedömer därför att Kärnavfallsrådets, Kungliga vetenskapsakademins och Östhammars kommun synpunkt på scenariot med ej förslutet förvar inte längre är relevant.

SSM:s bedömning

SSM anser att SKB:s scenario för att belysa effekten av ett oförslutet övergivet slutförvar är rimligt väl underbyggt och godtagbart med bakgrund av SSM:s kravbild (SSMFS 2008:21, AR till 9 §). SSM bedömer att SKB:s resultat från beräkningarna av konsekvenser från ett övergivet ej fullständigt förslutet förvar är rimliga.

Sedan ansökan inlämnades har SKB valt att exkludera mellanlagring av det avfall som avses att slutförvaras i den planerade slutförvaret för långlivat låg- och medelaktivt avfall (SFL). SSM kan med anledning av detta konstatera att SKB:s nuvarande analys som beaktar dessa avfallskategorier överskattar den maximala årliga dosen för detta fall. Trots detta kommer beräkningsfallet utan SFL avfall fortfarande att överskrida dosen motsvarande SSM:s riskkriterium. Detta illustrerar vikten av att förvaret försluts på ett bra sätt, vilket även SKB påpekar.

8.5 Borring i förvaret

I de allmänna råden till 5-7 §§ i SSMFS 2008:37 efterfrågas en redovisning av fallet med direkt intrång i förvaret i samband med borring.

Beskrivning av SKB:s underlag

För exponering av personal på plats under borringen beräknar SKB dos för två olika borrhäkniker, rotationsborring med luft och diamanthäknborring där SKB bedömer att den senare metoden är den troligaste. SKB bedömer att rotationsborring med luft ger en högre intern bestrålning till borrhäknerna, medan diamanthäknborring ger högre extern bestrålning (SKB-TR-14-08, avsnitt 5.2). Borring genom ett förvarutrymme påverkar de berörda barriärernas funktion och dess betydelse har analyserats i restscenariot *förlust av barriärfunktion-högt vattenflöde i förvaret*. SKB betonar att genomborring av förvaret inte ger ett fullständigt bortfall av barriärfunktionen. De menar därför att restscenariot *förlust av barriärfunktion-högt vattenflöde i förvaret* ska ses som ett gränssättande fall.

Genomborring av Silo vid 3000 e.Kr. med rotationsborring ger enligt SKB:s beräkningar den högsta årliga dosen på 250 μSv , vilket främst orsakas av Am-241. Detta bedöms därför vara ett pessimistiskt fall då avfall med Am-241 inte ska deponeras i SFR (se även Del III, avsnitt 8.3 i denna rapport) samt eftersom rotationsborring förväntas vara den mindre troliga metoden. SKB konstaterar dock att doserna kan vara högre om exponeringstiden överstiger 1 timme för borrhäknerna, och om nedträngningen i avfallet är längre än 1 m. Men baserat på de befintliga vattenbrunnarnas djup från regionen bedömer SKB att det är osannolikt att inträngningsdjupet är längre än 1 m.

Om borrhäknerna används som fyllnadsmassa vid anläggnings- och byggnadsarbeten förväntas beräknad dos till en byggnadsarbetare att domineras av häknerna från genomborring av silon. SKB:s analys av scenariot har delvis baserats på en studie av Oatway och Mobbs (2003), i vilken en analys har genomförts av kontaminerat häkn som sprids ut över en yta på 25000 m^2 som senare uppodlas. SKB utgår däremot ifrån att borrhäknerna sprids över ett 140 m^2 stort område motsvarande jordbruksarean för ett litet självförsörjande jordbruk. SKB antar i sin motsvarande analys att exponeringstiden för en byggnadsarbetare är 200 timmar, vilket är en storleksordning lägre än exponeringstiden i Oatway och Mobbs (2003). Den beräknade dosen för detta fall är väsentligt lägre än den som borrhäknerna skulle erhålla och den ligger under den årliga dos som SSM:s riskkriterium motsvarar (14 μSv).

Om deponin där borrhäknerna lämnas senare uppodlas ger det enligt SKB:s beräkningar upphov till dos på 1 μSv per år vilket är lägre än den dos som en byggarbetare erhåller. Liksom de tidigare fallen är det borrhäknerna från silon som ger den högsta dosen.

SSM:s bedömning

SSM bedömer sammanfattningsvis att SKB:s restscenario för direkta effekter av genomborring av olika förvarsdelar efter förslutning på ett bra sätt illustrerar tänkbara doskonsekvenser. SSM anser dock att en illustration av betydelsen av en tidigare genomborring hade varit värdefull för förståelsen av detta scenario. SSM bedömer därför att SKB i kommande steg i sitt program behöver belysa konsekvenserna av borring i förvaret 300 år efter förslutning (se även SSM:s bedömning i Del III, avsnitt 8.2 i denna rapport).

SSM har i granskningen av detta scenario beaktat synpunkter från externa experter som har granskat SKB:s redovisning på uppdrag av SSM (SSM 2016:08; SSM 2016:09; 2017:33; SSM 2019:16).

Baserat på dagens levnadsvanor och borrhäkningsmetoder bedömer SSM att häknborring sannolikt inte är det mest troliga valet för scenariot borring i förvaret. Diamanthäknborring är den dyraste borrhäkningsmetoden som främst används när en detaljerad information om berggrundens egenskaper eftersträvas. För energi- eller vattenbrunnar är

detta inte syftet och därför används vanligtvis billigare metoder så som sänkhammarborrning, s.k. DTH-borrning ("Down The Hole"), och rotationsborrning vid anläggning av brunnar. Dessa metoder genererar kax som via luft eller vatten förs upp till markytan. SSM bedömer därför att SKB:s val av borrning som genererar högst dos som ej konservativ.

SSM konstaterar att en betydande del av brunnarna i regionen utgörs av energibrunnar (bergvärme), vilka vanligtvis är djupare än vattenbrunnar (SKB dokID 1535980). Av samtliga bergborrhade brunnar i norra Uppland är ca 20 % energibrunnar som når ner till 120 m djup. Baserat på troliga val av borrhingsmetod och brunnsdjup är det enligt SSM:s bedömning inte orimligt med en djupare nedträngning än 1 m, vilket är SKB:s antagande. SSM anser dock att SKB:s val av brunn dimension är konservativt vald, vilket kompenserar för det korta nedträngningsdjupet på 1 m.

Ur SGU:s brunnarkiv framgår att vanliga diametrar vid borrning av vatten- och energibrunnar är 115, 140 och 165 mm. SKB:s utgångspunkt är en diameter på 660 mm vilket vid upptag av borrhingskax på 1 m ger en volym av ca 0,34 m³ (SKB TR-14-08, tabell 5-3). För att erhålla samma volym borrhingskax med en borrhingsdiameter på 165 mm krävs att en ca 16 m lång sektion av förvarsutrymmet penetreras och förs upp till markytan och att mer än 30 m penetreras vid en borrhingsdiameter på 115 mm. Dessa borrhingslängder motsvarar en genomborrning rakt igenom bergsalarna och ner till halva höjden för silon. SSM bedömer därför att SKB:s val av 1 m lång penetrering med en brunn dimension på 660 mm är tillräckligt konservativ för att illustrera konsekvenserna av borrning i förvaret. Baserat på dagens brunn dimensioner är det dock troligt att borrningen avbryts redan efter ett par meter, vilket motsvarar ett par dm med SKB:s antagna borrhingsdiameter. Denna jämförelse understryker att den mängd kontaminerat material som förs upp till ytan i SKB:s analys kan anses vara konservativ. SSM noterar i detta sammanhang det osannolika i att borrhingspersonalen inte observerar övergången från det kristallina berget till materialen i avfallskollina; cement/betong respektive järn/stål och organiskt material.

Beträffande SKB:s val av exponeringstider bedömer SSM att dessa kan anses vara rimliga och ändamålsenliga. Detta gäller såväl för borrhingspersonalens exponering för borrhingskax, för byggnadsarbetarens exponering vid anläggningsarbeten, för familjemedlemmarna i ett litet hushåll med köksträdgård och för exponeringsvägarna inandning av damm och oavsiktligt intag av materialet. Denna bedömning har baserats på att brunnborrarna gör en enklare bedömning av borrhingskaxet som inte är tidskrävande samt att de övriga exponeringsvägarna avser den begränsade uppodlade ytan (140 m²) som ett litet självförsörjande jordbruk kan livnära sig på.

Som tidigare nämnts anser SSM att borrhingsscenariot i framtida säkerhetsanalyser bör inkludera borrhingsborrning i ett tidigare skede av förvarets utveckling. I ett sådant fall är det troligt att vald metod är diamantkärnborrhingsborrning vilket innebär upptag av kärnor som vidare undersöks där borrhingspersonal och geologer utsätts för extern bestrålning och där exponeringstiden kan vara längre än vid hantering av borrhingskax. Syftet med ett fall med tidig genomborrning är att utvärdera förvarskonceptets robusthet mot FHA och vikten av informationsbevarande efter förslutning av slutförvaret.

Det är oklart för SSM vilken enhet som har använts för densiteten vid beräkningen av extern bestrålning. Med utgångspunkt från tabell 5-3 (SKB TR-14-08) förefaller den vara tre storleksordningar för liten jämfört med exponeringsvägen inandning av damm (tabell 5-4). SSM bedömer att detta inte har någon större påverkan på den slutliga dosuppskattningen eftersom den totala dosen domineras av de övriga exponeringsvägarna. SSM anser dock att SKB generellt bör eftersträva transparens och konsekvent användning av indata vid beräkningar i kommande steg i SKB:s program. Ett annat exempel på en

oklarhet i SKB:s redovisning är att aktivitetskoncentration per prov anges som både A_i och S_i . SSM anser det vore enklare om aktivitetskoncentration per prov angavs med en konsekvent beteckning (SSM 2017:33, del 6).

8.6 Indirekt påverkan på förvaret

I de allmänna råden till 5-7 §§ i SSMFS 2008:37 anges att scenarier för framtida oavsiktlig mänsklig påverkan på slutförvaret bör omfatta andra aktiviteter som indirekt försämrar säkerhetsfunktionerna, t.ex. genom att förändra de hydrologiska eller grundvattenkemiska förhållandena i slutförvaret eller dess omgivning.

Beskrivning av SKB:s underlag

Vattenverksamheter eller uppförandet av en underjordkonstruktion i anslutning till förvaret kan påverka hydrauliska gradienter och därmed även säkerhetsfunktionen *lågt flöde i berggrunden*.

Vattenverksamheter omfattar framtida mänskliga handlingar som kan påverka hydrologin i området, så som uppförandet av dammar och förändrad markanvändningen. SKB bedömer att förändringar eller rivning av piren som går ut till SFR är ett representativt fall för en framtida, rimlig verksamhet som kan påverka vattenflödet genom förvaret. Baserat på hydrologiska modelleringar med hög respektive låg grundvattennivå vid SFR-piren (SKB dokID 1395215) bedömer SKB att framtida förändringar av piren har en begränsad effekt på vattenflödet i förvaret. SKB bedömer därför att framtida mänskliga aktiviteter som påverkar SFR-piren eller andra handlingar som påverkar hydrogeologin omfattas av det mindre sannolika scenariot *högt flöde i berggrunden* (SKB 2015, avsnitt 9.4.6).

SKB bedömer att ifall en framtida anläggning planeras att förläggas i direkt anslutning till SFR kommer förvaret upptäckas i samband förundersökningar på platsen. Däremot kan uppförandet av en anläggning i närheten av förvaret genomföras utan att det befintliga förvaret upptäckts. Uppförande och drift av en sådan anläggning kan påverka vattensammansättningen och grundvattenflödet genom förvaret. Detta kan medföra en negativ påverkan på bergets förmåga att fördröja radionuklidtransport.

SKB har, baserat på kvalitativa resonemang, bedömt konsekvensen av uppförandet av en tunnel respektive en gruva i närheten av förvaret. Hur mycket vattenflödet påverkas av en undermarkanläggning i närheten av förvaret beror bl.a. på anläggningens storlek, på vilket djup den förläggs till och dess placering i förhållande till Singözonen. SKB bedömer att anläggningens hydrogeologiska påverkan på sin omgivning sannolikt kommer att minskas eftersom det förmodligen kommer ske en omfattande injektering i det omliggande berget. SKB bedömer vidare att eventuella negativa effekter omfattas av det mindre sannolika scenariot *högt flöde i berggrunden* och de belyser därför inte detta fall ytterligare. Gällande malmpotentialen i området bedömer SKB den som mycket låg (SKB P-13-01). Även om det i framtiden kommer ske närliggande gruvbrytning ligger ett sådant område troligast på ett avstånd som innebär att det inte kommer påverka förvarets säkerhetsfunktioner på ett negativt sätt (SKB 2015, avsnitt 7.7.7).

SSM:s bedömning

SSM delar SKB:s bedömning att Forsmarksområdet, inklusive nuvarande vattentäckta områden, saknar ekonomiskt intressanta naturresurser baserat på tillgänglig information. SSM bedömer att SKB:s resonemang att effekten av en gruva omfattas av scenariot *högt flöde i berggrunden* inte kan anses vara korrekt. Scenariot med högt flöde i berggrunden sammankopplar en viss storlek på flödet i berget med en viss sannolikhet. I denna

sannolikhet beaktas inte sannolikheten för framtida mänskliga handlingar som kan påverka flödet. Däremot håller SSM med om att scenariot med högt flöde i berggrunden pekar på att ett högt flöde i berggrunden inte har någon stor påverkan på slutförvarets skyddsförmåga. Därmed kan effekter av mänskliga handlingar som påverkar grundvattenflöden i området inte förväntas ha någon avgörande betydelse för slutförvarets skyddsförmåga. SKB för liknande kvalitativa resonemang gällande effekten av framtida vattenverksamhet respektive uppförandet av en väg eller tunnel i närheten av förvaret. SSM anser att de av SKB framförda argumenten är ändamålsenliga och att SKB:s hantering av framtida aktiviteter som indirekt påverkar förvaret är rimlig. För att belysa framtida mänskliga handlingars påverkan på vattenflöden har SSM låtit en extern expert analysera vilken påverkan olika aktiviteter har på vattenflöden genom förvaret. Analysen visar att ökningen som kan ske till följd av framtida mänskliga handlingar motsvarar de ökningarna som scenariot med högt flöde i berggrunden medför (SSM2019-16, Del II). SSM bedömer därför att scenariot med högt flöde i berggrunden huvudsakligen även beaktar framtida mänskliga handlingars indirekta påverkan på förvaret.

9 Scenarier

9.1 Inledning

För att analysera ett slutförvars strålsäkerhet efter förslutning kvantitativt beräknas uttransport och spridning av radioaktiva ämnen över tid för ett relevant urval av framtida möjliga händelseutvecklingar, så kallade scenarier (AR till SSMFS 2008:21 9 §). Detta för att visa att riskerna som förenade med dessa scenarier är acceptabla sett till kravbilderna avseende skydd av människors hälsa och miljön (SSMFS 2008:37). De allmänna råden till SSM:s föreskrifter (SSMFS 2008:21 och 2008:37) beskriver utförligt hur val av scenarier bör utföras och tillämpas. Ett scenario definieras uttryckligen som *”en beskrivning av slutförvarets möjliga utveckling givet ett initialtillstånd, och förhållandena i omgivningen och deras utveckling”* (AR till SSMFS 2008:37 2 §) samt *”en beskrivning av hur en given kombination av yttre och inre betingelser inverkar på slutförvarets funktion.”* (SSMFS 2008:21, reds anm). Yttre betingelser består av förhållanden, händelser och processer (FEP), externt till slutförvarssystemet, som behöver beaktas med avseende på dess möjliga utveckling. Inre betingelser åsyftar FEP som verkar inom slutförvaret såsom egenskaper hos avfall, tekniska barriärer och omgivande berg.

Utifrån en analys av sannolikheten för att de valda scenarierna ska inträffa, bör de delas in i kategorierna huvudscenario, mindre sannolika scenarier och restscenarier (AR till SSMFS 2008:21 9 §). Huvudscenariot bör enligt de allmänna råden grunda sig på den troliga utvecklingen av yttre betingelser och realistiska (eller konservativa där så motiverat) antaganden avseende inre betingelser såsom de beskrivs i referensutvecklingen av slutförvaret och bör inbegripa ett antal beräkningsfall för att analysera hur osäkerheter inverkar på förvarets skyddsförmåga. Mindre sannolika scenarier tillämpas för att utvärdera betydelsen av scenariosäkerheter och analysera osäkerheter som inte utvärderats inom ramen för huvudscenariot. Restscenarier, i sin tur, tillämpas oberoende av sannolikheter för att i första hand belysa betydelsen av enskilda barriärer och deras funktioner.

Med beaktande av de osäkerheter som förknippas med antaganden avseende klimatutvecklingen (dvs. som en särskild kategori av yttre betingelser) bör säkerhetsanalysen baseras på ett antal möjliga klimatutvecklingar för att belysa de mest betydelsefulla och rimligt förutsägbara sekvenserna av framtida klimattillstånd. Om en lägre sannolikhet än

ett (1) anges för en viss klimatutveckling bör den motiveras, t.ex. genom expertbedömningar (AR till SSMFS 2008:37 5–7 §§). Dessa sekvenser utgör grunden för den långsiktiga riskanalysen. Till dessa utvecklingar bör sedermera en realistisk uppsättning biosfärsförhållanden kopplas. Dagens biosfärsförhållanden och levnadsvanor förväntas utgöra en viktig referenspunkt för beräkningar av dos och risk, särskilt under den initiala tidsperioden efter förslutning och bör således beaktas.

9.2 Val och kategorisering av scenarier

Beskrivning av SKB:s underlag

Huvudscenariot

I den säkerhetsanalysmetodik som tillämpas i SR-PSU innefattas tio steg (SKB, 2015, avsnitt 2.4) där det åttonde inbegriper val av scenarier. I SKB:s metodik utgår val och definition av scenarier från mer eller mindre sannolika förlopp som leder till att en säkerhetsfunktion inte upprätthålls i tillräcklig utsträckning. Mer konkret utgår man från osäkerheter associerade till initialtillståndet, interna processer samt externa förhållanden, kopplar dessa till en relevant säkerhetsfunktion och jämför sedan dess status med den utveckling som antas ske i huvudscenariot för att utvärdera eventuell ytterligare ej beaktad risk. Sedermera har en uppsättning restscenarier valts ut för att, oberoende av sannolikhet, belysa olika aspekter av förvarets skyddsförmåga.

SKB har baserat utformningen av huvudscenariot på förvarssystemets antagna initialtillstånd och de processer, egenskaper och händelser som anses ha störst betydelse för förvarets långsiktiga utveckling och strålsäkerhet såsom de beskrivs i referensutvecklingen i SR-PSU (SKB, 2015, kapitel 6). Referensutvecklingen definieras av SKB som en rad möjliga utvecklingar av förvarssystemet medan huvudscenariot utgör grunden för att utvärdera radiologisk risk kopplad till förvarets referensutveckling. Huvudscenariot består i SR-PSU av två huvudvarianter som har baserats på två olika klimatutvecklingar, *global uppvärmning* och *tidigt periglacialt klimat*. En tredje klimatutvecklingssekvens, *förlängd globaluppvärmning*, beskrivs i referensutvecklingen men beaktas dock inte som ett variantfall i huvudscenariot. Detta motiveras av SKB bland annat med att grundvattenbetingelser inte påverkas i stor utsträckning av långvarig grundvattenbildning av nederbörd. För de två klimatfallen som ingår i huvudscenariot beaktas strandnivåns utveckling på samma sätt, vilket innebär att det inte uppstår skillnader mellan dem i termer av grundvattenflöden och retentionstider i berget. I *fallet med global uppvärmning* infaller periglaciala förhållanden 52 000 e Kr, under vilka temperaturen i berggrunden på förvarsdjup bedöms vara -3°C eller lägre, vilket är den temperatur som bedöms vara relevant för frysning av betongkonstruktioner. I *fallet med tidigt periglacialt klimat* infaller periglaciala förhållanden redan efter 17 500 e Kr, efter vilka förhållandena återgår till tempererade och klimatets utveckling blir därefter identiskt med *fallet med global uppvärmning*. SKB framhåller att hantering av den framtida klimatutvecklingen har stöd i det nuvarande vetenskapliga kunskapsläget (SKB TR-13-04). De refererade studierna indikerar att det antropogena utsläppet av koldioxid förlänger den nuvarande interglacialen avsevärt, vilket underbygger SKB:s val av relevanta klimatfall för säkerhetsanalysen.

Som en effekt av strandlinjeförskjutningen förändras den hydrauliska gradienten i och omkring förvarsområdet, och allt mer horisontella flödesriktningar erhålls på förvarsdjupet i takt med etableringen av terrestra förhållanden ovan förvaret, vilket uppskattas ske från 3000 eKr (SKB R-13-25). Under periglaciala förhållanden kommer den advektiva transporten begränsas på grund av frysning av berggrunden. *Fallet med tidig periglacialt*

klimat har valts för att illustrera effekter av icke-kontinuerlig permafrost med talikar, lokala ofrusna domäner i berggrunden under permafrostförhållanden. SKB kompletterade ansökan med en motivering av valet att inte tillämpa en upprepning av Weichsel-glaciationen i SR-PSU (SKB dokID 1564242, SKB dokID 1572377), vilket tillämpades i säkerhetsredovisningen SAR-08 (SKB R-08-130). SKB utgår från uppskattningar av framtida variationer och extrempunkter i solinstrålningen mot jordytan, vilka kan predikteras med god noggrannhet (Berger och Loutre, 1991), samt vetenskapligt motiverade uppskattningar av framtida atmosfäriska växthusgaskoncentrationer, för att uppskatta vid vilka tidpunkter ett periglacialt klimat kan förväntas uppkomma (SKB dokID 1572377, avsnitt 2.3). Sannolikheten för jordskalv som medför skador på förvarets skyddsförmåga bedöms vara låg och av detta skäl hanteras denna händelse inom ramen för ett mindre sannolikt scenario.

För att kvantifiera radionuklidtransport i geosfären behöver ett antal processer inkorporeras, så som radioaktivt sönderfall och inväxt, advektion, dispersion, matrisdiffusion och sorption. Den förstnämnda processen beaktades i radionuklidtransportmodelleringen genom att inkludera sönderfalls- och inväxthastigheter proportionella mot inventariet av en given radionuklid och dess modernuklid. Transport av radionuklider i grundvattnet sker genom advektion och dispersion medan retention domineras av matrisdiffusion och sorption. Utifrån modellerade vattenflöden genom förvarsutrymmena, vilka har baserats på regionala hydrogeologiska beräkningsfall, valdes tre olika hydromodeller ut för att representera fall med lågt, måttligt och högt flöde under tempererade förhållanden. Hydromodellen med måttligt flöde valdes sedermera ut för radionuklidtransportmodelleringen i huvudscenariot med tempererade förhållanden. Hydromodellen med högt flöde (bergmodell 11) tillämpades i det mindre sannolika scenariot med högt flöde i berggrunden. Dessa modeller redogörs utförligare för i beskrivningen av SKB:s underlag i Del III, avsnitt 3.5 i denna rapport. Under de periglaciala förhållanden som antas råda mellan 17 500 och 20 500 e Kr, i *fallet med tidig periglacialt klimat*, antas permafrosten vara ytlig vilket motiverar varför flödesrelaterade parametrar för tempererade förhållanden 9000 e Kr kan tillämpas. Flödet riktades mot talikplatserna för att illustrera effekten av en diskontinuerlig permafrost. Under de senare periglaciala förhållandena förutsätts frusen berggrund i hela den hydrogeologiska modellen vilket medför att ingen transport till ytan kan förekomma. Sorptionsprocesser för radioaktiva ämnen beaktas i radionuklidtransportmodellering genom tillämpning av fördelningskoefficienter; s.k. K_d -värden för bergmatrisen. SKB har definierat log-normala sannolikhetsfördelningar för K_d -värden för olika grundvattensammansättningar som tillämpas i modelleringen.

I den detaljerade hydrogeologiska modelleringen av förvarsutrymmena ansätts randvillkor baserat på ovan nämnda hydromodellen för måttligt flöde i berggrunden. Barriärer och konstruktionsmaterial i förvaret representeras i huvudscenariot som homogena porösa medier vilket innebär att sprickor och defekter i barriärer beaktas implicit genom att justera barriärens hydrauliska konduktivitet. Degradering representeras av förändring i barriärernas hydrauliska egenskaper vilket i sin tur påverkar fördelningen av vattenflöden genom förvaret.

Degraderingen av cementbaserade material delas in i kategorierna kemisk och fysisk/mekanisk degradering. Mekanisk degradering, såsom förlust av lastbärande förmåga, sker snabbare än kemisk degradering. Med kemisk degradering avses exempelvis förändringar i cementets porstruktur genom bildning av nya cementfaser. Frysning av betong är en annan process som kan medföra sprickbildning. I SKB:s båda

beaktade klimatvarianter inom ramen för huvudscenariot inträffar periglaciala förhållanden efter 17 500 e Kr (varianten med tidigt periglacialt klimat) respektive 52 000 e Kr (varianten med global uppvärmning). Mekanisk degradering påverkar betongens vattengenomsläpplighet och i radionuklidtransportberäkningarna hanteras degradering genom att betongens hydrauliska konduktivitet, porositet och diffusivitet ökas. I SKB:s beskrivning innebär initialt förändringar i kemisk betongdegradering att förutsättningar för radionuklidtransportmodellering påverkas genom förändring av kemiska betingelser t.ex. pH vilket i sin tur påverkar sorption av radionuklider. Efter 20 000 år beaktas även porositetsförändringar som följd av kemisk degradering. Förekomst av komplexbildare medför i de flesta fall en viss reduktion av sorptionskapacitet. Redoxförhållanden påverkar sorption för redoxkänsliga nuklider. Effekter av förändrade redoxförhållanden studeras i ett restscenario, men i huvudscenariot förutsätts att reducerande förhållanden blir bestående under hela analysperioden, något som främst tillskrivs avfallsmetallernas reducerande kapacitet. Beskrivningen av kemisk degradering av cementmaterial har baserats på utlakningsprocesser för reaktiva och dominerade faser. SKB delar upp betongens kemiska degradering i fyra perioder som i första hand representeras av det mest reaktiva tillgängliga mineralets förmåga att buffra pH. Tillstånd I avser upplösning av Na- och K-hydroxider och representeras med $\text{pH} > 12,5$. Tillstånd II avser portlanditutlakning - $\text{pH} 12,5$. Tillstånd IIIa avser upplösning av CSH-faser med förekomst av Ca-aluminater - $\text{pH} 12$, medan det mest degraderade tillståndet IIIb avser upplösning av CSH-faser med avsaknad av Ca-aluminater - $\text{pH} 10,5$. Av samtliga förvarsdelar som innehar betongbarriärer är det endast BTF och BRT som i huvudscenariot genomgår alla faser av denna degraderingsprocess sett över analysperioden. I övriga förvarsdelar går degraderingsprocessen betydligt långsammare eftersom den ursprungliga mängden cement är betydligt större.

Vid modelleringen av radionuklidtransport i närzonen beaktas radioaktivt sönderfall och inväxt, advektion, diffusion, dispersion, sorption, och korrosion. Radioaktivt sönderfall hanteras på samma sätt som i geosfären. Advektion beskrivs genom användning av resultat från hydrologisk modellering av vattenflöden genom kontrollvolymen i närområdet som representerar de olika förvarsdelarna. Dessa resultat, tillsammans med sorptionsdata och volymer för förvarsdelar och avfallsmaterial, används som indata till radionuklidtransportmodelleringen för att beskriva retardation, diffusion och advektion av radionuklider i närzonen. Så länge barriärerna är relativt intakta hanteras de som homogena porösa medier men efter betydande sprickbildning hanteras flöde inom sprickor explicit utan hänsyn till sorption på sprickytan (SKB TR-14-09, appendix D). Dispersion beaktas implicit genom antagandet att numerisk dispersion förväntas vara större än den verkliga. Sorption ingår explicit i radionuklidtransportmodelleringen genom fördelningskoefficienter specifika för radioelement med ett visst oxidationstal. För reaktortankdelarna i BRT sker frigörelse av radionuklider i samband med stålkorrosion av tankmaterialet. Radionuklidutsläppet begränsas för denna förvarsdel av den korrosionshastighet som har ansatts. SKB redovisar samtliga data för ovan nämnda processer och som har använts inom radionuklidtransportmodelleringen i (SKB TR-14-09, TR-14-10, TR-14-12).

I och med strandlinjeförskjutningen sker en gradvis övergång för ytsystemet ovan förvaret från att ha varit en marin miljö till våtmark. I huvudscenariot antas att initiala utsläpp endast sker till marina bassänger men successivt riktas utsläpp mot våtmarks- och sjö-ekosystem. Efter denna initiala förändring får klimatvariationer större påverkan på utvecklingen av ytekosystemet. Under permafrostförhållanden kan ofrusna områden (talikar) förekomma och radionuklidtransporten är i sådana fall begränsad till dessa, där s.k. talikflöden (Werner m.fl., 2013) tillämpas i modelleringen.

Radionuklider når ytekosystemen genom grundvattenflöde till olika utströmningsområden, vilka benämns biosfärsobjekt. Transporten av nuklider i ekosystemet beskrivs sedan av bland annat massflöden av vatten, gasflöden och diffusion i porvatten i jorden. Koncentrationerna av radionuklider i jord, vatten, luft och organismer i ekosystemet används sedan för att beräkna årlig dos till människor och dosrat till andra organismer. Människor kan nyttja mark på olika sätt och för att definiera exponeringsvägar har fyra kategorier av markanvändning definierats och sedan tillämpats. Dessa kategorier innefattar jägare och samlare, inägo- och utmarksjordbrukare, jordbrukare på dikad myr samt hushåll med köksträdgård. Totalt har 17 olika exponeringsvägar inkluderats i SR-PSU. Det utströmningsområde i anslutning till förvaret där mest utsläpp förväntas ske innefattar områden där jordbruk bedöms kunna vara möjligt. För exponering av andra organismer än människa har 41 olika organismtyper beaktats och platsdata har tillämpats för att beskriva radionuklidupptag, genom koncentrationskvoter, i dessa organismer.

Säkerhetsfunktioner, mindre sannolika scenarier samt restscenarier

SKB har valt ut ett antal mindre sannolika scenarier utifrån beaktande av osäkerheter (avseende initialtillståndet, inre processer samt externa förhållanden) som anses gå utöver den känslighetsanalys som beaktas inom ramen för huvudscenariot. Valet av mindre sannolika scenarier utgår från övervägande av hur olika FEP kan påverka slutförvarets angivna säkerhetsfunktioner.

Säkerhetsfunktionen *Begränsad radioaktivitet* upprätthålls genom att endast avfall som uppfyller av SKB definierade acceptanskriterier kan deponeras i SFR och genom att ha en nuklidspecifik inventariebegränsning per förvarsdel. För huvudscenariot redovisas inventariet i (SKB, 2015, tabell 4-6). Osäkerheter kopplade till denna säkerhetsfunktion avser data för etablerandet av radionuklidinventariet vid förvarets slutliga förslutning (SKB, 2015, tabell 4-6). Avvikelse från det förväntade inventariet avser dataosäkerhet för deponerat och i synnerhet framtida avfall. Dessa osäkerheter omhändertas genom det mindre sannolika *scenariot med högt inventarium* (SKB, 2015, avsnitt 7.6.1).

Säkerhetsfunktionen *Lågt flöde i berggrunden* analyseras och konfirmeras med hjälp av indikatorerna hydraulisk konduktivitet och gradient. Den antagna hydrauliska konduktiviteten i berggrunden baseras på platsundersökningarna, medan gradienten förändras i och med strandlinjeförskjutningen. Av SKB associerade osäkerheter till beskrivningen av bergets hydrauliska egenskaper är osäkerheter i data som används för att parametrisera berget i den hydrogeologiska flödesmodellen, i första hand parametriseringen av deformationszonerna som skär förvaret samt heterogeniteten hos dessa. Dessa osäkerheter medför behov av ytterligare beräkningsfall i den hydrogeologiska modelleringen där vattenflöden genom förvaret är högre än motsvarande huvudscenariot. Osäkerheterna motiverar enligt SKB det mindre sannolika *scenariot med högt flöde i berggrunden* (SKB, 2015, avsnitt 7.6.2). Utöver osäkerheter i spricknätverksmodellerna bedömer SKB att ingen annan intern process eller egenskap har betydande påverkan på grundvattenflödet. Av de externa förhållandena som har beaktats identifieras osäkerheter kopplade till strandlinjeförskjutningen, periglaciala förhållanden, jordskalv samt inlandsisodynamik. Osäkerheter kopplade till strandlinjeförskjutningen hanteras i *klimatfallet med förlängd global uppvärmning* men dessa bedöms inte kunna äventyra säkerhetsfunktionens status, och inte heller orsaka en högre risk. SKB har därför hanterat osäkerheterna inom ramen för ett restscenario (SKB, 2015, avsnitt 7.7.5). Osäkerheter kopplade till tidpunkten för periglaciala förhållanden har beaktats inom ramen för huvudscenariot genom de två variantfallen som beskrivits ovan. SKB anser att varken glaciala förhållanden eller jordskalv kan uteslutas under analysperioden. Jordskalv har hanterats som ett mindre sannolikt scenario (SKB, 2015, avsnitt 7.6.5) medan effekten av

inlandsisdynamik har betraktats som ett restskenario (SKB, 2015, avsnitt 7.7.8, SKB dokID 1564242, SKB dokID 1572377).

Säkerhetsfunktionen *Lågt flöde i förvarsutrymmen* har analyserats genom indikatorerna hydraulisk kontrast, hydraulisk konduktivitet och gastryck. Hydraulisk kontrast mellan betongkonstruktion och återfyllnad påverkas av mekanisk och kemisk betongdegradering vilka båda anses ge upphov till ett ökat vattenflöde genom förvaret. Sprickbildning, portlanditlakning och frysning bedöms vara viktiga degraderingsprocesser. För BMA-förvarsdelarna antas i huvudscenariot att den hydrauliska kontrasten förblir hög fram till 20 000 år. Även efter denna tidpunkt förutsätts kontrasten vara tillräcklig för att upprätthålla funktionen att avleda vattenflödet från förvarsdelarna. Sprickbildning från svällande avfall bedöms inte påverka barriärerna i BMA i huvudscenariot. För BTF och BRT sker däremot degraderingen snabbare eftersom den hydrauliska burfunktionen som erhålls från kontrasten inte kan förutsättas verka i samtliga delar av dessa förvarsdelar. Det behöver också beaktas att kringgjutningsbruk som innesluter vissa delar av dessa förvarsdelar har en högre hydraulisk konduktivitet än konstruktionsbetong. Följden blir en snabbare kemisk degradering med ökad porositet och högre hydraulisk konduktivitet som följd. SKB antar att betongtankarna i BTF innehar en tillräcklig tom volym för att kunna undvika sprickbildning av betongtankarnas väggar som en följd av svällning. Frysning av betong bedöms ske först efter 52 000 e Kr och endast i sådan omfattning att effekten på den hydrauliska kontrasten blir liten. Hydraulisk konduktivitet som indikator för bentoniten i Silo och pluggar förväntas kunna upprätthållas under hela analysperioden i huvudscenariot även om högt pH från betongens porvatten kan leda till mineralomvandlingar i bentonit som på lång sikt kan medföra minskad svällningsförmåga.

Gastryck används som funktionsindikator enbart för Silo. SKB ansätter att lågt gasflöde kommer att upprätthållas genomgående för denna förvarsdel i huvudscenariot. I en komplettering till ansökan motiverar SKB (SKB dokID 1564154) varför säkerhetsfunktionen kopplad till uppkomst och transport av gas endast används för Silo. För resterande förvarsdelar kan uppkomsten av gas begränsas med hjälp av tillämpningen acceptanskriterier och i de fall (främst BMA-förvaren) det ändå kan förväntas viss gasutveckling bedöms sprickförekomst i betongbarriärerna möjliggöra obehindrad gastransport. För 2BMA, där sprickomfattningen förväntas vara mindre än för 1BMA, planeras även gasavledande passager i konstruktionen. Osäkerheter i initialtillståndet kopplade till dessa indikatorer bedöms vara sekundära i jämförelse med påverkan från interna processer och externa förhållanden.

De uppskattningar med avseende på betongens egenskaper i respektive degraderingstillstånd som antas i huvudscenariot, liksom när respektive fas i degraderingsprocessen inträffar utgår från den av SKB antagna sannolika utvecklingen av betongens egenskaper. SKB beskriver att de antagna värdena på hydraulisk konduktivitet för olika degraderingstillstånden är behäftade med osäkerheter som skulle kunna ge både högre och lägre hydraulisk konduktivitet för en given fas i betongbarriärernas utveckling. Det finns även osäkerheter associerade med när i tiden degraderingen når ett visst tillstånd. SKB beaktar dessa i ett mindre sannolikt *scenario med accelererad betongdegradering* (SKB, 2015, avsnitt 7.6.3). Osäkerheter kopplade till konsekvenserna av degradering av bentonit genom frysning, som en följd av långvariga periglaciala förhållanden, eller mineralomvandling på grund av interaktion med cement beaktas inom ramen för det mindre sannolika *scenariot med bentonitdegradering* (SKB, 2015, avsnitt 7.6.4). Förhöjt flöde genom förvaret beaktas indirekt genom *scenariot med högt flöde i berggrunden*, se ovan. Förändringar i flödet genom förvaret uppstår som en följd av inlandsisdynamik. Eventuella osäkerheter kopplade till konsekvenser av gasbildning inuti, i första hand Silo,

bedöms vara hanterade tillräckligt konservativt inom ramen för antaganden som görs för huvudscenariot.

Säkerhetsfunktionen *God retention* analyseras med indikatorerna *pH*, *redoxpotential*, *koncentration av komplexbildare*, *tillgänglig sorptionsyta* och *korrosionshastighet*. Fördröjning av radionuklidtransport sker bland annat genom sorption. SKB menar att tillgänglig sorptionsyta hos i synnerhet betong är stor men minskar i och med degradering. Dock kan effektiv sorption beaktas så länge inte fullständig degradering har skett som medför att flödet endast koncentreras till ett fåtal sprickor. Efter fullständig degradering antas dock att 10 % av flödet sker genom materialet och för denna del tillgodoräknas fortfarande sorption. Detta beskrivs mer utförligt i Del III, avsnitt 10.3. Redoxförhållanden antas vara kemiskt reducerande genom hela analysperioden, vilket tillskrivs den reducerande kapaciteten hos järn och järns korrosionsprodukter som magnetit (SKB TR-12-12). pH minskar successivt från att initialt vara hyperalkaliskt i BMA-delarna och Silo till att ligga kring 12,5 från 7000 respektive 22 000 e Kr. För BTF-delarna sker degraderingen snabbare och förvarsdelarna genomgår samtliga degraderingstillstånd för betong. BLA erhåller pH-värden motsvarande omgivande grundvatten efter ca 19 000 år. Koncentration av komplexbildare styrs initialt av mängden komplexbildare som har deponerats. Den betydelsefulla komplexbildaren isosackarinsyra (ISA) finns dock inte initialt i avfallet, men bildas successivt vid nedbrytning av cellulosa under alkaliska förhållanden. SKB har i SR-PSU korrigerat berörda K_a -värden genom att ta hänsyn till de koncentrationer av ISA som kan bildas från tillförd mängd cellulosa i de olika förvarsdelarna.

För reaktortankdelarna i BRT styrs radionuklidutsläpp av hastigheten med vilken reaktortankstålet korroderar, vilket fordrar tillgång till en vattenfas. Under permafrostperioder sker således inget utsläpp. Allmänt betraktat kan komplexbildare som antingen redan förekommer i avfallet eller som bildas efter deponering reducera sorptionen av radionuklider. SKB beaktar även i huvudscenariot effekter av minskad sorption till följd av komplexbildning genom sorptionsreduktionsfaktorer för berörda radioaktiva ämnen i förvaret. SKB bedömer dock att det finns en osäkerhet kopplad till den nuvarande prognosen av mängder av cellulosa och komplexbildare i initialtillståndet. Därför definieras det mindre sannolika *scenariot med höga koncentrationer av komplexbildare* (SKB, 2015, avsnitt 7.6.6) som även bedöms inrymma osäkerheter kopplade till koncentrationen av kolloider i porvattnet. En försämrad retention beaktas genom att högre sorptionsreduktionsfaktorer har ansatts.

SKB anger att interna processer som ger upphov till kemisk betongdegradering har hanterats konservativt inom ramen för huvudscenariot i SR-PSU. En hypotetisk analys av effekten ingen sorption i cement (och bentonit) ges dock av restscenariot *förlust av barriärfunktion – ingen sorption i förvaret* (SKB, 2015, avsnitt 7.7.1). Detta bedöms av SKB vara ett realistiskt scenario, men som dock är användbart för att förmedla förståelse kring betydelsen av sorption av radionuklider. Ett annat relaterad men mindre extremt fall är att oxiderande förhållanden uppstår i förvaret vilket försämrar sorptionsförmågan för en begränsad uppsättning av radioaktiva ämnen som kan betraktas som redoxkänsliga. SKB bedömer dock att sannolikheten för att oxiderande förhållanden ska uppstå under analysperioden är försumbara och fallet har därför klassificerats som ett restscenario (SKB, 2104, avsnitt 7.7.4).

Säkerhetsfunktionen *Undvika brunnar i förvarets direkta närhet* har analyserats med utgångspunkterna från indikatorerna *intrångsbrunnar* och *brunnar nedströms förvaret*. I huvudscenariot ingår brunnar för de exponerade populationerna relaterade till jordbruk och är belägna i anslutning till jordbruksmark inom områden där utsläpp i ekosystemet

antas ske. Sådana brunnar antas således inte vara belägna i direkt anslutning till förvaret. För det område nedströms förvaret där störst utsläpp förväntas äga rum anses regoliten inte vara lämpligt för jordbruksändamål (SKB R-13-22). Vidare indikerar data från SGU:s brunnsarkiv (SGU, 2011), vilket bl.a. innehåller uppgifter om enskilda brunnars läge och användning, att kustnära brunnsborring huvudsakligen kan associeras till odlingsbar mark (SKB R-13-19, avsnitt 6.4.2). Till följd av osäkerheten gällande framtida mänskliga aktiviteter i området efter förslutningen av SFR har SKB tagit fram ett mindre sannolikt scenario som kallas *scenario med brunnar nedströms förvaret* (SKB, 2015, avsnitt 7.6.7). Detta scenario illustrerar följderna av att säkerhetsfunktionen *Undvika brunnar i förvarets direkta närhet* inte upprätthålls pga. framtida mänskliga aktiviteter. I scenariot förutsätts att när området ovan SFR ligger 1 m över havsnivån, vilket inträffar ca 1000 år efter förslutningen, kan borrning av vattenbrunnar ske. För riskutvärderingen av scenariot utgår SKB från SGU:s brunnsarkiv, vilket ger antalet brunnar per ytenhet i Forsmarksområdet, typen av brunn och brunnsdjup. Baserat på en analys av brunnsfrekvensen i norra Uppland och brunnsinteraktionsområdets storlek beräknar SKB sannolikheten för att anlägga en dricksvattenbrunn i den föörenade plymen upp till 13 %.

SKB har även tagit fram ett *scenario med intrångsbrunnar*, vilket skiljer sig från *scenariot med brunnar nedströms förvaret*, då scenariot utgår ifrån att dricksvattenbrunnar anläggs direkt i de olika försvarsdelarna. Därmed kommer sannolikheten för att en dricksvattenbrunn anläggs i de olika avfallsutrymmena vara betydligt mindre jämfört med sannolikheten för att en dricksvattenbrunn anläggs i brunnsinteraktionsområdet. Ytterligare en skillnad är att en sådan vattenbrunn måste gå ner på större djup för att kunna penetrera någon av försvarsdelarna. SKB har vid beräkningen av sannolikheten för att en brunn når de olika försvarsdelarna valt att inkludera energibrunnar. Detta tillvägagångssätt ger en konservativ uppskattning av risken för en intrångsbrunn anläggs i förvaret eftersom data från den nationella brunnsdatabasen (SGU, 2011) tyder på att energibrunnar är djupare belägna än vattenbrunnar i Forsmarksområdet. För uppskattningarna av dos till människor som använder en intrångsbrunn som vattenkälla utgår SKB från den exponerade gruppen *hushåll med köksträdgård* (SKB, 2015, avsnitt 8.4.7). SKB antar att koncentrationen av radionuklider i dricks- och bevattningsvatten som tas från en intrångsbrunn motsvarar porvattenkoncentrationerna i återfyllnadsmaterialet. För avfallsutrymmen som inte har återfyllts (BLA) antar SKB att koncentrationen i upptaget vatten motsvarar koncentrationen i vattnet i respektive avfallsutrymme (SKB, 2015, avsnitt 8.4.8). Vidare förutsätter SKB att BLA-salarna saknar retentionsförmåga för radionuklider. Effekterna av att radioaktivt material förs direkt upp till ytan i samband med borrningen ingår däremot i *restscenariot borrning i förvaret* (SKB, 2015, avsnitt 7.7.7).

SKB beaktar även scenariokombinationer av mindre sannolika scenarier. Sannolikheten för scenariokombinationen ansätts till produkten av sannolikheten för respektive mindre sannolikt scenario. Detta förutsätter att scenarierna är oberoende av varandra. SKB beaktar i SR-PSU två huvudsakliga scenariokombinationer:

- Scenariokombination 1: Scenariot med högt flöde i berggrunden och scenariot med accelererad betongdegradering
- Scenariokombination 2: Scenariot med högt flöde i berggrunden och scenariot med höga koncentrationer komplexbildare

SKB har på uppmaning av SSM kompletterat ansökan med följande dokument:

- SKB dokID 1564154, 2016, Svar till SSM på begäran om komplettering av ansökan om utökad verksamhet vid SFR – säkerhetsanalysmetodik SR-PSU

- SKB dokID 1572211, 2016, Information om konstruktionsstyrande fall för utbyggnad av SFR
- SKB dokID 1579024, 2016, Försiktiga antaganden i analysen av säkerhet efter förslutning SR-PSU
- SKB dokID 1581608, 2017. Konvergens av probabilistiska beräkningar.
- SKB dokID 1578211, 2017. Säkerhetsfunktionsindikatorn hydraulisk kontrast och BMA-salarnas hydrauliska funktion

Sammanfattningsvis utgår SKB:s scenarioanalys från följande val av scenarier, där sannolikheten (P) som ansätts för de mindre sannolika scenarierna och som tillämpas i risksummeringen redovisas inom parentes efter respektive scenario:

- Huvudscenario:
 - Varianten med global uppvärmning
 - Varianten med tidigt periglacialt klimat
- Mindre sannolika scenarier:
 - Högt inventarium (P < 0,05)
 - Högt flöde i berggrunden (P < 0,1)
 - Accelererad betongdegradering (P < 0,1)
 - Bentonitdegradering (P < 0,1)
 - Jordskalv (P = 1E-6/år)
 - Höga koncentrationer komplexbildare (P < 0,1)
 - Brunnar nedströms förvaret (P < 0,13)
 - Intrångsbrunnar (P_{Silo}=2E-4, P_{SFR1}=8E-4, P_{SFR3}=3E-4)
- Scenariokombination 1 (P < 0,1*0,1)
- Scenariokombination 2 (P < 0,1*0,1)
- Restscenarier:
 - Förlust av barriärfunktion – ingen sorption i förvaret
 - Förlust av barriärfunktion – ingen sorption i berggrunden
 - Förlust av barriärfunktion – högt vattenflöde
 - Ändrade redoxförhållanden i SFR1
 - Förlängd global uppvärmning
 - Ej förslutet förvar
 - Framtida mänskliga handlingar
 - Glaciation och postglaciala förhållanden

SSM:s bedömning

Sammanfattande bedömning

SSM anser att SKB:s val av scenarier, med ett huvudscenario som utgångspunkt som beskriver förvarets troliga utveckling genom beaktande av flera variantfall, är förenligt med de krav som ställs i myndighetens föreskrifter. Enligt de allmänna råden till SSM:s föreskrifter (SSMFS 2008:21 9 §) ska ett huvudscenario innehålla förhållanden, händelser och processer som inte kan påvisas ha låg sannolikhet att inträffa under den period som beaktas i säkerhetsanalysen. SSM bedömer att huvudscenariot i huvudsak beaktar de viktigaste inre och yttre processerna, såsom bland annat strandlinjeförskjutningen, degradering av tekniska barriärer och därtill förändrade retardationsegenskaper för radioaktiva ämnen i förvaret liksom förändringar av grundvattenflöden i berggrunden till följd av eventuella framtida periglaciala förhållanden. Periglaciala förhållanden kan förutom grundvattenflödesförhållanden även på andra sätt påverka utvecklingen av förvaret så som frysning av bentonitlera och betongkonstruktioner.

SSM noterar att SKB utvecklat sin scenariometodik i jämförelse med tidigare säkerhetsanalyser för SFR. Det betydande antalet mindre sannolika scenarier och restsценarier ger en mer allsidig belysning av identifierade osäkerheter kopplade till utvecklingen av yttre betingelser och inre processer som skulle kunna ge konsekvenser för långsiktig strålsäkerhet. SKB utgår i SR-PSU, i sitt val av mindre sannolika scenarier och restsценarier, från säkerhetsfunktionsindikatorer (se beskrivningen av SKB:s underlag ovan). Det saknas dock kvantitativa kriterier för dessa, vilket försvårar utvärdering av indikatorernas tillstånd och deras betydelse för scenariovalet. Detta fick till följd att SSM begärde en komplettering i detta avseende (SSM2015-725-43) i vilken SKB ombads utförligare motivera valet att inte tillämpa kvantitativa kriterier. SKB motiverade avsaknad av kvantitativa kriterier med att det inte finns någon tydlig skiljelinje mellan acceptabel och bristfällig funktion för de enskilda barriärerna (SKB dokID 1564154). SSM anser att detta angreppssätt till viss del är inkonsekvent i relation till den metodik för säkerhetsanalys som utvecklats men godtagbart eftersom relevanta osäkerheter bedöms ha hanterats antingen inom huvudscenariot eller inom de mindre sannolika scenarierna. Enligt SSM:s bedömning bör dock SKB fortsättningsvis vidareutveckla och förtydliga säkerhetsanalysen med hjälp av kvantitativa kriterier. Så som SKB påpekar själva så utgör uppfyllelse av en enskild säkerhetsfunktion inget krav för att förvaret som helhet uppnår en tillräcklig skyddsförmåga. Ett kvantitativt kriterium skulle dock ange en, av SKB, definierad gräns för vilka osäkerheter som beaktas inom huvudscenariot respektive inom mindre sannolika scenarier.

Representation och analys av alternativa klimatutvecklingar som har tillämpats inom huvudscenariot kan ses som en känslighetsanalys som belyser hur ett antal yttre betingelser påverkar systemets utveckling och slutförvarets omgivningskonsekvenser. SSM anser att det inte går att utesluta att en eller två perioder med nedisning kommer att ske i området, baserat på det vetenskapliga kunskapsläget gällande den framtida klimatutvecklingen i ett 100 000 års perspektiv (se bl.a. Berger och Loutre, 2002). SSM noterar att SR-PSU skiljer sig från tidigare säkerhetsredovisning SAR-08 avseende redovisad tidsperiod för permafrosttillväxt. I SAR-08 beaktades frysning av barriärerna, betong i första hand, efter 25 000 år e Kr inom ramen för ett särskilt klimatfall (*Tidig frysning av förvaret*). SKB bedömde att klimatfallet *Tidig frysning av förvaret* var mindre sannolikt att inträffa jämfört med huvudscenariots två klimatfall, och klassificerade det som ett mindre sannolikt scenario. För riskutvärderingen ansattes dock en sannolikhet på 1 eftersom det inte fanns underlag för att uppskatta en faktisk sannolikhet. Beräkningsfallet för detta scenario medförde en risk i nivå med riskkriteriet (10^{-6} per år) för tiden efter 39 000 e Kr. Denna erhållna risknivå är en följd av en antagen fullständig degradering av betongbarriärerna i 1BMA och Silo på grund av frysning av betongens porvatten vid 22 000 e Kr.

I SR-PSU sker i stället tidiga periglaciala förhållanden redan efter 17 000 år e Kr men effekten av frysning av betongbarriärerna antas inte uppstå under denna period. SSM anser att ett tidigt periglacialt klimat mot bakgrund av dagens kunskapsläge förefaller osannolikt, men kan ha betydelse för utvärdering av förvarets säkerhetsfunktioner och dess skyddsförmåga. Med anledning av denna frysningsproblematik begärde SSM en komplettering beträffande effekter av tidig permafrostpåverkan (SSM2015-725-44). SKB kompletterade därefter ansökan med en utförligare beskrivning av permafrosttillväxt i scenarioanalysen (SKB dokID 1564242; SKB dokID 1572377). Kompletteringen innehöll även en uppdaterad analys av effekterna av frysning på betong (se referenser i kompletteringshänvisningarna ovan) som visar att degraderingens omfattning inte kan vara av den storleksordning som ansatts i den tidigare säkerhetsredovisningen SAR-08. SSM bedömer att det frys-kriterium för betong (-3°C) som SKB har ansatt i SR-PSU

sannolikt når förvarsdjupet först om ca 50 000 år efter förslutningen. SSM bedömer att SKB:s angreppssätt för denna fråga har baserats på konservativa argument avseende långsiktig utveckling av koldioxidkoncentration i atmosfären (SKB dokID 1572377, avsnitt 2.3.2). SSM bedömning av SKB:s redovisning av betongfrysning och klimatutvecklingen görs i kapitel 7 respektive kapitel 3.2 i denna granskningsrapport.

Kompletteringarna från SKB innehöll även ett nytt beräkningsfall benämnt *hypotetisk permafrost* i vilken permafrost med sönderfrysning av barriärer inträffar redan vid 12 000-17 000 år efter förslutningen (SKB dokID 1564242; SKB dokID 1572377). Här antogs att vattenflöden genom betongbarriärerna motsvarar de för fullständigt degraderad betong medan den kemiska degraderingen antas ske något snabbare än i huvudscenariot. Maximala omgivningskonsekvenser för detta beräkningsfall erhålls dock innan perioden med permafrost. SSM anser att detta resultat visar på robusthet för SKB:s fall med tidigt periglacialt klimat.

SSM konstaterar att betydelse av klimatutvecklingen och representationen av externa betingelser i scenarioanalysen behöver sättas in i kontexten av när de största utsläppen från förvaret förväntas ske. För SFR-förvaret infaller de maximala omgivningskonsekvenserna för de allra flesta beräkningsfallen som ingår i SR-PSU inom 10 000 år efter förslutning, främst på grund av avklingning av det radioaktiva inventariet. I detta avseende får betydelsen av den långsiktiga klimatutvecklingen inte samma dignitet som för förvar som i större utsträckning baseras på fullständig inneslutning av ett betydande inventarium av långlivade radionuklider, där potentialen för gradvis ökande dos/risk ökar som funktion av tiden är större. Ett exempel på en sådan förvarstyp utgör SKB:s planerade slutförvar för använt kärnbränsle vid Forsmark (SKB TR-11-01). Det är således av mer kritisk betydelse för fallet SFR att belysa variationer i externa utvecklingar som fokuserar på förvarets robusthet i ett tidigt skede i analysperioden.

Sammanfattningsvis anser SSM att SKB beaktat möjliga externa processer av betydelse för förvarets långsiktiga strålsäkerhet i sitt val av scenarier på ett rimligt representativt och godtagbart sätt i enlighet med myndighetens föreskriftskrav och allmänna råd. De klimatutvecklingar som beaktas inom ramen för huvudscenariot bedöms i huvudsak spegla en rimligt realistisk utveckling av yttre betingelser på ett ändamålsenligt sätt. Konservativa inslag, såsom tidigt periglacialt klimat, illustrerar dessutom förvarets robusthet mot ogynnsamma klimatutvecklingar. SSM bedömer att beaktandet av glaciala och post-glaciala förhållanden inom ramen för riskutvärderingen hade varit önskvärd ur ett känslighets-/fullständighetsperspektiv. Betydelsen av en glaciationscykel bedöms dock vara begränsad för SFR givet att gränssättande maximala omgivningskonsekvenser förväntas ske tidigt i förvarets utveckling.

SSM anser dock att det finns en viss brist kring SKB:s hantering av osäkerheter associerade med i synnerhet betongkonstruktioner i initialtillståndet eftersom de inte explicit beaktas inom ramen för SKB:s val av scenarier eller relaterade beräkningsfall. Betongkonstruktionernas nuvarande status, i synnerhet för 1BMA, i befintliga SFR motiverar en utförligare analys och diskussion i kommande säkerhetsredovisningar. Utredningar kring de av SSM identifierade potentiella osäkerheterna kopplade till genomförbarheten i uppförandet av 2BMA bör också genomföras. Utgångspunkter bör vara den design som föreslås i den uppdaterade referensutformningen, samt betongbarriärernas centrala roll i det utbyggda SFR-förvarets skyddsförmåga.

Givet säkerhetsanalysens *ansatta* initialtillstånd anser dock SSM att SKB beaktar betongdegradering på ett rimligt realistiskt sätt i huvudscenariot och på ett konservativt sätt i det mindre sannolika scenariot med accelererad betongdegradering. SSM bedömer

att SKB:s beskrivning av den kemiska och fysikaliska utvecklingen av betongbarriärer och hur den representeras i SR-PSU (Del III, avsnitt 4.3, 5.3 och 6.3 i denna granskningsrapport) kan anses som representativ och grundar sig på en god teoretisk förståelse av ingående processer. Analysen grundar sig på ett gediget modelleringsarbete för att beskriva mineralomvandlingar samt bildande och fördelning av sekundära mineraler. Den mekaniska betongdegraderingen antas ske snabbare än den kemiska, vilket SSM anser vara en rimlig förväntad förvarsutveckling. Denna slutsats kan motiveras genom en jämförelse av Kozeny-Carman-ekvationen (SKB R-13-40, ekvation 6-61), vilken explicit beaktar effekten av porositetsförändringar genom mineralomvandlingar i betongen på dess hydrauliska konduktivitet, med förändringar i hydraulisk konduktivitet uppskattat från mekanisk degradering (SKB R-13-40, figur 9-1). Effekten av kemisk degradering på betongens hydrauliska egenskaper blir betydande tidigast efter 10 000 år. SSM bedömer därför att effekten av kemisk degradering, och osäkerheter associerade med processen, på barriärfunktionen de första 20 000 åren är beaktad inom huvudscenariot givet det initialtillstånd som ansätts. SKB:s ansatta värden på betongbarriärernas hydrauliska egenskaper bedöms för de första 20 000 åren vara konservativa, i jämförelse med de värden som erhålls från ett explicit beaktande av påverkan från kemisk degradering. SSM anser det vara rimligt att betongens egenskaper för tidsperioden efter 20 000 år mer eller mindre styrs av det kemiska degraderingsförloppet, vilket även utgör utgångspunkten i SR-PSU.

SSM noterar att det finns ett restscenario som tillämpas för att belysa effekten av ingen sorption, vilket i sin tur belyser betongbarriärens betydelse för retardationen av radionuklider. Detta restscenario bedöms ge värdefull information om den relativa betydelsen av förvarets säkerhetsfunktioner. SSM anser dock att SKB i kommande säkerhetsredovisningar bör tydligare belysa kopplingen mellan en tänkbar snabbare mekanisk degradering av betongen, utveckling och variationsbredd för kemiska förhållanden samt systemets kemiska barriärfunktion.

Avseende hanteringen av osäkerheter kopplade till koncentrationen komplexbildare i förvaret konstaterar SSM att SKB hanterat dessa i säkerhetsanalysen genom att ansätta ett mindre sannolikt scenario där högre koncentrationer än förväntat antas, vilket explicit beaktas genom att öka reduktionsfaktor för betongsorption med en faktor 10. SSM bedömer att scenariot visar på betydelsen av att minimera mängden komplexbildare i framtida avfall till SFR. SSM konstaterar att en viktig omständighet förutom begränsad kunskap om inverkan av komplexbildare på sorption av radioaktiva ämnen, är förutsättningar för att kunna kontrollera och minimera mängder av komplexbildare i framtida avfall till SFR. SSM anser det därför vara angeläget att problematiken med potentiell sorptionsreduktion på grund av dessa avfallskomponenter adresseras utförligt i samband med framtagande och tillämpning av acceptanskriterier för avfall till befintliga och tillkommande förvarsdelar i SFR (SSM2012-4914-12).

SSM anser även att SKB:s antagande om att osäkerheter kopplade till grundvattenflödesförändringar genom betongbarriären och betongdegraderingshastigheten är oberoende av varandra kan ifrågasättas och därför behöver belysas ytterligare i samband med kommande säkerhetsanalyser. SSM konstaterar dock att effekten av denna koppling i viss mån beaktas genom scenariokombinationen med högt flöde och accelererad betongdegradering.

För den planerade förvarsdelen BRT anger SKB att utsläppen styrs av korrosionshastigheten av den omfattande mängden metalliskt material i avfallet, vilken bedöms vara långsammare än betongdegraderingsförloppet och således hastighetsbestämmande för utsläpp av radioaktiva ämnen. SSM anser att denna slutsats är rimlig då SKB:s ansatta

korrosionshastigheter bedöms vara förhållandevis pessimistiska. För Silo får betongens degraderingstillstånd mindre betydelse eftersom bentonitbarriären ändå verkar diffusionsbegränsande för utåtriktad transport. Det finns även osäkerheter rörande betongens status i 1-2BTF men sett ur ett konsekvensperspektiv får osäkerheter kopplade till betongdegraderingens omfattning och hastighet i första hand betydelse för förvarsdelarna 1-2BMA. Osäkerheter som avser betongdegraderingsförloppet, och som beaktas inom ramen för det mindre sannolika scenariot med accelererad betongdegradering, bedöms av SKB (SKB, 2015, avsnitt 7.5.3) i första hand vara kopplade till interna processer som sker efter förslutning snarare än till initialtillståndet. SSM anser dock, i likhet med sin externa expert (SSM 2017:33, del 6, avsnitt 5.3), att en accelererad degradering i viss mån indirekt även kan anses beakta osäkerheter som kopplar till det antagna initialtillståndet. Scenariot mildrar därför i viss mån betydelsen av osäkerheter kopplade till antagandet om en mer eller mindre sprickfri betong för initialtillståndet.

Avseende 2BMA gör SSM bedömningen att det i detta skede föreligger kvarstående frågor kopplade till genomförbarheten i uppförandet av en konstruktion med den referensutformning som SKB föreslår (Del III, avsnitt 4.3.4 i denna granskningsrapport). Dessa avser i första hand osäkerheter kopplade till ett uppförande av en sprickfri betong med de egenskaper som SKB ansätter för initialtillståndet i SR-PSU. Ett uppförande som leder till en betongbarriär med högre vattengenomsläpplighet i jämförelse med förutsättningar i huvudscenariot kan således inte uteslutas. SSM anser dock att SKB, med relevanta kontrollprogram och ett stegvis uppförande med tillhörande verifierande analyser, har förutsättningar att uppföra ett 2BMA i enlighet med det initialtillstånd som ansätts i huvudscenariot i SR-PSU (Del III, avsnitt 4.3.4). De osäkerheter som kopplar till dessa förutsättningar bedöms inrymmas i SKB:s analys genom scenariot med accelererad betongdegradering, dels eftersom SKB behåftar detta scenario med en förhållandevis hög sannolikhet (10 %), dels eftersom de tillskriver betongbarriärerna i dessa förvarsdelar hydrauliska egenskaper som skulle motsvara betongväggar med omfattande sprickförekomst.

Avseende 1BMA har SSM identifierat ett antal frågetecken rörande genomförbarhet för SKB:s föreslagna reparationsåtgärder samt rörande möjligheterna att verifiera åtgärdernas effektivitet. Mot bakgrund av dessa gör SSM bedömningen att osäkerheter som kopplar till SKB:s möjligheter att uppnå det nuvarande ansatta initialtillståndet bör tillskrivas större vikt än vad som inryms i ett mindre sannolikt scenario. SSM anser att ett lämpligare tillvägagångssätt är att beakta dessa osäkerheter inom ramen för ett särskilt beräkningsfall i huvudscenariot, i vilket man antar att de fysikaliska egenskaperna för 1BMA förblir som de är idag (dvs. att SKB inte lyckas med att utföra de reparationer som fordras för att uppnå önskat initialtillstånd med sprickfri betong).

I detta avseende är det relevant att notera att SSM har inom ramen för driftstillsyn förelagt (SSM2015-2432-26) SKB att redovisa långsiktiga strålsäkerhetskonskvenser av befintligt tillstånd på 1BMA om förvarsdelen inte åtgärdas, eller repareras med verifierbara metoder. SKB:s svar på föreläggandet (SKB dokID 1686798) indikerar att förvarets tålighet kan hantera ett försämrat initialtillstånd på 1BMA där endast mindre omfattande reparationer genomförs för väggar och tak, givet att de antaganden avseende betongens hydrauliska egenskaper och deras utveckling efter förslutning är acceptabla (se ytterligare kommentarer till detta föreläggande i Del III, avsnitt 4.3.4). SSM har mot bakgrund av denna ytterligare information (SKB dokID 1686798) inte krävt någon komplettering i denna fråga i samband med tillståndsprövningen. Ärendet beaktas framgent i enlighet med myndighetens förhållningssätt till befintliga förelägganden inom ramen för driftstillsyn. De processer som ligger till grund för befintlig sprickstatus i 1BMA har beaktats i

konceptualiseringen och designen av den planerade utbyggnaden och kan antingen bortses från, då åsyftas i första hand korrosion av armering under driftfasen, eller kan kravställas och verifieras i samband med uppförandet. Frågan om en framtida förbättringsåtgärder för 1BMA belyser dock vikten av att myndigheten, i sin tillsyn över befintlig anläggning, fortsätter med att bevaka SKB:s arbete med 1BMA, inklusive eventuella framtida begränsningar till inventariet av avfallet som får deponeras i denna förvarsdel. Inför kommande säkerhetsanalyser anser SSM att långsiktiga strålsäkerhetskONSEKVENSER kopplade till sprickförekomst i 1BMA behöver inkluderas med beräkningsfall såsom beskrivet ovan.

Specifika bedömningar av SKB:s val av scenarier

Nedan redovisas bedömningar och kommentarer till specifika scenarier i SKB:s scenarioanalys. Bedömningarna avser endast vissa scenarier där SSM funnit behov av särskilda kommentarer som inte inbegrips i den sammanhållna bedömningen ovan.

Avseende det mindre sannolika *scenariot med jordskalv* antar SKB att sannolikheten för skadade betongbarriärer till följd av jordskalv är 10^{-6} /år. Detta sannolikhetsvärde motsvarar ett jordskalv med magnitud 6 som sker inom en radie på 10 km från det planerade slutförvaret för använt kärnbränsle (SKB dokID 1094769, tabell 7-10) vilket är förenligt med den dokumenterade nutida seismiciteten i Sverige under tempererade förhållanden (SKB R-06-67; SKB TR-00-08 ; La Pointe m. fl. 2002; SSI rapport 2005:20; Fenton m. fl. 2006). Vidare använder SKB en exponentiell fördelning av jordskalv-sannolikheten med en viss återkommandetid (SKB dokID 1094769, ekvation 7-1) som för ett jordskalv med magnitud ca 6 ger en något högre årlig sannolikhet än 10^{-6} /år. Dessa antaganden från SKB:s tidigare redovisningar är enligt SSM:s bedömning lämpliga även för analys av jordskalv under tempererade förhållanden för den integrerade SFR-anläggningen (SSM Rapport 2018:07, avsnitt 4.13.2).

SSM noterar att SKB har förbättrat redovisningen i SR-PSU jämfört med redovisningen i SAR-08 (SSM2008-981-30, avsnitt 3.10.2) i och med analysen av motståndskraft hos Silo mot påfrestningar inducerade av ett jordskalv (SKB R-13-52). SSM bedömer att SKB:s dynamiska analyser av betongkonstruktionen i Silo är konservativa i och med de hanterar silon som vore det en betongkonstruktion grundlagd på markytan och inte i ett bergrum på medeldjup. Belastningsspektra i SKI Report 92:3 (Appendix 1) har också använts. Analyserna bortser vidare från externa laster som skulle minska ogynnsamma dragspänningar i betongkonstruktionen så som exempelvis vattentryck och svälltryck från den omringande bentoniten. SSM anser dock att det är motiverat att ytterligare studera vilka förbättringar av jordskalvmotståndet för betongkonstruktionen 2BMA som kan införas och vilken effekt sådana förbättringar kan få för beräknad dos/risk. Ett sådant ytterligare underlag skulle vara användbart som grund för den seismiska klassningen av konstruktionerna som SKB kan behöva bifoga framtida säkerhetsredovisningar.

SSM anser att det mindre sannolika *scenariot med högt inventarium* rent formellt bör beaktas som ett alternativt initialtillstånd. Scenariots huvudsakliga funktion är att illustrera i vilken utsträckning beräknad framtida dos/risk är känsliga för osäkerhet i radionuklidinventariet. Mot bakgrund av hur uppskattade mängder har förändrats över tid vart eftersom metoderna för aktivitetsbestämning har förbättrats anser SSM att den ökning i inventarium som antas inom ramen för det mindre sannolika scenariot är i underkant. SKB anger exempelvis att för Tc-99 är inventariet som ryms under 95-percentilen dubbelt så stort som förväntat (SKB, 2015, tabeller 4-6 och 4-7). SSM anser, i likhet med sin externa expert (SSM 2016:09 del 5, avsnitt 4.2) att osäkerhetsintervall kopplade till inventariet i första hand inte kan betraktas som uniforma över samtliga radionuklider. SSM bedömer dock att SKB:s metoder för att uppskatta inventariet även har förbättrats vilket gör att

betydelsen av ett mindre sannolikt scenario med högt inventarium får mindre betydelse. SSM:s bedömning av de metoder som ligger till grund för uppskattningen av inventariet bedöms annorstädes i granskningsrapporten (Del III, avsnitt 4.2).

SSM anser att restscenariot ändrade redoxförhållanden är bra och att det ger en användbar illustration av betydelsen av att reducerande kemiska betingelser upprätthålls långsiktigt. Det hade dock varit mera transparent om samtliga försvarsdelar hade inkluderats i detta fall och inte enbart SFR-1.

Scenariot med brunnar nedströms förvaret beaktar dagens levnadsvanor i förhållande till slutförvarets förlägningsdjup. SSM bedömer därför att scenariot följer de allmänna råden till 5-7 §§ i SSMFS 2008:37. Eftersom brunnsborrning är en relativt vanligt förekommande aktivitet kan det också ses som en exponeringsväg och inte som ett scenario, vilket innebär att scenariot skulle kunna integreras som en exponeringsväg i övriga scenarier. Att scenariot lämpligen klassificeras som ett mindre sannolikt fall (SSM 2016:09, del 5, avsnitt 4.3.3) stöds dock enligt SSM:s bedömning av SKB:s utvärdering av brunndensitetens tidsmässiga variation, vilken visar en minskad brunndensitet med tiden. På samma sätt som konstaterades i granskningen av SAR-08 är det sannolikhetsresonemang som förs godtagbart eftersom SKB utvärderar risk mot riskkriteriet 10^{-6} . Hade SKB, som i SSR 2001, i stället valt att utvärdera risken mot det riskkriterium på 10^{-5} , som enligt de allmänna råden till 5-7 §§ i SSMFS 2008:37 är lämpligt om enbart en liten grupp människor kan antas bli exponerade, bör i fallet SFR i stället en sannolikhet på 1 användas för denna typ av exponeringsväg.

SSM konstaterar att SKB har uppfyllt syftet med *scenariot med intrångsbrunnar* som, i enlighet med de allmänna råden till 5-7 §§ i SSMFS 2008:37, är att illustrera konsekvenserna av att de olika försvarsdelarna penetreras vid anläggning av en vattenbrunn. *Scenariot med intrångsbrunnar* bedöms också följa de allmänna råden till 9 § och bilaga i SSMFS 2008:21, nämligen att mindre sannolika scenarier bör tas fram som beaktar bl.a. effekter av framtida mänsklig verksamhet såsom skador som tillfogats barriärer. Vidare framgår det att skador på människor som gör intrång i slutförvar ska belysas i restscenarier. SKB har i SR-PSU valt att betrakta fallet med intrångsbrunnar som ett mindre sannolikt scenario och inte som en del i restscenariot borrning i förvaret. Intrångsbrunnar har pga. den betydligt mindre arean av försvarsutrymmena betydligt mindre sannolikhet att inträffa än borrning av vattenbrunnar i interaktionsområdet. SSM bedömer att intrångsbrunnar rent formellt borde ha klassificerats på liknande sätt som restscenariot borrning i förvaret. Scenariot intrångsbrunnar blir en direkt konsekvens av borrning i förvaret, vars direkta effekter redovisas som ett restscenario. SSM bedömer dock att SKB har beaktat dessa scenarier på ett godtagbart sätt inom konsekvensberäkningarna. I och med att brunnsborrning inom området är att betrakta som ett normalt förväntat utnyttjande av naturresurser är det rimligt att konsekvenserna inkluderas i risksummeringen och att denna exponeringsväg därför bör ingå i ett mindre sannolikt scenario. Denna typ av risk utgör en indirekt konsekvens av själva intrånget. Det är däremot rimligt att exponering av borrarpersonal och exponering orsakat av exempelvis borrhax på markytan analyseras som restscenarier eftersom detta utgör mera direkta konsekvenser av intrånget.

SSM bedömer att SKB:s val att belysa direkt påverkan genom ett intrång på ett slutförvar genom ett fall med borrning vid olika tidpunkter följer SSM:s föreskrifter och ger ett rimligt underlag för att bedöma betydelsen av detta fall. SSM noterar att SKB förutom att beräkna konsekvenser för närboende följer rekommendationerna i de allmänna råden till 9 § SSMFS 2008:21 och redovisar konsekvenser för människor som gör intrång i slutförvaret genom att uppskatta doskonsekvenser till borrarpersonalen som orsakar intrånget. Gällande tidpunkten för intrånget bedömer SSM att det inte kan uteslutas att det sker

tidigare, exempelvis genom borring från piren, och en utvärdering av en tidigare genomborringens konsekvenser vore värdefullt vid utvärderingen av det valda förvar-konceptets robusthet mot framtida mänskliga handlingar. SSM bedömer dock att SKB:s antagande kan anses vara rimligt i syfte att illustrera följderna av ett intrång. SSM bedömer att SKB har valt relevanta scenarier för att belysa möjliga, indirekta negativa konsekvenser som framtida mänskliga aktiviteter kan föra med sig på förvaret. Scenarier som är i linje med rekommendationerna i allmänna råden till 5-7 §§ i SSMFS 2008:37.

10 Konsekvensanalys

10.1 Inledning

SKB:s metodik för den långsiktiga säkerhetsanalysen SR-PSU omfattar tio steg. Det nionde steget innebär analys av valda scenarier. I det ingår att definiera vilka beräkningsfall som ska analyseras för att utvärdera de valda scenarierna, att välja ut indata till beräkningarna och att beräkna radiologiska konsekvenser av beräkningsfall med hjälp av matematiska modeller och att utvärdera de beräknade resultaten (se kapitel 2, Del III i den här granskningsrapporten). I detta kapitel redovisas SSM:s granskning av de radiologiska konsekvenser som SKB redovisar, dvs. av konsekvensanalysen för de valda scenarierna med beräkningsfall. SSM granskar här beräkningar av den radiologiska effekten på både människor och djur och växter i miljön för de huvudsakliga, de mindre sannolika och de restsценarier som presenteras av SKB samt indata till biosfärsberäkningarna. SSM:s bedömning av valda scenarier redovisas i kapitel 9, Del III i den här granskningsrapporten och bedömningen av indata för geohydrologi-, geokemi- och geosfärsberäkningarna redovisas i kapitel 3, 4, 5, 6 och 7 i denna del av granskningsrapporten. Motsvarande bedömningar för parametrar som styr radionuklidtransport i tekniska barriärer och i geosfären återfinns även de i dessa kapitel.

Konsekvensanalysen utgör den centrala delen i säkerhetsanalysen för tiden efter slutlig förslutning där beräknad dos/risk jämförs med riskkriteriet för skydd av människors hälsa som definieras i SSMFS 2008:37. För djur och växter i miljön ska biologiska effekter redovisas med särskild hänsyn till genetiskt särpräglade populationer och redovisningen ska bygga på tillgänglig kunskap för att påvisa att biologisk mångfald och hållbart nyttjande av biologiska resurser skyddas mot skadlig verkan av joniserande strålning (SSMFS 2008:37). En konsekvensanalys innebär att med hjälp av beräkningar kvantifiera radionuklidtransport från förvaret (närzonen) genom berget (geosfären/fjärrzonen) och till ytssystemet (biosfären) och att beräkna doser till människor och djur och växter i miljön för att få ett mått på möjlig exponering orsakad av radionuklider från förvaret. Den metod som SSM huvudsakligen använt för granskning av SKB:s konsekvensanalys är dokumentgranskning utförd av SSM:s personal, med stöd av externa experter. Dokumentgranskningen har kompletterats med oberoende modellering, som utförts av extern expertis och av SSM:s personal. SSM:s oberoende modellering har utförts med olika angreppssätt och kan definieras i olika kategorier: i) användning av SKB:s modeller med andra ekvationslösare, ii) användning av alternativa konceptuella modeller och iii) beräkning av gränssättande fall (Dverstorp och Xu, 2017).

Genom att upprepa SKB:s modelleringar eller genom att SSM på egen hand modellerar utifrån tolkningar av SKB:s modellbeskrivningar får SSM fördjupade insikter kring detaljer i SKB:s beräkningar. Sådana insikter kan inte uppnås genom att enbart granska SKB:s modelleringsrapporter. Denna mera ambitiösa granskningsmetod ger även en

oberoende kvalitetskontroll av SKB:s beräkningsresultat. Användning av alternativa konceptuella modeller ger möjlighet att utforska olika typer av modellosäkerheter i samband med kritiska frågor. Slutligen kan beräkning av gränssättande fall användas för att kontrollera robustheten i SKB:s system och stödja SSM:s slutliga bedömning av förutsättningarna för kravuppfyllelse.

En granskning av den metodik som SKB använder för konsekvensanalys finns i Del III, avsnitt 10.2. De modeller som används för radionuklidtransport från förvaret (närzonen) genom berget (geosfären/fjärrzonen) till ytsystemet (biosfären) granskas i Del III, avsnitt 10.3 och 10.4. Indata i SKB:s biosfärmodellering i konsekvensanalysen granskas i Del III, avsnitt 10.5. I Del III, avsnitt 10.6 redovisas SSM:s granskning av SKB:s beräknade resultat med känslighets- och osäkerhetsanalys för olika beräkningsfall av scenarierna. I Del III, avsnitt 10.7 ges en sammanfattning av SSM:s bedömning av SKB:s konsekvensanalys.

10.2 Metodik

Beskrivning av SKB:s underlag

Den metod för konsekvensanalys som SKB använder i säkerhetsanalysen för långsiktig strålsäkerhet, SR-PSU, skiljer sig i vissa avseenden från SKB:s tidigare motsvarande säkerhetsanalyser. I figur 8-2 illustrerar SKB den nya metoden för konsekvensanalys; ett integrerat modelleringsystem med modeller och indata (SKB, 2015, avsnitt 8.2). I föregående konsekvensanalys, SAR-08 (SKB-08-130), gjorde SKB beräkningar i biosfärmodellen oberoende av beräkningarna i förvarssystemet (som representeras av närzonen och fjärrzonen), och dosen beräknades genom att multiplicera utsläpp från fjärrzonen med dosomvandlingskoefficienter vilka härleddes från ett konstant enhetsutsläpp för respektive radionuklid. I den nya metoden för konsekvensanalys använder SKB de tidsberoende utsläppen från fjärrzonen som en direkt källterm i biosfärmodellen. Detta gör det möjligt att i dosberäkningen samtidigt ta hänsyn till utsläppets tidsmässiga förlopp och utvecklingen av ytsystemet.

I de flesta scenarier når alla utsläpp från fjärrzonen ett och samma biosfärobjekt (157_2). Från detta biosfärobjekt sprids utsläppen sedan till övriga biosfärobjekt. Osäkerheter kring utvecklingen av förvarssystemet, som definieras av ingående scenarier, och processer, beaktas via ett antal separata beräkningsfall dvs. med deterministiska metoder. Osäkerheter gällande parametrar i närzon, fjärrzon och biosfär, t.ex. Pécle's tal, diffusivitet, K_d - och CR-värden, beaktas däremot med probabilistiska metoder. Numerisk konvergens är en betydelsefull frågeställning i samband med probabilistiska beräkningar, vilken har förtydligats av SKB i en komplettering (SKB dokID 1564154 och bilaga SKB dokID 1581608).

SKB tar ingen särskild hänsyn till parameterkorrelationer i de probabilistiska analyserna förutom för flödesparametrarna som avser geosfären. Detta innebär att parametrarna samplas oberoende av varandra inom sina respektive parameterintervall. Parametrarna grundvattens transporttid från förvar till biosfär (t_w) och flödesrelaterat transportmotstånd (F) i fjärrzon betraktas däremot som korrelerade och samplas tillsammans. Parameterkorrelationer har potentialen att minska osäkerheter i utdata eftersom vissa kombinationer av olika parametrar utesluts. SKB:s angreppssätt bedöms därför vara pessimistiskt. Transport av radionuklider i närzon, fjärrzon och biosfär samt tillhörande dosberäkningar för både människor, djur och växter i miljön har beräknats med en s.k. kompartmentmodell. SKB har implementerat sina konsekvensberäkningar med detta koncept i mjukvaran Ecolego.

SKB har beräknat maximala individdoser för huvudscenariot och för de mindre sannolika scenarierna. De maximala riskbidragen för respektive scenario beräknas sedan genom att multiplicera sannolikheten för scenariot med den beräknade doskonsekvensen. Därefter beräknas den totala risken för förvaret som summan av huvudscenariot och de mindre sannolika scenarierna. Den totala kombinerade risken ligger sedan till grund för jämförelsen med SSM:s riskkriterium. SKB har även redovisat kompletterande information med koppling till övergripande metodik och beräkningar för biosfärsobjekt (SKB dokID 1571087). När det gäller redovisning av biologiska effekter i miljön har SKB beräknat maximala dosrater till ett urval organismer och jämför därefter dessa mot internationellt rekommenderade screeningvärden/referensnivåer. En dosrat under dessa nivåer innebär en låg sannolikhet för skadliga effekter på djur och växter i miljön.

SSM:s bedömning

SSM bedömer att SKB:s övergripande metodik är acceptabel. SKB har under många år utvecklat metodiken för konsekvensanalys för slutförvar för både radioaktivt driftavfall och använt kärnbränsle (t.ex. SKB R-08-130, TR-11-01 och TR-14-01). SSM anser att metodiken överensstämmer med internationell utveckling inom området och är i linje med IAEA:s och OECD/NEA:s rekommendationer (IAEA, 2011; NEA 2005; 2012) samt ICRP:s rekommendationer för skydd av miljön mot joniserande strålning (ICRP, 2008).

SSM har i samband med sin granskning av konsekvensanalysen för slutförvaring av använt kärnbränsle (SKB TR-11-01) nämnt både för- och nackdelar med en integrerad respektive en icke-integrerad modelleringsmetod (SSM 2018:07). Fördelen med en icke-integrerad modelleringsmetod är att konsekvensanalysen för olika scenarier underlättas. Nackdelen är att en rad frågor och processer avseende koppling mellan geosfär och biosfär som är viktiga för konsekvensanalysen blir svåra att utvärdera och granska. SSM ser därför positivt på att SKB har utvecklat en integrerad modelleringsmetod för dosberäkningar i samband med tillämpningen i SR-PSU. Med denna metod beräknas dos från biosfären direkt baserat på de tidsberoende utsläppen från fjärrzonen, istället för att multiplicera utsläpp från fjärrzonen med dosomvandlingskoefficienter för respektive radionuklid.

I säkerhetsanalysen för tillståndsansökan för slutförvaret för använt kärnbränsle, SR-Site, (SKB TR-11-01) införde SKB termen doskonverteringsfaktor (LDF) vilken definieras som maximal doskonverteringskoefficient tagen över alla potentiella utströmningsområden/biosfärsobjekt och tider för utsläpp av respektive radionuklid. SSM bedömer att SKB med LDF bara delvis beaktar osäkerheter, så som osäkerheter kring egenskaper hos olika typer av biosfärsobjekt. SSM noterar att SKB:s beräkningar i SR-PSU i huvudsak baseras på radionuklidutsläpp till ett enda biosfärsobjekt, objekt 157_2. SSM anser att dessa beräkningar inte återspeglar osäkerheter i modelleringen av olika biosfärsobjekt och inte heller osäkerheter i modelleringen av landskapsutvecklingen. SSM menar att tilltron till säkerhetsanalysen ökar om biosfärsmodellering och dosberäkningar genomförs på ett sådant sätt att de ger en rad utfall/scenarier som täcker rimliga framtida landskapsutvecklingar. Av detta skäl efterlyste SSM kompletterande information som illustrerar osäkerheterna beträffande olika typer av biosfärsobjekt och landskapsutveckling (SSM2015-725-37).

SKB lämnade in svar på SSM:s begäran om komplettering i maj 2017 (SKB dokID 1571087). I svaret redovisar SKB tre alternativa beräkningsfall som belyser osäkerheter i landskapsutveckling med en rad utfall som täcker rimliga framtida scenarier. SSM:s bedömning av kompletteringen redovisas i Del III, avsnitt 10.6.2. i det här kapitlet.

10.3 Modeller för radionuklidtransport i när- och fjärrområdet

Beskrivning av SKB:s underlag

I SR-PSU beskrivs konceptet för SKB:s radionuklidtransportmodellering samt matematiska modeller som representerar olika delar av förvaret och dess omgivning, dvs. närzon och fjärrzon (SKB TR-14-09, kapitel 9). I bilaga B, C och D i samma rapport presenterar SKB närzons- och fjärrzonsmodellerna mer i detalj.

Radionuklidtransportmodelleringen för närzonen i förvarsutrymmena i det befintliga SFR baseras på säkerhetsanalysen SAR-08 (SKB R-08-13). Närzonen kring förvarsutrymmena i den planerade utbyggnaden av SFR har också modellerats på ett liknande sätt. Modelleringen av närzonen beskriver radionuklidtransport från olika avfall/avfallspaket genom de tekniska barriärerna hos förvarets olika delar till fjärrzonen (geosfären). Modellerna har utformats med hjälp av en kompartmentstruktur med en diskretisering av i analysen ingående förvarsutrymmen, samt även av de olika typerna av avfallskollin. SKB definierar radionuklidtransporten i systemet som överföringar mellan olika kompartment genom advektiv respektive diffusiv transport.

Motsvarande modellering av fjärrzonen har baserats på FARF31, en semi-analytisk kod för radionuklidtransportberäkningar som hanterar processer som advektion, dispersion och matrisdiffusion (SKB TR-90-01). I SR-PSU har SKB, i likhet med i SAR-08, implementerat FARF31 i en kompartmentstruktur. Detta koncept möjliggör att transportförhållanden som varierar med tiden kan representeras, dvs. transportparametrarnas tidsberoende kan beaktas i modelleringen. SKB har verifierat simulerade resultat från kompartmentmodelleringen med motsvarande resultat från modellering med den ursprungliga FARF31-koden. En tillfredsställande överensstämmelse med FARF31 uppnåddes när antalet kompartment uppgick till totalt 420, vilket motsvarar 20 kompartment i flödesriktningen och 20 kompartment för matrisdiffusion (SKB TR-14-09, figur B-4).

SKB har använt vissa grundläggande och förenklade antaganden för att inte underskatta radiologiska konsekvenser vid modelleringen i SR-PSU:

- Förvaret antas bli återmättat omedelbart efter den slutliga förslutningen.
- Avfallsbehållarna i stål antas bli fullständigt korroderade omedelbart efter förslutning av förvaret och deras möjliga begränsande effekt på radionuklidtransport beaktas därmed inte.
- Det potentiellt långsamma och begränsade utläckaget av radionuklider från bitumen i bituminiserat avfall beaktas inte.
- Inga löslighetsbegränsningar har beaktats.
- Potentiell sorption av radionuklider på korrosionsprodukter beaktas inte, och inte heller potentiell sorption av radionuklider på olika material i 1-5BLA förvarsutrymmena.

Både när- och fjärrzonsmodeller har implementerats i den numeriska programvaran Ecolego.

Ett modell- och dataflödesschema för SR-PSU, ett så kallat AMF-schema (SKB, 2015, bilaga G), visar kopplingen mellan modeller och indata samt hur information används och överförs mellan de olika typerna av modeller.

SKB har också redovisat följande förtydligande och kompletterande information med koppling till modeller för närzonen och fjärrzonen:

- SKB dokID 1557768, 2016. Svar till SSM på begäran om förtydligande komplettering av data för konsekvensanalysberäkningar. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB dokID 1569813, 2017. Vidareutvecklad utformning av förvarstrymmet 2BMA i utbyggd del av SFR. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB dokID 1572230, 2017. Svar till SSM på begäran om komplettering av ansökan om utökad verksamhet vid SFR – data och förtydligande av radionuklidtransportberäkningar. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB dokID 1585173, 2017. Corrected implementation of fracture model used for 1BMA and 2BMA in SR-PSU. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB dokID 1585177, 2017. Corrected waste volumes in radionuclide transport models used in SR-PSU. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB dokID 1595131, 2017. Svar till SSM på begäran om komplettering av ansökan om utökad verksamhet vid SFR angående kod för transportmodeller. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB dokID 1603691, 2017. Radionuklidtransportberäkningar för SFR med uppdaterat inventarium från Studsvik. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB dokID 1689320, 2018. Svar till SSM på begäran om komplettering gällande data för radionuklidtransportberäkningar. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SSM:s bedömning

SSM bedömer att de transportmodeller som används inom när- och fjärrzon är rimliga och ändamålsenliga. De egenskaper, händelser och processer (*“Features, Events, Processes”*; FEP) som ligger till grund för definitionen av transportmodellerna är i stort sett förenliga med andra säkerhetsanalyser för liknande anläggningar. Dock anser SSM att en betydande förbättring av dokumentation och beskrivning av närzonsmodellerna och deras kvalitets-säkring/kvalitetsgranskning kommer att krävas i kommande säkerhetsredovisning inför uppförandet av tillkommande förvarsdelar. Ett stort fokus i SSM:s granskning av SKB:s transportmodeller har legat på förvarsdelen 2BMA vars referensutformning under loppet av SSM:s beredning av tillståndsansökan genomgått en vidareutveckling. SSM anser att SKB i kommande säkerhetsanalyser bör utveckla en mer realistisk representation av den vidareutvecklade referensutformningen i radionuklidtransportmodelleringen. De föreslagna förändringarna i konstruktionen liksom avfalllets varierande cementinnehåll behöver beaktas på ett mer realistiskt och transparent sätt.

SKB har använt en nerifrån-och-upp metod ("bottom up") för att systematiskt utveckla konceptuella modeller för säkerhetsanalys inom SR-PSU. Arbetet har bland annat resulterat i en FEP-katalog. SSM:s externa experter har granskat FEP-katalogen med ett stickprovsförfarande och de kunde inte identifiera avsaknad av någon uppenbar FEP. De kunde inte heller identifiera ytterligare platsspecifika FEP som borde ha beaktats (SSM 2016:09 del 1).

För att erhålla underlag för en detaljerad granskning av SKB:s konfiguration av radionuklidtransportmodeller för både när- och fjärrzon har SSM utvecklat oberoende modeller för att reproducera SKB:s beräkningar. SSM har även utvecklat egna alternativa modeller för att undersöka modellosäkerheter samt för att undersöka och underbygga förtroendet för resultat från SKB:s motsvarande säkerhetsanalysberäkningar. Det här avsnittet beskriver hur SKB:s modeller kan förstås och hur kritiska frågor kan identifieras genom

att reproducera SKB:s beräkningar. Den andra punkten, att utveckla alternativa modeller för att underbygga förtroende för SKB:s beräkningar redovisas i Del III, avsnitt 10.6.1.

För analysen av radionuklidtransport i närzonen för 1BMA, 2BMA och Silo har SKB konstruerat förhållandevis komplexa och detaljerade modeller. SKB har representerat närzonen med en detaljerad geometri, angett rumsliga variationer i närzonstransport och beskrivit systemets utveckling till följd av förändringar i förvarsmiljön och degradering av tekniska barriärer. I SKB:s rapportering finns rikligt detaljerade beskrivningar men SSM har ändå funnit det svårt att hitta all information som har behövts för att kunna konfigurera och reproducera närzonsmodellen. Två möten har hållits mellan SKB och SSM tillsammans med myndighetens berörda externa experter (SSM2015-756-18, SSM2015-756-27). Ytterligare information och förtydliganden har lämnats av SKB inklusive indatafiler till MS Excel och till Ecolego-koder (SKB dokID 1557768).

För att få en fördjupad förståelse för SKB:s radionuklidtransportmodeller för närzon och fjärrzon, gav SSM i uppdrag till externa experter att konfigurera SKB:s radionuklidtransportmodeller för förvarsutrymmet 2BMA och fjärrzonen (geosfären) med mjukvaran AMBER (SSM 2017:30, del 1). Fokus för detta uppdrag var hur väl modellens konfiguration representerar den konceptuella modellen, givet valet av parametrering för modellen. En samstämmighet mellan dessa modellresultat och SKB:s ger myndigheten en ökad tillit till SKB:s modellering.

I SKB:s radionuklidtransportmodellering tillämpas olika modeller beroende på vilket mekaniskt degraderingstillstånd betongbarriären tillskrivs i dess utveckling efter förslutning. För intakt och måttligt degraderad betong behandlas barriären som ett homogent poröst medium i transportmodelleringen. För svårt och fullständigt degraderad betong tillämpas i stället en modell som benämns sprickmodellen (SKB TR-14-09, Appendix D) i vilken transport beaktas genom två parallella vägar; en väg genom de sprickor som antas finnas i barriären och en väg genom betongen. För degraderad betong för vilken sprickmodellen tillämpas antas vattenflödet främst ske genom sprickan och SKB beaktar för denna transportväg ingen sorption i betongen. Hela det totala vattenflödet antas gå genom kassunerna för denna transportväg. Utöver denna transportväg antas även transport ske genom de delar av betongen som antas vara intakt med ett flöde som motsvarar 10 % av det totala flödet genom kassunerna. För denna transportväg antas sorption. Dock avräknas inte denna del av flödet från det som går genom sprickorna (SKB dokID 1601415).

Genom att implementera SKB:s radionuklidtransportmodeller för förvarsutrymmet 2BMA har SSM identifierat flera granskningsfrågor. Ett exempel är att SKB inte har beskrivit och motiverat hur viktiga aspekter av modellen har parametriserats med parametervärden härledda från underliggande data. Det inkluderar viktiga parametrar som tvärsnittsarea och avstånd för att beräkna diffusiva överföringar mellan modellens komponenter, s.k. kompartiment. SSM begärde kompletterande information från SKB om dimensioner (parametrering) för förvarsutrymmet 2BMA (SSM2015-725-39, SSM2015-725-55). SKB inkom med den kompletterande informationen i SKB dokID 1572230 och SKB dokID 1601415. Från informationen framkommer att SKB använt felaktiga volymer för tre typer av avfallskollin: plåtkokill, fyrkokill och plåtfat. I bilagan (SKB dokID 1585177) till SKB:s svar (SKB dokID 1572230) visar SKB dosberäkningar med de korrigerade avfallsvolymererna för plåtkokill, fyrkokill och plåtfat baserade på radionuklidtransportmodellerna som använts i SR-PSU. SKB:s slutsats är att de felaktiga volymererna för de tre typerna av avfallskollin ger en försumbar effekt på radionuklidutsläpp och doser eftersom den totala volymen av cementbaserade material inte påverkas. Beträffande diffusion från kringgjutningsbruk till kassunvägg (SKB dokID 1601415) anger SKB ett L/A-värde

(diffusionslängd/diffusionsarea) på $0,135 \text{ m}^{-1}$ ($14,2 / (14,2 \times 7,4)$), där kassunlängden är 14,2 m och tvärsnittsarean är 14,2 m x 7,4 m. Detta innebär att SKB antar att hela kassunens längd fungerar som diffusionslängd, vilket är ett icke-konservativt antagande enligt SSM:s bedömning. SSM:s externa experter (SSM 2017:30 del 1) har gjort beräkningar med en diffusionslängd på 14,2 / 2, dvs. hälften av den diffusionslängd som SKB använder. De har också gjort en känslighetsanalys där diffusionslängden har minskats med en faktor tre. De externa experternas slutsats från dessa beräkningar är att effekten av en kortare diffusionslängd är begränsad vilket beror på att diffusionsprocessen beskrivs med två riktningar, framåt och bakåt. Mot bakgrund av SKB:s kompletterande information kring parametrering av närzonmodellerna och känslighetsanalysen som SSM:s externa experter har genomfört anser SSM att denna frågeställning har en begränsad effekt på säkerhetsanalysen. Dock anser SSM att SKB bör förbättra beskrivningen av närzonsmodellerna i kommande säkerhetsanalyser.

Även om SSM:s externa experter till stor del kunde reproducera SKB:s resultat (modellen implementerad i Ecolego) med modellen implementerad i AMBER för förvarsutrymmet 2BMA fanns det ursprungligen signifikanta skillnader för fallet med betongväggar som är väsentligt degraderade (SSM 2017:30 del 1, Figur 24). Transporten genom degraderade betongväggar antas av SKB i huvudsak ske genom sprickorna i väggarna, vilket inom ramen för radionuklidtransportmodelleringen beaktas genom den så kallade sprickmodellen (SKB TR-14-09, Appendix D). SSM begärde förtydligande information från SKB om hur modellen för en gradvis degradering av betongbarriären har implementerats i fallet 2BMA (SSM2015-725-39). I SKB:s svar (SKB dokID 1572230) konstaterades att ett fel har gjorts med påverkan på beräknad dos. I bilagan (SKB dokID 1585173) till svaret (SKB dokID 1572230) redovisar SKB resultaten från den korrigerade implementeringen av den så kallade sprickmodellen som användes för 1BMA och 2BMA för att beskriva transport genom kraftigt degraderad betong. SKB konstaterar att beräkningen med den korrigerade modellen inte påverkar slutsatserna i SR-PSU eftersom den högsta dosen från 2BMA i beräkningsfallet för global uppvärmning uppnås innan tidpunkten för väsentlig barriärdegradering. Den totala risken för SFR ökas dock från $9,0 \cdot 10^{-7}$ till ca $9,4 \cdot 10^{-7}$ med den uppdaterade modellen pga. att den felaktiga modellen även hade implementerats för beräkningsfallet för accelererad betongdegradering.

SSM godtog de uppdaterade beräkningarna med korrekt implementerad sprickmodell för förvarsdelen 2BMA då de överensstämde med den oberoende modellering som utförts av SSM:s externa experter avseende samma förvarsdel. SSM lät även de externa experterna granska den uppdaterade modelleringen av 1BMA med sprickmodellen och förtydligande information från SKB (SKB dokID 1585173, SKB dokID 1689320) genom en detaljerad jämförelse av modelleringen av 1BMA mellan SKB:s kod Ecolego och oberoende modellering med koden AMBER (SSM 2019:16, del 1). Resultatet av jämförelsen visar på rimlig överensstämmelse för radionuklidflöden från närområdet för beräkningsfallet med global uppvärmning. Överensstämmelsen är god för icke sorberande radionuklider och svagt sorberande radionuklider, men blir gradvis sämre för nuklider med allt starkare sorptionsförmåga. Det är dock AMBER-beräkningar snarare än SKB:s Ecolegomodell som förutser ett lägre flux för radionuklider. Den oberoende radionuklidtransportmodellen har också modifierats genom att lägga till SKB:s sprickmodell för sprucken betong. Modelleringen med den uppdaterade AMBER-modellen överensstämmer med SKB:s modellering i Ecolego och resultaten visar att sprickmodellens påverkan på radionuklidflödena från 1BMA är liten.

SKB har under granskningsprocessen vidareutvecklat designen för 2BMA och tagit fram mer information om det radioaktiva avfallet i denna förvarsdel (SKB dokID 1569813).

SSM:s externa experter har utifrån den tillkommande informationen från SKB (SKB dokID 1689320) implementerat en ny modell i AMBER även för 2BMA (SSM 2019:16, del 1). Modellen är fortfarande baserad på endast en kassun men har en tydligare beskrivning av avfallet och dess egenskaper. Resultaten för radionuklidflödet från närområdet stämmer också bättre överens mellan de två modelleringskoderna, i jämförelse med tidigare studier (SSM 2017:30 del 1).

Beräkningarna i (SSM 2019:16, del 1) syftar främst till jämförelser mellan den nya designen för 2BMA och den tidigare utformningen. Resultat från analyserna visar på en ökning av flux av radionuklider från närområdet till geosfären med den nya designen jämfört med den tidigare. Ökningen är liten för icke-sorberande nuklider, men större för radionuklider som sorberar starkt på cement. En tänkbar orsak till detta resultat bedöms vara att injekteringsbruket runt avfallskollina inne i kassunen är borttaget, men det är samtidigt oklart hur injekteringsbruket har beaktats i SKB:s modellering. SKB:s utvärdering visar att den nya designen för 2BMA har liten påverkan på radionuklidflöde (flux) från närområde till geosfären, och doserna överensstämmer med de som har redovisats i SR-PSU. Överensstämmelsen är bäst för starkt sorberande nuklider och lite sämre för övriga nuklider.

Om inte kringgjutningsbrukets sorptionskapacitet beaktas i den uppdaterade utformningen representeras förvarsdelens totala sorptionskapacitet endast av avfallets innehåll av cement. Denna representation av barriärssystemet bedömer SSM som missvisande. Avfallet i 2BMA består huvudsakligen av sopor och skrot i plåtkollin där enbart kringgjutningen av avfallet i kollit innehåller cement. Mängden cement är således begränsad och dessutom inte homogent fördelad. SSM bedömer dock att förvarets sorptionskapacitet sannolikt ändå inte har överskattats. Ett skäl för detta är att sorptionskapacitet för tillkommande mängder cement i den vidareutvecklade utformningen med innerväggar för närvarande inte har beaktats i radionuklidtransportmodelleringen. Ett annat liknande skäl är att degraderade förvarsförhållanden kan förväntas öka andelen reaktiva cementytor med tillgängliga sorptionsytor. Detta påverkar i sin tur dispersion, diffusion och retardation av radionuklider. SSM anser att SKB i kommande säkerhetsanalyser bör utveckla en mer realistisk representation av den vidareutvecklade referensutformningen i radionuklidtransportmodelleringen. De föreslagna förändringarna i konstruktionen som en följd av vidareutvecklingen, liksom avfallets varierande cementinnehåll behöver beaktas på ett mer realistiskt och transparent sätt.

SKB använder en kompartmentstruktur för att konfigurera fjärrzonsmodellen och representera transport av radionuklider i sprickigt berg, med vinkelrät matrisdiffusion in i de angränsande sprickväggarna. Kompartmentmodellering är lämplig för beskrivningen av hur volymen av berg i vilken radionuklider kan diffundera ökar med djupet från sprickväggarna (SKB TR-14-09, ekvation 9-5). Det är viktigt att numerisk dispersion inte leder till för hög retardation i berget, vilket kan undvikas med tillämpning av denna ekvation. Emellertid hänvisar SKB inte till denna ekvation och de ger inte heller någon motivering till varför den används. SKB har visserligen jämfört resultaten erhållna från kompartmentmodellen med resultat erhållna från den semi-analytiska lösningen i FARF31, men det skulle ha underlättat SSM:s granskning om SKB även bekräftat att resultaten med FARF31 stämmer överens med resultaten från en analytisk lösning.

De exempel som beskrivs ovan, med ofullständig dokumentation och diverse fel i modellstrukturen, anser SSM understryker vikten av att SKB bör förbättra beskrivningen av närrzonsmodellerna och kvalitetssäkringssystemet (QA) i kommande säkerhetsredovisningar.

10.4 Modeller för radionuklidtransportmodellering i biosfären, dosberäkningar och miljöpåverkan

Beskrivning av SKB:s underlag

I Biosfärsyntesrapporten (SKB TR-14-06) presenterar SKB biosfärsdelen av säkerhetsanalysen SR-PSU. I rapporten sammanställs processbeskrivningar och modeller som har använts för att beskriva utveckling av platsen, samt parametrering av modeller för beräkning av radionuklidtransport och exponering.

Biosfärsmodellering och dosberäkningar i SR-PSU bygger på tidigare säkerhetsanalyser för befintliga och planerade slutförvar i Sverige och baseras på följande:

- Beskrivning av platsen och dess framtida utveckling med avseende på identifierade egenskaper, händelser och processer (FEP).
- Identifiering och beskrivning av områden/objekt i landskapet som kan påverkas av utsläpp av radionuklider från det befintliga förvaret och den planerade utbyggnaden.
- Identifiering av FEPs av betydelse för modellering av radionukliddynamik och exponeringsgrupper i nuvarande och framtida ekosystem i Forsmark.
- Konstruktion av radionuklidtransportmodeller som tar hänsyn till ovan nämnda FEPs för att uppskatta radiologiska effekter på människor och miljö i framtiden.

SKB har uppdaterat den platsbeskrivande modellen SDM-Site, som användes för ansökan om att få uppföra ett slutförvar för använt kärnbränsle, för användning inom PSU-projektet, SDM-PSU (SKB TR-11-04). En landskapsutvecklingsmodell (LDM) har även tagits fram för att illustrera den framtida landskapsutvecklingen som är baserad på tre klimatfall; global uppvärmning, förlängd global uppvärmning och tidigt periglacialt klimat.

SKB använder den digitala höjdmodellen (DEM) för att definiera framtida sjöar och avrinningsområdesgeometrier. Hydrogeologiska simuleringar av vattenflödesvägarna från det planerade förvaret för ett antal olika tidpunkter i förvarets utveckling har även använts för att identifiera utsläppsområden på berggrundsytan. De identifierade utsläppsområdena användes sedan för att definiera biosfärsobjekt som hav, sjöar eller våtmarker. Informationsflödet som stöder denna process illustreras i Figur 6-6 i SKB TR-14-06.

Ett systematiskt tillvägagångssätt används för identifiering av FEPs i komplexa ekosystem. Interaktionsmatrisen (IM) är ett praktiskt verktyg för att visa identifierade komponenter och exponeringsvägar som potentiellt kan påverka radionuklidtransport, ackumulation av radionuklider och exponering. SKB identifierade 10 fysiska komponenter, 2 gränskomponenter, 6 variabler (egenskaper) och 50 processer i biosfärens IM (SKB R-13-43). SKB genomförde en omfattande analys av exponeringsvägar för att identifiera fyra exponerade grupper av människor:

- i. Jägare-samlare: Ett samhälle av jägare och samlare som vistas i och samlar föda från naturen utan nämnvärd påverkan på ekosystemen; ett typiskt antal är 30 personer som använder ett område på cirka 200 km².
- ii. Inägo- utmarksjordbrukare: En självförsörjande jordbrukargrupp med boskap och växande grödor på områden som inte är exponerade för grundvattenutsläpp, men där jorden tillförs naturgödsel från djur som utfodrats med hö från våtmarkerna; typiskt antal är 10 personer som använder vatten från en grävd brunn eller ytvatten. Ett våtmarksområde på 10 ha behövs för att ge vinterfoder.

- iii. Jordbrukare på dikad myr: En självförsörjande jordbrukargrupp som använder dränerad myrmark för jordbruk (grödor och bete/foder) och tar dricksvatten från en brunn (grävd eller borrhål) eller från ytvatten; typiskt antal är 10 personer som kräver ett område på 6 ha.
- iv. Hushåll med köksträdgård: Ett självförsörjande hushåll med avseende på grönsaker och rotfrukter från småskalig trädgårdsodling. De använder brunn (grävd eller borrhål) eller ytvatten för dricksvatten och bevattning; typiskt antal är 5 personer som behöver 140 m².

Radionuklidtransportmodellen består av ett antal sammankopplade biosfärsobjekt. På grund av landhöjningen förändras ett biosfärsobjekt med tiden från ett marint ekosystem till ett våtmarksekosystem. De flesta biosfärsobjekt genomgår även ett sjöstadium. I likhet med metoden för radionuklidtransport i när- och fjärrzon använder SKB en kompartmentmodell för modellering av radionuklidtransport i biosfären (SKB TR-14-06, figur 8-1). De terrestra och akvatiska ekosystemen representeras separat, med inventarier av radionuklider som överförs under terrestrialisering. Modellstrukturen liknar den som används i säkerhetsanalysen för slutförvaring av använt kärnbränsle, SR-Site. Men modellen har utvecklats på flera sätt för att bättre kunna ta hänsyn till hur C-14 omsätts i miljön och för att få en fullständig uppskattning av aktivitetskoncentrationer i luft, jord och vatten.

Vertikal advektiv transport är den viktigaste överföringsmekanismen för radionuklider som når ett biosfärsobjekt via kontaminerat grundvatten. Transport representeras vertikalt genom regolitkolumnen. SR-PSU-modellen förenklar de horisontella flödena så att endast sidosrömmar från det kompartment som är överst placerat (RegoUp) representeras som utsläpp direkt till intilliggande kompartment. Horisontell transport under det övre regolitskiktet mellan ekosystem eller mellan biosfärsobjekten försummas således i radionuklidtransportmodellen, vilket anses vara ett konservativt antagande. Maximal aktivitetskoncentration från antingen borrhål eller grävda brunnar används i dosberäkningen.

SKB använder ett enkelt analytiskt uttryck för att representera en genomsnittlig aktivitetskoncentration i jord för jordbruk under de första 50 åren efter dränering (SKB R-13-46). Detta tillvägagångssätt möjliggör att den potentiella konsekvensen av att myren odlas upp kan utvärderas vid varje tänkbar tidpunkt efter terrestrialisering, utan ytterligare numeriska simuleringar av de involverade processerna.

SKB har också redovisat följande förtydligande och kompletterande information med koppling till modeller för biosfären:

- SKB dokID 1554499, 2016. Drainage of runoff water from 157_2 into 157_1 via a stream – Biosphere complementary information for SR-PSU. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB dokID 1572152, 2017. Svar till SSM på begäran om komplettering av ansökan om utökad verksamhet vid SFR - dos till biota. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB dokID 1597353, 2017. Svar till SSM på begäran om komplettering av ansökan om utökad verksamhet vid SFR angående data för biosfärsmodellering. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB dokID 1601415, 2017. Svar till SSM på begäran om komplettering av ansökan om utökad verksamhet vid SFR angående konsekvensanalys fråga 5. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB dokID 1610560, 2017. Kompletterande beräkningar för gasavgång. Svensk Kärnbränslehantering AB.

- SKB dokID 1571087, 2017. Kompletterande beräkningar om biosfärsobjekt. Svensk Kärnbränslehantering AB.

Stråldosberäkningar för djur och växter i miljön

För biosfären är både radionuklidtransport och dosberäkningar för människor, djur och växter i miljön inkluderade i Ecolegos biosfärsmodell. Inkluderingen av dosberäkningar för djur och växter inom biosfärsmodellen i Ecolego skiljer sig från den metod som SKB antog i SR-Site (SKB TR-11-01), där beräkning av dos för djur och växter baserades på ERICA-verktyget utgående ifrån beräknade koncentrationer i miljön. Tillvägagångssättet som antagits i SR-PSU har fördelen att tidsberoende doser för djur och växter kan tas fram för samtliga fall i biosfärsberäkningarna.

Beträffande modeller för dosberäkningar och miljöpåverkan använder SKB (SKB TR-14-01) dosmodeller i ERICA-verktyget och det tillvägagångssätt som rekommenderas för verktyget (Brown m.fl., 2008), vilket innefattar beräkning av exponering och absorberade dosrater till miljön, dvs djur och växter. ERICA är ett fritt tillgängligt och internationellt använt dosverktyg avsett för screeningberäkningar av dosrater till djur och växter i miljön. ERICA beräknar absorberade dosrater för extern bestrålning från radionuklider i jord, sediment och vatten, samt för intern bestrålning från upptagna radionuklider i en organisms kropp. I beräkningarna av dosomvandlingskoefficienter (DCC) beaktas organismens storlek, placering och uppehållstid i scenarier med tillgängliga ekosystem tillsammans med radionuklidernas sönderfallsegenskaper. Dessa dosomvandlingskoefficienter används sedan för att omvandla aktivitetskoncentrationer i media eller i organismen till absorberad dosrat för respektive radionuklid. Interna och externa dosrater för samtliga radionuklider summeras till slut för varje organism till en total dosrat.

För dosberäkningarna i SR-PSU har dosmodeller från ERICA överförts till programvaran Ecolego i vilka beräkningarna har utförts (SKB R-13-46). Dosomvandlingskoefficienter från ERICA verktyget överfördes vidare till biosfärsmodellen tillsammans med något modifierade uppehållstidsfaktorer ("*occupancy factor*") för organismer i de tre tillgängliga ekosystemen marint-, sötvattens- och terrest-ekosystem (eller hav, sjö/å och våtmark enligt SKB:s benämningar) samt ERICA:s vikt faktorer för olika typer av strålning. SKB beräknar därefter dosrater till organismerna för varje biosfärsobjekt genom tillämpning av lokala aktivitetskoncentrationer i aktuellt medium där sådana finns tillgängliga. I akvatiska ekosystem beräknas internexponering baserat på aktivitetskoncentrationer av radionuklider lösta i vatten medan den externa exponeringen beräknas från den totala aktiviteten för både lösta och partikulärt bundna radionuklider. Detta är en modifikation av ERICA verktyget som egentligen rekommenderar att aktivitetskoncentrationer från filtrerat vatten ska användas för extern exponering. Aktivitetskoncentrationer i akvatiska ytsediment används för att beräkna extern exponering till organismer som lever i eller på sedimenten. I terrestra ekosystem beräknas intern och extern exponering från aktivitetskoncentrationer i våtmarkstov.

Biosfärsobjektet 157_2 har inget identifierat sjöstadium då en våtmark kommer att utvecklas från en havsvik enligt SKB:s modellering. Det är dock troligt att grunda dammar kommer att förekomma i objektet under landfasen och därför använder SKB aktivitetskoncentrationer i porvatten från våtmarken för att beräkna dosrater till sötvattensorganismer i detta objekt. Extern exponering till sötvattensorganismer från sediment har beräknats baserat på aktivitetskoncentrationer i våtmarkstov.

Det går att utläsa från tabellerna 10-1 och 10-2 i SKB TR-14-06 att SKB använder samma radionuklider för beräkning av dosrater till djur och växter som för beräkning av dos till människa. Dock har SKB uppdaterat inventariet av radionuklider för dosberäkningarna till

människa i SR-PSU, men inte för andra organismer med motiveringen att dosraterna ändå ligger långt under screeningvärdet på $10 \mu\text{Gy h}^{-1}$. SSM begärde en kompletterande förklaring till varför SKB valt att inte uppdatera radionuklidinventariet för beräkningar av dos till djur och växter (SSM2015-725-47). SKB inkom med svar i maj 2017 (SKB dokID 1572152) där de förtydligade att uppdateringen av inventariet rör främst Mo-93 som inte är dominerande i dosbidraget till djur och växter samt att beräkningsfallet med högt inventarium täcker in osäkerheten i inventariet.

SKB har i SR-PSU beräknat dosrater för ett flertal scenarier i vilka man tar hänsyn till olika förutsättningar, processer och tidsförlopp för utveckling av såväl interna som externa förhållanden (SKB TR-14-09). Utsläpp och koncentrationer av olika radionuklider till olika biosfärsobjekt i landskapsmodellen har beräknats. De resulterande radionuklidkoncentrationerna är beroende av biosfärsobjektens storlek, vilket är den avgörande faktorn för graden av utspädning efter utsläpp. Utgångspunkten för hur stora biosfärsobjekten kan vara är avrinningsområdets storlek och hur många människor som kan livnära sig i de olika objekten. Beräkningar som utgår från en mindre storlek på objekten har gjorts i SKB TR-14-06, bland annat för de områden som har en utpräglad våtmarks-karaktär. Dessa beräkningar visade att radionuklidkoncentrationerna i det minsta objektet är en storleksordning större. Beräkningar av olika objektsstorlekar baserat på vad andra organismer i miljön skulle behöva för yta för att överleva, enligt t.ex. deras hemområdesstorlek, har däremot inte genomförts. SSM begärde en kompletterande motivering av SKB om miljöperspektivet i val av storlek på biosfärsobjekt (SSM2015-725-47) och ett förtydligande resonemang till varför inte mindre utsläppsområden fanns med i dosberäkningar för djur och växter i miljön. SKB inkom med denna komplettering i maj 2017 (SKB dokID 1572152). Där förtydligar SKB att det är koncentrationerna av C-14 i jord och vatten som ökar proportionellt med minskad objektstorlek. Detta samband beror på antagandet att gasavgången från ett område är proportionellt mot dess yta. SKB förtydligar att för andra radionuklider finns inget sådant linjärt samband. För dessa radionuklider är istället vattenflöden och tjocklek på jordlager styrande för deras transport, retention och utspädning. SKB redovisar även effekten på dos som följd av ökade radionuklidkoncentrationer i ytlig torv och porvatten. Ett hypotetiskt utsläppsområde behöver vara av storleken $40 \times 40 \text{ m}$ för att resultera i doser som överstiger screeningvärdet på $10 \mu\text{Gy h}^{-1}$. SKB förtydligar att de stråldoser som kan uppstå i ett sådant litet område är begränsade till de individer av en population som vistas där. SKB framhåller att dessa doser då inte kommer påverka många organismer som rör sig över större ytor. För stationära organismer som t ex gulyxne eller organismer med små habitat som t ex gölgrödan kommer dessutom ett område av den storleken endast innehålla en del av det totala antalet individer som utgör den lokala populationen. SKB drar slutsatsen att en ökad koncentration av radionuklider i jord och vatten i små områden/mindre biosfärsobjekt inte skulle utgöra någon risk för populationer av de arter som förekommer i området.

SKB har gjort en analys av möjliga exponeringsvägar för människa som även antas vara relevanta för miljön och de flesta andra organismer (SKB R-13-46, SKB R-14-02). Dessa exponeringsvägar är inhalation, intag av föda, extern bestrålning, upptag via huden och via direktupptag i kroppen. SKB har inte gjort några specifika beräkningar för dessa olika exponeringsvägar för djur och växter i miljön utan antar att de täcks in genom att använda ERICA-verktygets koncentrationskvoter (CR) för jord, sediment och vatten för de identifierade organismerna.

SKB har beräknat dosrater till djur och växter i miljön för ett flertal beräkningsfall och scenarier, där huvudfallet kallas huvudscenariots variant med global uppvärmning

(*“global warming variant”*). Enligt SKB återfanns de högsta doserna alltid där radionuklider från förvaret når biosfären direkt från geosfären, vilket inträffade i objekt 157_2. Av detta skäl har SKB fokuserat sina exponeringsberäkningar för djur och växter till just detta objekt, med undantag för beräkningar i huvudscenariots variant med tidigt periglacialt klimat (*“early periglacial climate variant”*) samt beräkningar nedströms objekt 157_1 där radionukliderna transporteras med ytvatten. Ett antal beräkningar har även gjorts för mindre sannolika scenarier och kombinationer av olika scenarier.

SKB inkom även 2017 med en kompletterande redovisning av hur de omfattande uppdateringar som gjorts i ERICA-verktyget version 1.2 från november 2014 skulle påverka SKB:s dosrat-beräkningar avseende djur och växter (SKB dokID 1572152). Bland annat har flertalet CR-värden uppdaterats och det påverkar några dosrater från SKB:s tidigare beräkningar, men slutsatsen att dosraterna till djur och växter i miljön underskrider aktuella screeningvärden, påverkas inte.

SKB har identifierat ett antal representativa arter för konsekvensanalysen (SKB R-14-02; TR-13-23), baserat på tre kriterier utifrån SSMFS 2008:37:

- organismer som är viktiga för det relevanta ekosystemet
- hotade, endemiska eller genetiskt viktiga arter
- arter av kommersiellt eller kulturellt värde (exkluderande tamdjur/boskap)

SKB har sedan jämfört sina representativa arter med ERICA-verktygets referensorganismer. SKB fann att ERICA:s referensorganismer täckte in de platsspecifika arterna väl men man lade även till egna organismer så som mikrofyto bentos, utter, ros Karl och svarttärna som inte täcktes in av referensorganismerna då de lever i två olika ekosystem. Totalt har SKB beräknat doser till 41 organismer (Tabell 10.1; 13 organismer för sötvatten, 11 för marina miljöer, 14 för terrestra miljöer, 2 för marint och terrest däggdjur och fågel, och 1 för sötvattensfågel och terrest fågel).

Tabell 10.1. Utvalda organismer som SKB beräknat dosrater till i SR-PSU: Översatt från SKB TR-14-06, tabell 7-3.

Terrest ekosystem	Marint ekosystem	Sötvattens-ecosystem	Marint och terrest ekosystem	Sötvatten och terrest ekosystem
Lavar och mossor	Växtplankton	Växtplankton	Utter	Svarttärna
Gräs och örter	Makroalger	Mikrofyto bentos	Ros Karl	
Buskar	Kärlväxter	Kärlväxter		
Träd	Djurplankton	Djurplankton		
Jordlevande evertebrater	Havsborstmask	Insektslarv		
Detritivorer	Bottenlevande mollusk	Musslor		
Flygande insekt	Kräftdjur	Gastropod		
Gastropod	Bottenlevande fisk	Kräftdjur		
Groddjur	Pelagisk fisk	Bottenlevande fisk		
Kräldjur	Vadande fågel	Pelagisk fisk		
Fågel	Däggdjur	Groddjur		

Fågelägg	Fågel
Däggdjur (litet)	Däggdjur
Däggdjur (stort)	

Remissinstansers synpunkter

Kungliga vetenskapsakademien

Remissinstansen anför (SSM2015-1640-29) följande: ”Modelleringen är avsevärt förbättrad sedan SAR-08, bl.a. med en ny C-14-modell, olika ”kritiska grupper” och med en känslighetsanalys. Kollektivdosen från atmosfärsikt C-14 till den globala populationen saknar dock kontext. Resultatet kan t.ex. jämföras med kollektivdosen från kärnkraftsbranschen som totalt uppges innebära 200 manSv/år (UNSCEAR 2000). Den totala, integrerade, kollektivdosen från SFR på ca 2 manSv är alltså mycket låg.

Den hydrogeologiska modelleringen visar på relativt stabila transportförhållanden, vilket innebär att man kan vara relativt säker på var aktiviteten hamnar. Spridningen i valet av beräkningsscenarios är bra, och en mycket bra sammanfattning av resultaten ges i kapitel 10 som överskådligt visar alla modelleringsresultat, osäkerheter och spridning.

Sammantaget upplevs transport- och dosmodelleringen som mycket gedigen och rapporten genomsyras av reflekterande och analyserande snarare än konstaterande (att jämföras mot tidigare SAR-08).”

SSM:s beaktande av remissynpunkter

Kungliga vetenskapsakademien är av samma åsikt som SSM vad gäller att SKB:s modellering av C-14 förbättrats i SR-PSU jämfört med i säkerhetsanalysen SAR-08.

SSM:s bedömning

SSM anser att SKB i biosfäranalysen i SR-PSU har beaktat internationell erfarenhet, särskilt den vägledning från IAEA som finns i den så kallade BIOMASS-metodiken (IAEA, 2003). Även om SKB:s redovisning inte är utformad på samma sätt som BIOMASS-metodiken är det enligt SSM:s bedömning uppenbart att biosfärsanalysen i SR-PSU tar hänsyn till internationell vägledning och erfarenhet. Detta kan exemplifieras av: i) att biosfärsrapporten (SKB TR-14-06) tydliggör sammanhanget för biosfärsmodelleringar och dosberäkningar, ii) att förståelse för och beskrivning av biosfärssystemet och dess utveckling ligger till grund för definitionen av scenarier och beräkningsfall, och (iii) att FEPs har använts för att stödja biosfärsanalysen.

SSM konstaterar att biosfärsmodelleringen i SR- PSU är komplex. Metoden återspeglar både en plats som förväntas utvecklas från marint till terrestert ekosystem över långa tidsskalor samt ett slutförvarssystem (avfall, tekniska barriärer, geosfär) som kräver en noggrann analys av den långsiktiga utvecklingen. SKB använder en kompartmentmodell för att modellera radionuklidtransport i biosfären. Biosfärsmodellen i SR-PSU beskrivs i biosfärsmodellrapporten (SKB R-13-46) med över 280 ekvationer. Den stora mängden indata som krävs vid tillämpning av modellen beskrivs i biosfärsparameterrapporten (SKB R-13-18) samt i Kd- och CR-rapporten (SKB R-13-01).

I den inledande granskningsfasen har SSM med hjälp av externa experter utfört en översiktlig granskning med syftet att få en bred täckning av materialet och en övergripande förståelse för SKB:s biosfärsanalys inklusive stödjande referenser (SSM 2016:09 del 3; SSM 2016:09 del 2; SSM 2017:33 del 3). SSM:s externa experter belyste två typer av osäkerheter i samband med granskningen av SKB:s biosfärsmodellering (SSM 2016:09

del 3). Den ena typen berörde risken för ökning av beräknade doser jämfört med de centrala beräkningsresultaten i SR-PSU (ökat inventarium, avgränsning av biosfärsobjekt, radionuklidutsläpp från tiden noll, distribuerade utsläpp till biosfären och ökad fraktion brunnar som kan nås av ett radionuklidutsläpp). Den andra typen berörde graden av tilltro till de numeriska resultaten

Utvalda beräkningsresultat från SKB:s biosfäranalys har reproducerats av SSM:s externa experter på uppdrag av SSM (SSM 2017:33 del 2). SKB:s modeller har implementerats i ett annat modelleringsverktyg, AMBER, med syfte att: i) granska fullständigheten hos modellspecifikationen; ii) verifiera SKB:s beräkningsresultat; iii) utveckla en djupare inblick i den komplexa SR-PSU biosfärsmodellen. Utifrån detta arbete har SSM kunnat identifiera flera kritiska frågor för fördjupad granskning där det föreligger behov av kompletterande information från SKB:

- en diskrepans hos beräknade aktivitetskoncentrationer för dikad myr
- effekter av att försumma horisontellt flöde i biosfärs- och radionuklidtransportmodellen
- frågor kring jordbruksmodellen
- frågor kring C-14-modellen
- frågor kring avgränsning av objekt

Dessa punkter diskuteras mer utförligt nedan.

En diskrepans i beräknade aktivitetskoncentrationen för dikad myr SKB:s biosfärstransportmodell har av myndighetens externa experter implementerats i modelleringsverktyget AMBER (SSM 2017:33 del 2). Några pragmatiska förenklingar har gjorts, endast ett enda kompartiment har exempelvis använts för vattenlevande producenter och atmosfären är inte uttryckligen representerad med ett kompartiment. AMBER-modellen fokuserar på att representera den del av ytmiljön ("biosfärsobjekt") som mottar 100 % av geofärsutsläppet i huvudscenariet i SR-PSU ("Global Warming Case"), dvs. objekt 157_2 tillsammans med de två objekt som ligger nedströms 157_2 (objekt 157_1 och 116). Totalt 56 kompartiments och 158 överföringar behövs för att representera biosfärsmodellen i SR-PSU för objekt 157_2, 157_1 och 116 i motsvarande AMBER-modell. SSM:s externa experter fann under sitt modelleringsarbete att aktivitetskoncentrationen för dikad myr som beräknats med deras AMBER-modell (baserat på SKB R-13-46, ekvation 7-45) skiljer sig från SKB:s motsvarande Ecolego-modell med en faktor 5 (SSM 2017:33 del 2). Anledningen till denna diskrepans är att det enligt beskrivningen av ekvation 7-45 kan tolkas som att aktivitetskoncentrationen beror på arean som används för varje gröda. SSM har begärt kompletterande information av SKB kring denna fråga. I SKB:s svar konstaterar SKB att radionuklidmodellen har implementerats på ett matematiskt korrekt sätt i Ecolego-modellen och att beräknad aktivitetskoncentration i den dikade myren är oberoende av arean som har använts för varje gröda (SKB dokID 1601415). SKB anger att skälet till frågeställningen är en otydlig beskrivning i ekvation 7-45. SKB har gjort en korrigerings (errata) av modellbeskrivningen av ekvation 7-45 i SKB R-13-46. SSM konstaterar att SKB:s förklarings är acceptabel och att den klargör varför det finns en skillnad.

Effekten av att försumma horisontellt flöde i biosfärs- och radionuklidtransportmodellen Att utesluta underjordisk horisontell advektiv transport är enligt SKB en konservativ förenkling av biosfärsmodelleringen. SSM:s externa experter anser dock att effekten av det förenklade antagandet borde ha analyserats och att osäkerhet eller variabilitet borde finnas representerad i de hydrologiska flödena inom biosfärsmodellen (SSM 2016:09 del

3; SSM 2016:09 del 2). Dessutom innebär frånvaron av ett vattendrag i biosfärsobjekt 157_2 att advektiva förluster från det övre regolitskiktet representeras som "diffust överlandsflöde" till 157_1. SSM:s externa experter konstaterar vidare att bland annat bristen på en övertygande beskrivning av anslutning och överföring i modellen innebär ett behov av vad som kan betraktas som godtyckliga antaganden för att karakterisera utbytet i biosfärsmodellen (SSM 2016:09 del 3). Frågan har tagits upp vid ett granskningsmöte mellan SSM och SKB (SSM2015-756-18). SSM efterfrågade ytterligare information för att underbygga SKB:s bedömning att ingen framtida sjö och inga framtida vattendrag kommer att finnas i biosfärsobjekt 157_2. SKB dittills opublicerade resultat från ett särskilt beräkningsfall inkluderade dock doseffekterna för att ansluta de två objekten 157_2 och 157_1 med ett vattendrag. SKB tillhandahöll på begäran av SSM resultaten för detta fall (SKB dokID 1554499). I beräkningsfallet visar SKB att effekten av att lägga till ett vattendrag som förbinder objekt 157_2 och 157_1 har en marginell påverkan på den totala dosen i objekt 157_2 för det deterministiska fallet global uppvärmning.

För att ytterligare granska radionuklidens beteende i hela biosfärsobjekt 157 gav SSM i uppdrag till sina externa experter att genomföra en modelleringsstudie för att undersöka effekten av objektets utveckling kring övergångstiden till uppkomsten av terrestra ekosystem. Resultaten från uppdraget presenteras i SSM 2017:30 del 4. För att undersöka känsligheten för antagandena om flödesvärden när radionuklidtransport i biosfären har modellerats, antas två flödesfall för biosfärsobjekt 157_2 och 157_1 (SSM 2017:33 del 1):

- Flödesvariant 1: Varianten är baserad på flödesvärden från SR-PSU, men med skillnaden att värdena för underflöden beaktas.
- Flödesvariant 2: I varianten beaktas att det finns ett föredraget horisontellt flöde i lagren under jord.

Vidare betraktas två beräkningsfall för varje flödesvariant:

- Fall 1: Flödet från varje regolitskikt i biosfärsobjekt 157_2 riktas mot ekvivalent terrestrisk regolitskammare i biosfärsobjekt 157_1.
- Fall 2: Flödet från varje regolitskikt i biosfärsobjekt 157_2 riktas mot ytvatten i biosfärsobjekt 157_1 (analogt med utflöde till ytan mellan de två biosfärsobjekten).

Doser till två exponeringsgrupper (jordbrukare på dikad myr och jägare/samlare) har beräknats för varje fall. De totala beräknade effektiva doserna till jordbrukare på dikad myr och jägare/samlare för flödesvariant 1-fallet 1 har en försumbar effekt på de beräknade doserna, i jämförelse med resultat från tillämpning av de ursprungliga flödesantagandena i SR-PSU. För flödesvariant 1-fall 2 (liknar fallet som presenteras i SKB dokID 1554499) ökar de beräknade effektiva doserna för jägare/samlare med 30 % jämfört med motsvarande fall i SR-PSU. När högre horisontella vattenflöden beaktas, som i flödesvariant 2-fall 1, blir skillnaden mer markant. Ökat horisontellt grundvattenflöde under mark från biosfärsobjekt 157_2, minskar dos för jordbrukare på dikad myr i biosfärsobjekt 157_2 (SSM 2017:30 del 4, figur 7). För flödesvarianten 2-fallet 2 ökar emellertid de beräknade doserna för jägare/samlare med ungefär en storleksordning. De överstiger då den ursprungliga dosen för dikad myr men med mindre än en faktor 2, i det fall då det högre underjordiska flödet från biosfärsobjekt 157_2 modelleras som ett utflöde. SSM:s externa experter har även gjort en beräkning med flödet av radionuklider från geosfären till biosfärsobjekt 157_1, i stället för till 157_2. Den högst beräknade dosen för objekt 157_1 jämfört med doser för objekt 157_2 i de ursprungliga SR-PSU-beräkningarna ökar med ungefär en faktor två för de två exponeringsgrupperna. Gruppen

jägare/samlare blir mest utsatt i denna situation, på grund av intag av C-14 från förorenad fisk i sjön. Dessa exempel från SSM:s oberoende modellering belyser betydelsen av antaganden om flödesriktning, liksom betydelsen av potentiella utsläpp till sjöar och om dessa kan orsaka mer betydande radiologiska effekter. Resultaten som diskuterats ovan visar dock att betydelsen av olika flödesantaganden är begränsad i detta fall.

Enligt SSM:s bedömning är det viktigt att konstatera att den hydrologiska och hydrogeologiska modelleringen till stöd för säkerhetsanalysen SR-PSU, liksom all annan liknande modellering för långa tidsskalor, innehåller approximationer. Beräkningsarbetet kan aldrig genomföras som en exakt vetenskap. SSM anser dock att beräkningar baserade på projektioner av landskapsutveckling är ett logiskt tillvägagångssätt och att kontroller av vattenbalanser ger ett visst förtroende för att modelleringen är rimlig och inte innehåller uppenbara felaktigheter. De beräknade vattenflödena är dock osäkra, inte minst på det sättet att de behöver justeras, mappas, normaliseras, interpoleras och extrapoleras. Det bör noteras att dessa osäkerheter inte representeras uttryckligen vare sig i hydrologisk eller hydrogeologisk modellering eller som deterministiska vattenflöden i den överlag probabilistiska säkerhetsanalysen SR-PSU. SSM ser positivt på att SKB kommer att utveckla ett alternativt tillvägagångssätt för att härleda hydrologiska flödesvärden, som bl.a. kommer att användas i den kommande biosfärsanalysen, vilken SKB även nämnde i sitt Fud-program 2016: "En viktig fråga som SSM pekat på vid granskningen av SR-Site är hur man från en detaljerad hydrologisk modell skapar parametrar som beskriver hydrologiska flöden vilka sedan kan användas i säkerhetsanalysen för att beskriva ämnestransport med hjälp av en enkel boxmodell. Alternativ till dagens metod kommer att undersökas, med målsättningen att utveckla en metodik som beskriver transporten av vatten och lösta ämnen under längre tidsperioder och på ett rättvisande, enkelt och lättbegripligt sätt." (SKB, 2016, s. 219).

Jordbruksmodellen

Som omnämndes i det föregående avsnittet utvärderas aktivitetskoncentrationer i jord från en dikad myr med användning av ett analytiskt uttryck (SKB R-13-46, kapitel 7). Ingen dynamisk modellering av jordbruksmark har genomförts i SKB:s analyser. SSM:s externa experter påpekade att SKB:s enkla metod för modellering av jordbruk beaktar inväxt av explicit modellerade radionuklider med en skalningsfaktor. Det är inte klart om detta i tillräcklig utsträckning representerar processer som utlakning, varvid dotternuklider kommer att ha olika retardationsegenskaper. SSM:s externa experter undersökte metoden för modellering av jordbruksjord i SR-PSU genom att konstruera en AMBER-modell för dynamisk modellering av jordbruksmarkens koncentrationer. Den dynamiskt modellerade 50-åriga genomsnittliga aktivitetskoncentrationen i en dikad myr jämfördes sedan med resultat från användning av det analytiska uttrycket i SR-PSU-modelleringen. Jämförelsen visar att SKB:s analytiska uttryck ger en god approximation av de dynamiskt modellerade resultaten för de flesta radionuklider. Överenskommelsen är inom 10 % för 36 av de 43 modellerade radionukliderna (SSM 2017:33 del 2, tabell 3). För radionuklider med halveringstider kortare än den genomsnittliga periodens längd är dock överensstämmelsen mindre bra. Det analytiska uttrycket befanns underskatta dessa koncentrationer. SSM konstaterar dock att dessa radionuklider är av sekundär betydelse för beräknade biosfärsdoser. Men SSM anser att SKB bör förbättra tillvägagångssättet för hur aktivitetskoncentration i jordbruksmark representeras inom ramen för kommande säkerhetsanalyser.

C-14-modellen

SSM noterar att SKB gjort en betydande uppdatering av modelleringen av C-14 i SR-PSU sedan säkerhetsanalysen SAR-08. SSM instämmer med anlitade externa experter (SSM 2017:33 del 2) om att SKB har förbättrat C-14 modellen genom att införa en reservoar för organiskt kol för att representera kolbalansen, samt genom att introducera en ny

atmosfärsutbytemodell för att representera mikrometeorologiska processer. I säkerhetsanalysen för SAR-08 (SKB R-08-130) var intag av C-14 från fisk en av de viktigaste exponeringsvägarna. I SR-PSU ingår dock förtäring av fisk och skaldjur endast i jägare/samlargruppen. Eftersom C-14 var viktig i den tidigare säkerhetsanalysen har SSM ägnat denna radionuklid särskild uppmärksamhet under huvudgranskningsfasen.

BIOMASS-metoden (IAEA, 2003) fastställer i sju steg en iterativ process för att utveckla biosfärsmodeller för dosberäkningar. Den förutsätter att en ny iteration av modellen demonstreras och att fördelarna med den reviderade metoden tydligt framgår. SSM:s externa experter har följande synpunkter på SKB:s C-14 modell (SSM 2017:33 del 2):

- Metan ($^{14}\text{CH}_4$) diskuteras inte och försummas helt i biosfärsmodelleringen.
- Metoden för modellering av C-14-ackumulation i fisk resulterar i signifikant lägre koncentrationförhållanden jämfört med användning av IAEA:s rekommenderade överföringsfaktorer (CR-värden).
- De antagna avgasningshastigheterna från jord är mycket högre än de som används i andra jämförbara säkerhetsanalyser.

SSM har begärt kompletterande information från SKB angående ovanstående synpunkter, samt även angående motiven för att uppdatera C-14-modellen i SR-PSU. SKB svarade i november 2017 (SKB dokID 1601415) och redovisade dessutom nya beräkningar för avgasning från jord (SKB dokID 1610560). I kompletteringen konstaterar SKB att de viktigaste motiven för uppdateringen har varit att biosfärmodellen i SR-PSU ska ha förmåga att spegla ackumulation av de huvudsakliga reservoarer av C-14 som förekommer i miljön, samt ge en trovärdig representation av de processer som styr ackumulation och frisättning av C-14. Vidare förklarar SKB att all C-14-aktivitet som når biosfären är tillgänglig för växtupptag. Att inte beakta metan är således ett konservativt antagande. Beträffande ackumulation av C-14 i fisk förklarar SKB att beräkning av upptaget genom användning av den specifika aktiviteten är i linje med IAEA:s rekommendationer (IAEA 2001, Annex III). SKB anför även att IAEA (2004) påpekar att beräkningar av överföringsfaktorer (CR-värden) för C-14 är problematiska, dels på grund av antaganden om vilka former av C-12 och C-14 som kan antas vara i jämvikt, dels beroende på vilka former som är relevanta för upptag hos olika organismer. När det gäller frågan om hastigheter för gasflöde från mark har SKB utfört en känslighetsanalys. Det har inneburit en modifierad beräkning där diffusivitet i jorden och löst oorganiskt kol (DIC) kan beräknas baserat på varierande egenskaper hos jorden, speciellt med avseende på respiration och vattenmättnadsgrad. De nya beräkningarna visar att effekten av gasavgångshastigheten är begränsad (SKB dokID 1610560).

SKB:s kompletterande information har granskats av SSM:s externa experter som har utfört oberoende modelleringsstudier för att undersöka känslighet för exponeringsvägar vid konsumtion av fisk, samt för avgasningshastigheter från jord. Syftet med modelleringen var särskilt att undersöka den potentiella effekten av att inkludera konsumtion av fisk, från en sjö i biosfärsobjekt 157_1 och 116, i dieten för jordbrukare som odlar på dikad myr i biosfärsobjekt 157_2 (SSM 2017:30, del 4). Detta har implementerats genom att tilldela 10 % av kolinnehållet till fisk från sjön och genom att minska fraktionen av kol i dieten från mjölk från 25 % till 15 %. Beräkningsresultaten visar att doserna för jordbrukare på dikad myr inklusive doser från konsumtion av fisk endast ökar i relativt liten utsträckning (SSM 2017:30 del 4, figur 12). Den begränsade effekten beror på att sjön i biosfärsobjekt 157_1 högst kan leverera 2 % av erforderligt kol i dieten till jordbrukaren på dikad myr. Den radionuklid som bidrar mest till den ursprungliga

beräknade dosen är Mo-93 från intag av spannmål som odlas på den dikade myren i biosfärobject 157_2.

Modelleringsstudien om avgasningshastigheter från jord syftade till att undersöka känsligheten för antaganden om förlustfrekvenser av C-14 i atmosfären genom att reducera hastigheter för det terrestra och akvatiska utbytet med en storleksordning. Den maximalt beräknade dosraten för gruppen jägare/samlare från intag av C-14 via fisk ökar med ungefär en storleksordning när utbyteshastigheten för C-14 från myr och ytvatten reduceras i samma utsträckning (SSM 2017:30 del 4, figur 9). De resulterande totala beräknade doserna för gruppen jägare/samlare ökar dock bara i liten utsträckning jämfört med de ursprungliga beräknade doserna för jordbrukare på dikad myr.

Efter att ha tagit del av SKB:s kompletterande information kring C-14-modellering och de oberoende modelleringsstudier som har utförts av SSM:s externa experter anser SSM att osäkerheterna kring SKB:s C-14 modell i SR-PSU är begränsade. SSM menar dock att SKB bör fortsätta utvecklingen av C-14 modelleringen och verifiera C-14 modellen både genom jämförelser av modellresultat med data och genom jämförelser med andra C-14 modeller. SSM ser också positivt på att SKB planerar att fortsätta med forskning och utveckling kopplat till spridning av C-14 i akvatiska ekosystem samt kopplat till radionuklidtransport och biologiskt upptag i ytsystem (SKB, 2015, avsnitt 11.5.3).

Objektavgränsning

SSM konstaterar att definition av objektavgränsningar har en potentiellt stor betydelse vid dosberäkningar, eftersom ett för stort objekt kan resultera i en för stor utspädning (SSM 2016:09 del 2). Det tillvägagångssätt som SKB antagit för definition av objekts avgränsning är dock delvis ottydligt enligt SSM:s bedömning. SSM och SKB delar visserligen bedömningen att biosfärsobjekt bör lokaliseras till topografiska fördjupningar samt att partikelspårning som ger utsläppsplatser, är en lämplig grund för identifiering och avgränsning av biosfärsobjekt. SSM:s externa experter konstaterar dock att biosfärsobjekten som har identifierats i SR-PSU kan tolkas som att de går tvärs över flera avrinningsområden (SSM 2017:33 del 1). SKB anger att utsläppsställen uttryckta som partikeldensiteter identifieras som biosfärsobjekt (SKB TR-14-06).

SKB har gjort en känslighetsanalys med en alternativ avgränsning av objekt 157_2 för att undersöka hur objektavgränsning kan påverka objektets egenskaper och de miljökoncentrationer som uppstår vid ett konstant utsläpp av radionuklider (SKB TR-14-06). Variationen i totalt flöde förväntas vara direkt avhängig storleken på det skisserade objektet. SSM anser att SKB bör förbättra det tillvägagångssätt man tillämpar vid definition av objektavgränsningar med syfte att göra biosfärsanalysen mer transparent i kommande säkerhetsanalyser. Ett lämpligt tillvägagångssätt kan exempelvis beskrivas med följande steg: i) identifikation av utsläppspunkter baserat på partikelspårning och flödesmodellering, ii) identifikation av avrinningsområde baserat på utsläppspunkterna, och slutligen iii) identifikation av biosfärsobjekt inom avrinningsområdet. Detta tillvägagångssätt bedöms vara tydligare än definition av objektavgränsning genom att använda kluster av utsläppspunkter eller partikeldensiteter.

Sammanfattningsvis konstaterar SSM att SKB har förbättrat sin biosfärsmodellering sedan tidigare säkerhetsanalyser. SSM är exempelvis positiv till att SKB parallellt beaktar grävda och borrhållsbrunnar samt ytvatten, för exponeringsvägarna vid vattenanvändning för olika typer av exponeringsgrupper. De väljer sedan de maximala aktivitetskoncentrationerna mellan dessa alternativ för tillämpningen i dosberäkningar. SSM anser dock att SKB ytterligare bör förbättra sitt tillvägagångssätt i kommande steg av sitt program. För biosfärsmodelleringen behövs bl.a. bättre motivering av modellutveckling vid varje

iteration, ett mer transparent sätt att definiera objektets avgränsning samt en mer transparent härledning av flödesparametervärden som används i transportmodellen och som tar hänsyn till modellosäkerheter.

Stråldoser till djur och växter i miljön

SSM har internt med hjälp av ERICA-verktyget reproducerat beräkningsresultat från SKB:s Ecolego modell för möjliga stråldoser till djur och växter i miljön (SSM PM, Stark, 2018). Syftet var att få underlag för en bedömning av SKB:s implementering av ERICA-metodiken i Ecolego genom att reproducera ett urval av SKB:s beräknade dosrater. Ett urval av tre tidpunkter, nio radionuklider och nio organismer valdes från de tre ekosystemen (marin, sötvatten, terrest) från SKB:s huvudscenario ("*global warming calculation case*") och från objekt 157_2 (SKB TR-14-09). Parametervärden för upptag (CR-värden), uppehållstid för organismer ("*occupancy factor*") samt aktivitetskoncentrationer i vatten, jord och sediment extraherades från SKB:s Ecolego-modell. De av SSM reproducerade beräkningarna av dosrater stämde generellt väl överens med SKB:s dosrater, dock med undantaget dosrat till växtplankton från Se-79 i marint ekosystem som var mycket högre enligt SSM:s beräkningar. Orsaken till denna skillnad är inte känd men dosraten är ändå fortsatt låg och det är liten risk att även SSM:s högre dosrat kan påverka växtplankton. SSM bedömer således att SKB:s implementering av ERICA-verktyget i Ecolego har utförts på ett i huvudsak korrekt sätt.

SSM bedömer att SKB inte behöver uppdatera dosberäkningar till djur och växter i miljön på grund av det uppdaterade inventariet. SKB förtydligade att uppdateringen av inventariet främst rör Mo-93 som inte är dominerande i dosbidraget till djur och växter samt att beräkningsfallet med högt inventarium täcker in osäkerheten i inventariet.

SKB antar att radionuklider från ett utsläpp sprids och fördelas över hela biosfärsobjekten vilket resulterar i lägre aktivitetskoncentrationer av radionuklider än om radionuklider skulle antas ackumuleras nära utsläppspunkter. SKB kompletterade sin redovisning med ytterligare beräkningar och ett resonemang kring hur en population skulle kunna påverkas av högre nivåer i ett mindre område. SSM gör därför bedömningen att även om ett fåtal individer skulle kunna påverkas av stråldoser från ett större utsläpp i ett mindre område så är risken liten att det skulle påverka fortlevnaden av hela populationen, vilket har störst relevans inom miljöskyddet.

SKB antar att organismerna intar föda från de ekosystem som de antar vistas mest i (SKB TR-13-23), och CR-värden för dessa ekosystem har således tillämpats. Denna typ av antaganden har dock visats kunna resultera i en underskattning av upptag av radionuklider i organismer som fågel i akvatisk miljö (Stark m.fl., 2015). SSM har därför under granskningen efterfrågat en redovisning av hur dosrater till fågel och utter skulle påverkas om dessa antas inta sin föda från en terrest miljö (SSM2015-725-47). SKB redovisade i sitt svar att dosrater från akvatisk miljö blir högre främst på grund av bidrag från C-14 (SKB dokID 1572152). Det bedöms därför vara konservativt att anta att djur tar sin föda från akvatisk miljö på det sätt som gjorts i SR-PSU. SSM bedömer att risken är fortsatt låg för effekter på populationsnivå.

SKB rekommenderar att organismer ska antas vara på jordytor/i jord och på sediment i så hög utsträckning som möjligt i dosberäkningar då antagandet bedöms vara konservativt (SKB TR-13-23). SSM efterfrågade dock en förklaring till varför detta antagande inte har tillämpats för groddjur och utter, samt en redovisning av hur dosraten påverkas om utter och fågel antas ha kontakt med sediment i marina ekosystem och sötvattens ekosystem (SSM2015-725-47). SKB inkom 2017 med en kompletterande redovisning av hur de omfattande uppdateringar som gjorts i ERICA-verktyget version 1.2 från november 2014

skulle påverka SKB:s beräkningar av dosrat till djur och växter (SKB dokID 1572152). I kompletteringen redovisades bl.a. att dosraten blir upp till 64 % högre för groddjur om de befinner sig i jord. Samtliga dosrater var fortfarande under screeningvärdet på $10 \mu\text{Gy}^{-1}$ och SSM bedömer därför att risken är fortsatt låg för effekter på populationsnivå.

ERICA-verktyget tar inte hänsyn till att växternas rötter befinner sig i jord/sediment utan de antas endast befinna sig på ytan. Enligt SKB TR-13-23 kan dosraten till växter därför bli underskattad. SSM begärde att SKB skulle redovisa hur mycket dosraten påverkas om även växters rötter ingår i beräkningen (SSM2015-725-47). SKB inkom med svar i maj 2017 (SKB dokID 1572152) där de visade att dosraten till växter då kan bli två gånger högre. Då dosraterna fortfarande är under screeningvärdet bedömer SSM att risken är låg för effekter på populationsnivå.

Sammanfattningsvis bedömer SSM att även om det fanns förbättringsmöjligheter i SKB:s ursprungliga beräkningar av möjlig stråldos till djur och växter så har SKB kompletterat dessa på SSM:s begäran. Efter att ha tagit del av den tillkommande informationen bedömer SSM att SKB har utfört riskbedömningen för miljön (djur och växter) på ett tillförlitligt sätt.

10.5 Radionuklidtransportparametrar och deras utveckling med tiden

Beskrivning av SKB:s underlag

SKB har sammanställt parametrar för radionuklidtransportberäkningar och dosberäkningar i biosfären i två rapporter: en med biosfärparametrar (SKB R-13-18) och en med K_d - och CR-värden (SKB R-13-01). Ett hierarkiskt tillvägagångssätt har tillämpats vid val av data, som inkluderar element- eller parameteranalogier. SKB har använt en urvalsprocess i tre steg för sina parameterval:

- val av data
- jämförelse av data
- manuell utvärdering och urval

Det första steget är den inledande datavalsprocessen som kan delas in i två delar:

- Varje given parameter erhåller data från sammanställningen av K_d /CR-värden, och får därmed en undergrupp med representativa data med flera datakällor. Platsspecifik data har getts högst prioritet och litteratordata har främst använts som stödjande information. När platsspecifik data saknats för en parameter har i första hand element- eller organismanaloger från platsen använts för att fylla luckor.
- Från aktuell undergrupp görs ett initialt val av data genom att tilldela minimum, maximum och geometrisk standardavvikelse (GSD) för parametrarna baserat på statistiska urvalskriterier såsom antal mätningar (N) och observerad variation av ingående data.

Det andra steget innefattar olika jämförelser i dataproessen. Initialt valda data genomgår en kontroll av betydelse ("*sense checked*") genom att jämföra intervallet för tillgängliga datakällor, vilket gör det möjligt att identifiera avvikelser. En betydelsekontroll genomförs för varje parameter och varje elementspecifikt fall:

- det initialt valda intervallet för en viss parameter jämförs med det totala utbudet av all litteratordata

- intervall med platsspecifik data från Forsmark och Laxemar jämförs med det totala utbudet av all litteraturdata
- intervall med platsspecifik data från Forsmark jämförs med det totala utbudet av litteraturdata.
- intervall med platsspecifik data från Laxemar jämförs med det totala utbudet av litteraturdata.
- data från Forsmark och Laxemar jämförs
- intervall för sammanställningen av K_d /CR-värden från litteraturen jämförs.

Det tredje steget är den manuella utvärderingen och slutliga valet. Jämförelserna i steg 2 syftar till att underlätta en slutlig, manuell utvärdering och val av parametervärden. I det tredje steget utvärderas valda data individuellt med hjälp av information från betydelsekontroll i kombination med information från möjliga element och parameteranalogier (EAs respektive PA).

SKB har också redovisat följande kompletterande information med koppling till derivering av K_d och CR-värden:

- SKB dokID 1555970, 2016. Guide to the implementation of the SR-PSU K_d and CR parameterisation in two databases. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB dokID 1556279, 2016. Manual reproduction of parameter values in SR-PSU. Svensk Kärnbränslehantering AB.

Koncentrationskvoter (CR) har en stor inverkan på dosberäkningarna för djur och växter. SKB har därför i största möjliga utsträckning använt sig av platsspecifika CR-värden (SKB TR-13-23). I fall där inga platsspecifika CR har funnits tillämpades istället data från ERICA-verktyget, data från andra analoga radionuklider med liknande egenskaper eller ICRP:s CR-värden.

I rapporten med biosfärsparametrar (SKB R-13-18) beskrivs samtliga parametrar som ingår i radionuklidtransportmodelleringen. Detta innefattar radionuklidspecifika parametrar, landskapsgeometrier, regolitikarakteristik, hydrologiska parametrar, K_d /CR-värden (vilka beskrivs ovan) parametrar för terrestra och akvatiska ekosystem. Rapporten beskriver även utförligt det underlag som ligger till grund för beskrivningen av människosamt djur- och växtkarakteristik (SKB R-13-18, kapitel 10 och 11).

SSM:s bedömning

I biosfärsanalysen för den tidigare säkerhetsanalysen SR-Site (SKB TR-11-01) användes Bayesianska metoder för att definiera sannolikhetsfördelningar PDFs ("Probability Density Functions") för K_d - och CR-värden, baserade på en tillgänglig mindre databas. I SR-PSU däremot har ett mer direkt, och mindre statistiskt präglad tillvägagångssätt använts med syftena att definiera parametrar på ett så transparent sätt som möjligt och att säkerställa en enhetlig hantering av parametervärden. SSM anser att det nya tillvägagångssättet är acceptabelt och att de härledda K_d - och CR-fördelningarna som används i biosfärsanalysen i SR-PSU således också är acceptabla.

Sorptionskoefficienter (K_d) och överföringsfaktorer (CR) är viktiga empiriska parametrar som används i SR-PSU biosfärsmodellen. Spårbarheten för dessa parametrar är av stor betydelse, oavsett om de härrör från platsspecifika mätningar vid Forsmark eller Laxemar, eller om de tidigare har publicerats i den vetenskapliga litteraturen. Under SSM:s inledande granskning framkom att det grundläggande tillvägagångssättet som användes för att definiera K_d - och CR-fördelningarna i biosfärsanalysen i SR-PSU skiljer sig

fundamentalt från det som användes i SR-Site. Tidigare kombinerades plats- och litteraturdata för att generera fördelningarna alternativt användes elementspecifika litteraturdata i avsaknad av platspecifik data. I SR-PSU biosfärsanalysen användes däremot platsdata relaterad till elementet av intresse eller alternativt data för ett analogt element, istället för tillämpningen av litteraturdata. Under SSM:s inledande granskning identifierades ett antal relevanta granskningsfrågor kring den radionuklidspecifika biosfärsparametriseringen (SSM 2016:09 del 3; SSM 2016:09 del 1):

- en oberoende beräkning av en parameterfördelning baserad på SKB:s datamängd
- en kontroll av omvandlingen av överföringsfaktorer definierade i termer av torrsvikt av organismen till massa av kol
- ytterligare granskning av lämpligheten att använda element- och parameteranalogier för att kompensera för avsaknad av data för relevanta radionuklider

Dessa frågor behandlades på ett djupgående sätt under SSM:s huvudgranskningsfas.

SSM:s externa experter genomförde under huvudgranskningsfasen en grundlig granskning av dessa frågor relaterade till SKB:s härledning av parameterfördelningar. SSM begärde också kompletterande information från SKB om vissa datafiler (SSM2015-725-20). I svaret till SSM levererade SKB två Microsoft Access-databasfiler tillsammans med två dokumentfiler (SKB dokID 1555970, SKB dokID 1556279). Dessa två dokument ger en detaljerad beskrivning av databaserna för K_d - och CR-värden, speciellt med avseende på framtagningen av de 2139 st. K_d - och CR-värden som har använts i dosberäkningsmodellerna.

SSM:s externa experter konstaterar att processerna för att extrahera platspecifika data från SKB:s databaser är spårbara men också komplexa (SSM 2017:33 del 2). Denna slutsats har baserats på en stickprovskontroll av framtagningen av tre parametrar: K_d _regoLow för nickel, CR_LakeFish för neptunium och CR_AgriVeg för cesium.

I biosfärsparameterrapporten och K_d - och CR-rapporten, finns platspecifika data tillgängliga, och dessa har använts för att omvandla koncentrationsförhållandena definierade med avseende på organismens torrsvikt till massa av kol. SSM:s externa experter granskade cR_agri_Cereal för molybden. Slutsatsen från denna granskning är att användningen av provspecifika kolinnehållsdata för att omvandla koncentrationsförhållanden från en färsk- eller en torr-viktbas till en kolmassa är lämplig. Metoden innebär dock att parametrarna som används av SKB i denna beräkning blir mindre spårbara/jämförbara än om litteraturvärden av kolinnehåll för biota används.

Beträffande den tredje granskningsfrågan i punktlistan ovan, håller SSM med de externa experterna om att ett välgrundat urval av elementanalogier kan ge kvalitativa ledtrådar om det troliga beteendet hos specifika radionuklider i olika sediment-jord-växt-djur-system. Stor försiktighet måste dock tillämpas vid extrapolering av kvantitativa parametervärden från ett element till ett annat, även om kemiska egenskaper för dessa element har uppenbara likheter (SSM 2017:33 del 2). Denna slutsats illustreras av fallet Tc och Re.

Ett nyckelsteg i SKB:s metod för att härleda K_d - och CR-värden är uppskattningen av vad som kallas plausibel parametervariation, vilken bygger på platspecifika data från Forsmark och Laxemar. Variationen av parametervärden för enskilda element bedöms mot den generella variationen för alla element inom SKB:s kemi-databas, även de som inte ingår i SR-PSU-beräkningarna. Det framgår av SKB:s K_d - och CR-rapport att metoden ger en förbättring av uppskattningen av det generella intervallet av den geometriska

standardavvikelsen i en parametergrupp. SSM har dock svårt att se hur den statistiska variationen av ett element med en specifik uppsättning kemiska egenskaper kan representeras bättre av variationen i ett antal andra element med väsentligen annorlunda kemiska egenskaper. Beslutet att tillämpa denna metod förefaller vara godtyckligt motiverat och den låga statistiska signifikansen (låg N) för de platsspecifika parametervärdena som är tillgängliga för SKB kan vara ett resultat av detta beslut.

SSM gav ytterligare ett uppdrag till sina externa experter, nämligen att jämföra de K_d - och CR-fördelningar som används i biosfärsanalysen i SR-PSU med motsvarande fördelningar i SR-Site. Elva K_d -värden och sju CR-värden för tjugonio element ingår i jämförelsen (SSM 2017:30 del 4). Det geometriska medelvärdet är generellt högre för K_d -fördelningarna i biosfärsanalysen i SR-PSU jämfört med K_d -fördelningarna i biosfärsanalysen i SR-Site. Betydelsen av denna förändring varierar beroende på vilka exponeringsvägar som är av betydelse för varje radionuklid inklusive dotternuklider. Ökningen kan dock generellt anses vara försiktig. Den innebär exempelvis ökad retention av radionuklider i de lager som vegetation, biota och människor exponeras för. För CR-fördelningarna ökar de genomsnittliga upptagningsvärdena för vissa element medan de minskar för andra. Baserat på denna detaljerade granskning utförd av SSM:s externa experter, anser SSM att de härledda K_d - och CR-fördelningarna baserade på det nya tillvägagångssättet i biosfärsanalysen i SR-PSU är godtagbara. Detta beror på att geometriska medelvärden för K_d -fördelningar generellt är högre än de i SR-Site som bedöms vara försiktigt valda, medan de minskande CR-värdena i SR-PSU bedöms vara mindre betydelsefulla vid dosberäkningarna. SSM anser dock att platsspecifika K_d -data bör prioriteras i enlighet med tidigare rekommendationer. Detta innebär att fasta och flytande prover från samma bulkjordprov bör användas för att beräkna K_d -värden i kommande säkerhetsanalyser. På samma sätt bör radionuklid- eller elementkoncentrationer i matchade vegetations- och bulkjordprover användas för att beräkna CR-värden.

10.6 Redovisningar av konsekvenser för människa och miljö

I detta avsnitt granskas beräkningsresultat för beräkningsfall som utgår från SKB:s scenarier i SR-PSU (SKB TR-14-01, TR-14-09). SKB har analyserat scenarier med tillhörande beräkningsfall i tre kategorier i enlighet med SSM:s föreskriftskrav (SSMFS 2008:21): huvudscenario, mindre sannolika scenarier och restscenarier. SKB använder metoder, modeller och indata i enlighet med steg 9 i en av SKB särskilt framtagen metodik för säkerhetsanalyser. Risken uppskattas med beräkningar som avser huvudscenariot respektive de mindre sannolika scenarierna. Dessa resultat integreras till en total årlig risk som sedan jämförs med riskkriteriet för skydd av människors hälsa efter förvarets slutliga förslutning (SSMFS 2008:37, 5 §). SSM:s granskning av SKB:s metod och modeller för säkerhetsanalysen redovisas i avsnitt 10.2, 10.3 och 10.4 i detta kapitel. Granskning av SKB:s resultat för beräkningsfall som utgår från olika scenarier ges i 10.6.1. Myndighetens sammanfattande bedömning av SKB:s konsekvensanalys återges i 10.7.

10.6.1 Konsekvensanalys av huvudscenariot, de mindre sannolika scenarierna samt restscenarier

Beskrivning av SKB:s underlag

SKB har definierat ett antal beräkningsfall som bygger på den uppsättning scenarier som har analyserats i SR-PSU (SKB TR-14-01, kapitel 7). Beräkningsfallen avser huvudscenariot respektive de mindre sannolika scenarierna och sammanfattas i tabellerna 8-5 och 8-6 (SKB TR-14-01, kapitel 8).

Huvudscenariot består av två varianter baserade på antingen klimatfallet med global uppvärmning eller klimatfallet med tidigt periglacialt klimat. Följande beräkningsfall tillhör huvudscenariot:

- Global uppvärmning
- Tidigt periglacialt klimat
- Tidpunkten för utsläpp direkt efter förslutning
- Kollektivdos på grund av utläckage av radioaktiva ämnen under 1000 år efter förslutning

De sista två fallen utgör varianter av det globala uppvärmningsfallet.

Den högsta årliga effektiva dosen för beräkningsfallen som ingår i huvudscenariots variant med global uppvärmning uppgår till 7,8 μSv (beräkningsfallet med global uppvärmning) (SKB dokID 1603691) och 8,2 μSv (beräkningsfallet gällande tidpunkten för utsläpp direkt efter förslutning). Varianten med tidigt periglacialt klimat är identisk med beräkningsfallet för varianten med global uppvärmning fram till 17 500 e Kr och efter 20 500 e Kr. I beräkningsfallet som definieras för att analysera denna variant beaktas således bara perioden 17 500 – 20 500 e Kr under vilken periglaciala förhållanden med ytlig permafrost antas råda. Den högsta årliga effektiva dosen som erhålls under denna period är 0,28 $\mu\text{Sv}/\text{år}$.

Beräkningsfallet för kollektivdos baseras på geosfärens utsläpp från beräkningsfallet gällande tidpunkten för utsläpp. Kollektivdoser beräknas för två populationer; den globala befolkningen och befolkningen kring Östersjön. Kollektivdosen för den globala befolkningen till följd av C-14-utsläpp till atmosfären beräknas till 2,5 manSv vilket motsvarar en maximal genomsnittlig effektiv dos per capita (kollektivdosen dividerad med antalet individer i gruppen) på 0,25 nSv. Kollektivdosen (som också domineras av C-14) för befolkningen kring Östersjön till följd av radionuklidutsläpp till Östersjön och efterföljande exponering av befolkningen genom intag av fisk beräknas till 0,15 manSv.

Följande beräkningsfall avser de mindre sannolika scenarierna:

- Högt inventarium
- Högt flöde i berggrunden
- Accelererad betongdegradering
- Bentonitdegradering
- Jordskalv
- Höga koncentrationer av komplexbildare
- Brunnar nedströms förvaret
- Intrångsbrunnar

Jämförelse av beräknad dos för de mindre sannolika scenarierna visar att de högsta årliga effektiva doserna erhålls för de scenarier som beaktar intrångsbrunnar i olika förvarsdelar, där i synnerhet intrångsbrunnar i 1BLA (4524 $\mu\text{Sv}/\text{år}$), Silo (1406 $\mu\text{Sv}/\text{år}$) och 1BMA (1474 $\mu\text{Sv}/\text{år}$) ger upphov till höga doser (SKB, 2015, tabell 9-20). Flera av de andra mindre sannolika scenarierna för intrångsbrunnar ger upphov till doser av liknande omfattning. Scenariot med bentonitdegradering ger en maximal årlig dos på 7,7 μSv . För scenariot som omhändertar osäkerheter kopplade till grundvattenflödet i berget erhålls 9,7 μSv . För scenariot med högt inventarium erhålls 17,7 μSv och för scenariot med höga koncentrationer med komplexbildare uppnås en maximal årlig dos på 10,7 μSv . Brunnar nedströms förvaret ger upphov till en maximal effektiv årlig dos på 15,6 μSv . Scenariot med accelererad betongdegradering ger i SKB:s komplettering upphov till en maximal effektiv årlig dos om 15,8 μSv (SKB dokID 1585173, tabell 3-1). Dosökningen från 10,6 μSv , vilket var den maximala årliga dos som presenterades i ursprungsredovisningen i SR-PSU (SKB, 2015, tabell 9-20), erhöles på grund av att radionuklidtransportmodellen som beskrev transport genom sprickor i betongen initialt var felaktigt implementerad i SKB:s beräkningskod (SKB dokID 1585173).

SKB har även definierat två särskilda scenariokombinationer. Den ena fallet har definierats genom att kombinera scenariot med högt flöde i berggrunden med scenariot med höga koncentrationer av komplexbildare och detta fall ger upphov till en maximal årlig dos på 13,3 μSv . Det andra fallet har definierats genom att kombinera scenariot med högt flöde i berggrunden med scenariot med accelererad betongdegradering. Efter komplettering av ansökan skattade SKB att dosen för scenariokombinationen kan öka med 50 % av den ursprungliga dosen som var 15,5 μSv (SKB dokID 1585173, avsnitt 3).

Sannolikheten som SKB ansätter för de mindre sannolika scenarierna redovisas i tabell 10-1 i SR-PSU (SKB, 2015). SKB:s motiveringar till antagna eller beräknade sannolikheter för de olika scenarierna redovisas i scenariokapitlet (SKB, 2015, kapitel 7). Det beskrivs även i kapitel 9 i denna granskningsrapport som avhandlar SKB:s val av scenarier.

SKB:s restscenarier har analyseras oberoende av sannolikhet och beaktas således inte i risksummeringen ovan. Uppsättningen av restscenarier består av scenarier som har valts för att illustrera betydelsen av individuella barriärfunktioner, radiologisk effekt till följd av mänskliga handlingar som exempelvis intrång i förvaret, konsekvenserna av ett ej förslutet förvar samt konsekvenserna av klimatfall som inte ingår i huvudscenariot; förlängd global uppvärmning samt glaciation och postglaciala förhållanden. Doskonsekvenserna som erhålls för dessa restscenarier redovisas i tabell 9-21 (SKB, 2015, kapitel 9). Maximal dos som erhålls från att inte försluta förvaret uppgår till 13 300 μSv . Scenarierna som formulerats för att belysa förluster av barriärfunktioner ger årliga doser om 41,4 μSv (ingen sorption i förvaret), 10,4 μSv (ingen sorption i berggrunden) samt 68,8 μSv (högt vattenflöde i förvaret). Förändring av redoxförhållanden, i vilket förvarets kemiska betingelser antas vara oxiderande vilket i sin tur får till följd att alternativa K_d -värden för oxiderande förhållanden ansätts för redoxkänsliga radionuklider, ger upphov till en maximal årlig dos på 7,4 μSv . De restscenarier som beaktar alternativa klimatfall ger i sin tur upphov till 2,8 μSv (glaciation och postglaciala förhållanden) respektive 7,0 μSv (förlängd global uppvärmning). Restscenarier som beaktar olika framtida mänskliga handlingar beräknas ge årliga doser motsvarande 250 μSv (exponering av personal på plats under borrningen), 6,5 μSv (exponering under bygge på deponi med borrkax) samt 1,2 μSv (exponering till följd av odling på deponi med borrkax).

Den totala risken för människors hälsa efter slutlig förslutning har beräknats genom summering av huvudscenariots riskbidrag med summan av riskbidrag från de mindre

sannolika scenarierna. Sannolikheten för huvudscenariot har beräknats genom subtraktion av summan av sannolikheterna för mindre sannolika scenarier eftersom dessa anses vara ömsesidigt uteslutande. Sannolikheter för de mindre sannolika brunnscenarierna har dock inte subtraherats eftersom de kan förekomma parallellt med huvudscenariot. Den totala risken beräknas enligt ekvationen nedan:

$$Risk_{Total} = Dos_{max\text{huvudscenario}} \cdot 0,073 \left(1 - \sum_x P_x \right) + \sum_x Dos_x \cdot 0,073 \cdot P_x + \sum_i Dos_i \cdot 0,073 \cdot P_i$$

där x representerar högt inventarium, högt flöde i berggrunden, accelererad betongdegradering, bentonitdegradering, jordskalv, höga koncentrationer av komplexbildare; i representerar brunnar nedströms förvaret och intrångsbrunnar.

Den högsta totala årliga risken beräknad enligt ekvationen ovan erhålls ca 5000 e Kr och uppgår till $9 \cdot 10^{-7}$ (SKB, 2015, avsnitt 10.3.3). SKB redovisar även relativa bidrag till den totala risken från enskilda förvarsutrymmen (SKB, 2015, figur 10-8) och radionuklider (SKB, 2015, figur 10-10). Av de enskilda förvarsdelarna är det 1BLA som initialt (3000 e Kr) bidrar mest till den radiologiska risken, vilken beror på scenariot med intrångsbrunnar. I efterkommande perioder under förvarets utveckling erhålls högst riskbidrag från Silo, 1BMA och 1BLA.

Viktiga nuklidspecifika bidrag till den totala radiologiska risken utgörs under olika tidsperioder av C-14, Ni-59, Mo-93, I-129 och U-238. SKB betonar att Mo-93 och C-14 har tillräckligt korta halveringstider för att hinna sönderfalla till obetydliga nivåer under analysperioden medan övriga tre riskdominerande nuklider bidrar under hela analysperioden. SKB delar upp långlivade nuklider i två kategorier: sådana radionuklider för vilka livstiden hos olika förvarskomponenter är mer betydelsefull för den långsiktiga strålsäkerheten än det initiala inventariet och sådana för vilka det initiala inventariet är mest betydelsefullt (SKB, 2015, avsnitt 10.6.2). Detta ligger till grund för när i tiden de två olika säkerhetsprinciperna, *fördröjning av uttransport av radionuklider* och *begränsad mängd långlivade radionuklider*, har sin största relativa betydelse (SKB, 2015, figur 10-11).

Riskutspädning kan uppstå för händelsedrivna scenarier, såsom jordskalvs- och brunnscenarierna. För att hantera frågan om riskutspädning för händelsedrivna scenarier, har SKB tagit hänsyn till tidsackumulerade årliga risker som har beräknats för varje tidpunkt i enlighet med de allmänna råden till SSMFS 2008:37. Den samlade risken har uppskattats genom att multiplicera de maximala årsdoserna över tid från en händelse som sker under ett givet tidsintervall med den ackumulerade sannolikheten för att händelsen inträffat före detta tidsintervall. SKB illustrerar detta genom scenariot med intrångsbrunnar och scenariot med brunnar nedströms förvaret. Den ackumulerade sannolikheten beskrivs enligt följande:

$$P(t) = 1 - (1 - p)^{n(t)},$$

där p är sannolikheten per generation för att en av brunnarna ligger i förvaret (scenariot med intrångsbrunnar) eller nedströms förvaret (scenariot med brunnar nedströms förvaret), n är antalet generationer som har passerat.

SKB:s slutsats är att de ackumulerade årliga riskerna från brunnscenarierna med hänsyn till alla generationer är högre än de årliga riskerna för varje generation, men att den

ackumulerade årliga risken är lägre än den övre gränsen i de föreskrivna riskkriterierna (10^{-5}) vilken är tillämpbar på en liten grupp (SSMFS 2008:37, AR till 5 §).

SKB konstaterar sammanfattningsvis att det framtida SFR-förvaret vid Forsmark bestående av befintliga och tillkommande förvarsdelar som har analyserats i SR-PSU uppfyller föreskrifternas riskkriterium för skydd av människors hälsa liksom kraven på skydd av miljön. SKB visar att riskkurvan för summan av risker, erhållen från kombinationen maximum av huvudscenariots två varianter och alla mindre sannolika scenarier, ligger under riskkriteriet för hela analysperioden på 100 000 år (SKB TR-14-01, figur 10-6). Vidare konstaterar SKB att beräknade dosrater till andra organismer än människor (NHB) ligger två storleksordningar eller mer under screeningdosraten på $10 \mu\text{Gy/h}$ som rekommenderas i EU projektet ERICA (Beresford m.fl., 2008, Brown m.fl. 2008) och de mest stringenta av ICRP:s DCRL på $4 \mu\text{Gy/h}$.

SSM:s bedömning

Övergripande bedömning av SKB:s konsekvensanalys av huvudscenariot och de mindre sannolika scenarierna

SSM konstaterar att den årliga risken för skadeverkningar efter förslutning, från utsläpp av radioaktiva ämnen från befintligt SFR och den planerade utbyggnaden enligt huvudscenariot i SR-PSU, underskrider 10^{-6} för en representativ individ i den grupp som utsätts för den största risken. Risk i samband med huvudscenariot representeras av det maximala bidraget vid varje tidpunkt för variantfallet med global uppvärmning och varianten med tidigt periglacialt klimat. SKB har beaktat osäkerheter i analysen, dels genom att representera osäkra parametrar med sannolikhetsfördelningar, dels genom att definiera och beakta mindre sannolika scenarier som var och en för sig ger upphov till en högre risk i jämförelse med huvudscenariot. Osäkerheter hanteras även genom i huvudsak konservativa modellantaganden och parameterintervall. SKB beaktar genom sina scenarier pessimistiska utvecklingar av olika förhållanden, händelser och processer som påverkar förvarets långsiktiga skyddsförmåga, såsom ett högre grundvattenflöde i berget än förväntat, en accelererad degradering av betongbarriären jämfört med huvudscenariot, liksom ett fall där bentonitbarriärens flödesmotstånd i Silo antas vara sämre än förväntat. Sannolikheten för samtliga dessa beräkningsfall ansätts till $P = 0,1$. Andra osäkerheter som går utöver vad som har beaktats inom ramen för huvudscenariot avser ett radionuklidinventarium i avfallet som är högre än förväntat ($P = 0,05$), och koncentrationer av komplexbildande ämnen som är högre än förväntat ($P = 0,1$). Även vissa framtida mänskliga handlingar, såsom borring av intrångsbrunnar beaktas som mindre sannolika scenarier. SSM noterar att högst risk för något enskilt scenario avser scenarier som beaktar framtida mänskliga aktiviteter, i synnerhet intrångsbrunnar.

SSM konstaterar vidare att analysen av slutförvarets långsiktiga dos/risk har baserats på en sammanvägning av bidrag till slutförvarets skyddsförmåga från samtliga beaktade säkerhetsfunktioner. Föreskriftskravet (SSMFS 2008:21, 2-4 §) innebär att ett system av passiva barriärer ska tillgodose en tillräcklig kombinerad skyddsförmåga från samtliga barriärfunktioner. Skyddsförmågan härrör i fallet SFR från SKB:s definierade säkerhetsprinciper *begränsad mängd långlivade radionuklider* och *fördrojning av uttransport av radionuklider*.

SSM bedömer att SKB på ett lämpligt sätt har definierat och analyserat ett huvudscenario som syftar till att hantera de mest troliga förändringarna i slutförvaret och dess omgivning. För huvudscenariot utgår SKB från sin beskrivning av förvarets förväntade utveckling medan övriga scenarier har definierats utifrån slutförvarets säkerhetsfunktioner och tänkbara avvikelser från förvarets förväntade tillstånd. SSM anser även att SKB:s metod

för utvärdering av scenarierna med utgångspunkt från jämförelser av säkerhetsfunktionernas tillstånd med kvalitativa kriterier för s.k. säkerhetsfunktionsindikatorer är godtagbar. De beräkningsfall som ligger till grund för riskanalysen bedöms ge en allsidig beskrivning av olika typer av osäkerheter kopplade till förvarets utveckling efter förslutning. SSM anser även att de beaktade restscenarierna bidrar till att ytterligare demonstrera förvarets robusthet.

Enligt SSM:s bedömning är SKB:s riskanalys i SR-PSU rimlig och beaktar de viktigaste faktorerna för vilka betydande osäkerheter kvarstår. SSM bedömer även att analysen visar på att förvaret besitter en robusthet mot de förhållanden, händelser och processer som förväntas kunna inträffa efter förslutningen. Det innebär att dos/risk konsekvenser kopplade till fall för vilka förvarets säkerhetsfunktioner i viss utsträckning är sämre än förväntat är förhållandevis små. SSM konstaterar visserligen också att marginalerna till SSM:s riskkriterium (10^{-6}) är små i SKB:s riskanalys i SR-PSU. SKB kan dock i samband med driften av det utbyggda SFR inom vissa gränser styra avfall till olika förvarsdelar och via acceptanskriterier ställa krav på framtida avfall som tillåts deponeras för att säkerställa uppfyllelse av riskkriteriet. Exempelvis, avfall med den högsta andelen långlivade radionuklider, såsom Ni-59, kan antingen styras mot den befintliga förvarsdelen Silo med det mest kvalificerade barriärsystemet, eller deponeras i ett kommande slutförvar för långlivat låg- och medelaktivt avfall, SFL. SSM bedömer även att SKB under uppförande och drift av den utbyggda anläggningen har förutsättningar att följa upp och åtgärda eventuella brister i barriärfunktioner, såsom i fallet med 1BMA där brister i konstruktionen har identifierats inom ramen för driften.

Vissa särskilda frågeställningar har aktualiserats mot bakgrund av att SR-PSU beaktar både en befintlig anläggning i drift och en planerad utbyggnad. SSM konstaterar exempelvis att de befintliga betongkonstruktionerna har ett betydande antal genomgående sprickor, i första hand för 1BMA, vilket behöver jämföras med de sprickfria egenskaper som har ansatts för 1-2BMA betongbarriärerna i 1-2BMA i initialtillståndet i SR-PSU. SSM bedömer dock att SKB:s mindre sannolika scenario med accelererad degradering av betongbarriären till viss del hanterar avvikelser också för det initiala tillståndet. SSM anser även att SKB kan minska betydelsen av denna typ av avvikelse genom användningen av modifierade förvarsutformningar (2BMA) samt genom att genomföra reparationsåtgärder för befintliga delar (1BMA). Oavsett dessa åtgärder anser myndigheten att osäkerheter kopplade till förutsättningar att uppnå det i säkerhetsanalysen ansatta initialtillståndet för befintliga och tillkommande betongkonstruktioner behöver i kommande säkerhetsanalyser beaktas genom ett eller flera särskilda beräkningsfall i huvudscenariot. Egenskaper hos anläggningens betongbarriärer i befintligt skick behöver beaktas på ett utförligare sätt i samband med kommande säkerhetsanalyser.

SSM bedömer att SKB:s analys av retardation och transport av radioaktiva ämnen från förvaret är godtagbar. SKB har hanterat kvarvarande osäkerheter avseende sorption i framför allt betongbarriären med konservativa antaganden genom att etablera osäkerhetsintervall och genom att sänka utvalda sorptionskoefficienter med faktorer som avser att kompensera för kvarvarande kunskapsbrister. SSM anser dock att SKB framgent bör bedriva viss kompletterande experimentell verksamhet för att kvantifiera sorptionsprocesser, för de radionuklider som har störst betydelse i dos/risk beräkningar eller för vilka det föreligger betydelsefulla kunskapsbrister. SSM anser vidare att SKB i kommande säkerhetsanalyser bör utveckla en mer realistisk representation av samtliga förvarsdelars referensutformning i radionuklidtransportmodelleringen, i första hand för 2BMA (mer detaljerade bedömningar redovisas i avsnittet *Specifika bedömningar avseende 2BMA* nedan).

SKB redovisar kollektivdos från utsläpp som sker under de första 1000 åren efter förslutning (SKB, 2015; avsnitt 8.3, 9.2 och 10.2) i enlighet med krav i SSMFS 2008:37, 4 §. SSM bedömer att SKB:s redovisning är rimlig och i enlighet med krav och allmänna råd i SSMFS 2008:37.

SKB:s beräkningar avseende kollektivdos bygger på beräkningsfallet gällande tidpunkten för utsläpp som beaktar utsläpp från och med att förvaret har förslutits. Beräkningarna bedöms på godtagbart sätt beakta och redogöra för doskonsekvenserna av utsläpp under den inledande 1000-perioden. SSM noterar att tidpunkten för den maximala dosen för beräkningsfallet gällande tidpunkten för utsläpp inträffar ungefär 500 år tidigare jämfört med huvudscenariot, vilket kan förklaras med att utsläpp börjar ske i radionuklidtransport-modelleringen direkt efter förslutning i jämförelse med huvudscenariot i vilket utsläpp sker först efter 1000 år efter förslutning.

SSM har anlitat extern expertis för att ge underlag för SSM:s granskning av den säkerhetsanalysmetodik som SKB använder i SR-PSU (SSM 2017:33, del 6). Beträffande risksummering i SR-PSU anses den vara konservativ och väl lämpad för jämförelser mot den risknivå som specificeras i SSM:s krav på skydd av människors hälsa (SSMFS 2008:37, 5 §). Tillvägagångssättet för risksummering bedöms dock vara mindre användbart i sammanhanget optimering. SSM instämmer med denna bedömning.

Beträffande riskutspädning konstateras att den har diskuterats av SKB i jordskalvscenariot och i brunns scenarierna eftersom dessa initieras av en specifik händelse som leder till ökad risknivå under en period mer eller mindre direkt efter händelsen. Detta är en oundviklig konsekvens av användning av årlig risk som ett kriterium och fenomenet speglas inte direkt av den medelvärdesbildade risknivån i den ordinarie riskanalysen. Redovisningen och SKB:s analyser av brunnsfallen är konsekvent med kraven i SSM 2008:37 och en jämförelse med den årliga risknivån 10^{-5} på det sätt som har gjorts är enligt SSM rimlig även om det inte finns något specifikt krav eller allmänt råd för att göra en sådan jämförelse. SSM anser att SKB:s analys visar att riskutspädning som fenomen har begränsad betydelse i fallet SR-PSU, men att effekten även hade kunnat ha illustrerats för jordskalvsscenarioet. Riskutspädningens potentiella betydelse har dock inte explicit beaktats vid hanteringen av osäkerheter för parametervärden i probabilistiska beräkningar för andra scenarier (SSM 2017:33, del 6).

Specifika bedömningar avseende 2BMA

Förvardsdelen 2BMA utgör den del av den planerade utbyggnaden med tillkommande förvarsdelar i vilken avfallet som kan ge upphov till den största radiologiska risken ska deponeras. Denna förvarsdel har därför ägnats stor uppmärksamhet under SSM:s granskning av säkerhetsanalysen SR-PSU. Betongbarriären, som utgör en barriär i den planerade utformningen av 2BMA, men även i de alternativa utformningarna som beaktas, ska fungera både som en flödesbarriär och en kemisk barriär. Den förstnämnda funktionen är likartad för samtliga radionuklider i inventariet medan den kemiska barriärfunktionens effektivitet varierar stort beroende på specifika radionuklidernas sorptionsförmåga givet den kemiska miljön som barriären upprätthåller främst genom buffring av pH- och redox-förhållanden. SSM konstaterar att betongbarriärens flödesbegränsande funktion reduceras snabbare än dess kemiska barriärfunktion. Den kemiska barriärfunktionen har en stor betydelse även efter att den mekaniska flödesbarriärfunktionen har reducerats avsevärt. SKB har beaktat förloppen av kemisk och mekanisk degradering av betongbarriären på olika sätt i säkerhetsanalysen där scenariot med accelererad betongdegradering endast beaktar ett snabbare mekaniskt degraderingsförlopp. Det kemiska degraderingsförloppet antas i detta mindre sannolika scenariot vara detsamma som i huvudscenariot som representerar förvarets förväntade utveckling.

Myndigheten anser att betongkonstruktionerna i 2BMA upprätthåller en robust barriärfunktion så länge flödet i huvudsak begränsas av de yttre barriärerna. Detta har visats genom konsekvensanalyser inom SR-PSU. Dessa har baserats på förekomst av en förhållandevis sprickfylld betong redan i förvarets initialtillstånd. Flödesbarriärens effektivitet beror på den hydrauliska kontrasten gentemot återfyllnaden, och därmed de hydrauliska egenskaper som tillskrivs betongbarriären. SSM har under granskningen kunnat konstatera att avfallsmaterialet i sig inte har tillskrivits barriärsegenskaper i form av flödesmotstånd, vilket bedöms vara en korrekt värdering.

Betydelsen av flödesbarriärens förväntade degraderingsförlopp beror på egenskaper hos radioaktiva ämnen som ger upphov till högst dos/risk samt på den förväntade tidpunkten för högst dos/risk. Högst dos/risk förväntas uppstå inom 10 000 år efter förslutning och orsakas av radionuklider med ingen eller låg sorptionsförmåga samt medellång halveringstid så som C-14 och Mo-93. Osäkerheter kopplade till långsamma degraderingsförlopp av betongbarriärernas flödesfunktion blir därför mindre betydelsefulla. Mot denna bakgrund bedömer SSM att betongens flödesbarriärsfunktion i 2BMA är förhållandevis robusthet.

Under den tid då betongbarriären gradvis förlorar sin flödesbegränsande funktion upprätthålls den kemiska barriärfunktionen som baseras på sorption av radioaktiva ämnen under gynnsamma kemiska betingelser så som högt pH och kemiskt reducerande förhållanden. I SKB:s representation av den ursprungliga utformningen av förvardsdelen 2BMA tillskrevs kringgjutningsbruk och avfallskollin innehållandes cement sorptionskapacitet. Tillämpningen av antagandet bidrar till att utsläpp av vissa långlivade radionuklider med hög sorptionsförmåga såsom Ni-59 och Pu-239 begränsas genom hela analysperioden. SKB:s vidareutvecklade referensutformning av 2BMA innefattar bland annat innerväggar av betong, samtidigt som ingen kringgjutning av avfallet planeras. Dessa planerade förändringar av förvarskonceptet har dock ännu inte beaktats i SKB:s kompletterade radionuklidtransportmodellering.

Det är oklart för SSM huruvida modellrepresentationen av den vidareutvecklade utformningen för 2BMA tillgodoräknar sorption på kringgjutningsbruk. Förvardsdelens sorptionskapacitet för den uppdaterade utformningen representeras i SKB:s modellering möjligtvis endast av cementinnehållet i respektive avfallskolli. SSM anser att detta är missvisande i synnerhet för avfallet i 2BMA som domineras av betongkringgjutna kollin innehållandes sopor och skrot för vilka fördelningen av cement är inhomogen och begränsad.

Det finns dock skäl som talar för att dessa två frågor enbart har en begränsad betydelse och att förvarets sorptionskapacitet sannolikt inte har överskattats. SSM:s externa oberoende modellering av den uppdaterade utformningen (SSM 2019:16, del 1) överensstämmer med SKB:s motsvarande modellering även om sorption på kringgjutningsbruk inte beaktas (SKB dokID 1569813). I bedömningen behöver det även vägas in att den ökade tjockleken av betongkonstruktionens väggar och lock liksom närvaron av innerväggar inte har beaktats i SKB:s kompletterande radionuklidtransportmodellering för den vidareutvecklade utformningen (SKB dokID 1569813, avsnitt 4.2). Likaså kan degraderade förvarsförhållanden förväntas öka andelen reaktiva cementytor med tillgängliga sorptionsytor vilket kan påverka dispersion och diffusion av radionuklider. SSM anser dock att SKB i kommande säkerhetsanalyser bör utveckla en mer realistisk representation av den uppdaterade referensutformningen i radionuklidtransportmodelleringen som tydligare omhändertar de föreslagna förändringarna i konstruktionen liksom beaktar avfallets varierande cementinnehåll på ett mer realistiskt och transparent sätt.

SSM bedömer att SKB har inom ramen för huvudscenariot beaktat betongens kemiska degradering på ett rimligt sätt. Beskrivningen av den kemiska utvecklingen och degraderingshastigheten bedöms vara förhållandevis okänslig mot mindre variationer i betongens flödesbarriärfunktion. Dessa bedömningar redovisas i mer detalj i (Del III, avsnitt 6.3). SKB har även beaktat effekten av att bortse från kemisk retardation i förvaret genom restscenariot *ingen sorption i förvaret*. I detta scenario bidrar vanligtvis sorberande radionuklider såsom Ni-59 och Pu-239 med en betydande radiologisk dos/risk. Riskbidrag från dessa radionuklider avser i första hand Silo med andelen 62 %, medan 1BMA bidrar med 25 % och 2BMA med 8 %. Maximala årlig dos på 41 μSv uppnås efter 25 000 år (SKB TR-14-09, tabell 7-1). SSM bedömer att scenariot illustrerar att förvaret besitter en förhållandevis stor robusthet även i detta hänseende. Konsekvenserna blir inte avsevärda även i det hypotetiska fallet i vilket sorptionskapaciteten i förvaret helt bortses från. SSM anser dock att SKB i kommande säkerhetsredovisningar bör tydligare belysa kopplingar mellan en tänkbar snabbare mekanisk degradering av betongen, utveckling och variationsbredd för kemiska förhållanden samt systemets kemiska barriärfunktion (Del III, kapitel 9).

SSM blev under granskningen uppmärksam av externa experter på att 2 384 plåtfat med cementingjutet avfall som planeras att slutförvaras i 2BMA inte hade tillskrivits något radionuklidinventarium i SR-PSU. En fråga som följer av denna observation är om geosfärsutsläppet av radionuklider från 2BMA blivit underskattat av detta skäl. SSM begärde således en komplettering angående plåtfatens innehåll av radioaktiva ämnen, och om avsaknad av sådan information inneburit en påverkan på dosberäkningarna (SSM2015-725-55). I SKB:s svar (SKB dokID 1601415) anges de att de 2 384 plåtfaten är avsedda för rivningsavfall från de kärntekniska anläggningarna vid Studsvik och att information har saknats om detta avfall. Information om radioaktivt innehåll i detta rivningsavfall har dock tagits fram, och detta gäller allt avfall och inte bara det som enligt den ursprungliga ansökan avsågs att placeras i de 2 384 plåtfaten i 2BMA (SKB dokID 1603691). Enligt den nya prognosen har fördelningen av avfallet mellan olika avfallskollin gjorts om och avfallet i de 2 384 plåtfaten har placerats i andra avfallskollin. Nya dosberäkningar är framtagna som inkluderar allt rivningsavfall från Studsvik. SKB:s uppdaterade beräkningar enligt huvudscenariot med global uppvärmning visar att den maximala årliga dosen för 2BMA ökar med ungefär 20 % (från 1,08 μSv till 1,31 μSv) och den maximala årliga dosen för hela SFR ökar med ungefär 1 % (från 7,76 μSv till 7,83 μSv). Eftersom resultatet för detta beräkningsfall endast skiljer sig marginellt från resultatet i den ursprungliga ansökan anser SKB att det inte finns något skäl att ompröva slutsatserna rörande detta (SKB dokID 1603691). SSM delar SKB:s bedömning i detta avseende.

Oberoende modellering som stöd till granskningen av SKB:s konsekvensanalys SSM:s övergripande bedömning som redovisas ovan har delvis baserats på oberoende modellering utförd av myndighetens externa experter för att analysera utvalda beräkningsfall med syfte att på detaljnivå förstå SKB:s riskanalys. Dessa uppdrag har bland annat innefattat upprepning av SKB:s beräkningar utifrån SKB:s modellbeskrivningar och användning av alternativa modeller för att utforska modellosäkerheter. SSM har låtit externa experter analysera beräkningarna för förvarsdelarna 1BMA och 2BMA, där störst fokus har legat på den planerade nytillkomna förvarsdelen 2BMA, genom att utföra oberoende beräkningar i syfte att förstå specifika beräkningsfall inom ramen för SKB:s risk- och dosanalys. SSM har även genomfört oberoende modellering av radionuklidtransport från 1BLA och 2BLA för att jämföra utsläppskillnader till geosfären. Ett exempel på SSM:s tillämpning av alternativa modeller är användning av enbart ett s.k. kompartiment för att representera både förvarsdelarna 1BMA och 2BMA samt användning av ERICA-verktyget för att beräkna dos till biota.

SSM:s oberoende modellering av radionuklidtransport från 1BLA och 2BLA utfördes med syfte att undersöka skillnaderna i doskonsekvenser/utsläpp till geosfären mellan befintligt 1BLA och tillkommande BLA-salar (exemplifierat med 2BLA). Sammanfattningsvis visar denna modellering att inventarierna för 1BLA och 2BLA är likvärdiga men att transporttiden från 2BLA är ungefär 3,5 längre än från 1BLA. Vidare visar modelleringen att geosfärsutsläpp (flux i Bq/år) från 2BLA är ungefär en faktor 18 lägre än från 1BLA (PM, 2018-04-07, Oberoende modellering av radionuklidtransport för 1BLA och 2BLA).

SSM:s externa experter har implementerat SKB:s radionuklidtransportmodell för 1BMA, 2BMA och geosfären i mjukvaran AMBER. Störst fokus har dock legat på 2BMA som är den del av den planerade utbyggnaden där avfallet som kan ge upphov till den högsta radiologiska risken ska deponeras. Oberoende beräkningar avseende radionuklidtransportmodellen för 2BMA har sammanställts i rapporterna (SSM 2016:09, del 1; SSM 2017:30 del 1 och del 3). För 1BMA har en studie utförts för att analysera SKB:s uppdaterade implementation av sprickmodellen och medföljande resultat (SSM 2019:16, del 1). SSM:s oberoende modellering som beskrivits ovan har i huvudsak kunnat reproducera SKB:s modelleringsresultat. SSM:s detaljerade bedömningar och jämförelser baserade på oberoende modellering rörande 1-2BMA återfinns i Del III, avsnitt 10.3.2 som avhandlar modeller för radionuklidtransport i när- och fjärrområdet.

10.6.2 Effekter på djur och växter i miljön

Beskrivning av SKB:s underlag

Då det i SSM:s föreskrifter finns krav om att biologiska effekter ska redovisas så har SKB (SKB TR-14-01) i första hand beaktat internationella rekommendationer inom strålskydd av miljön. Generellt rekommenderas internationellt att använda ett screeningvärde där en dosrat under detta värde innebär låg sannolikhet för skadliga effekter på djur och växter i miljön. Om dosraten skulle vara högre än screeningvärdet så rekommenderas genomförande av noggrannare dosberäkningar för att utvärdera risk för skadliga effekter. SKB använder sig av screeningvärdet $10 \mu\text{Gy h}^{-1}$ som också används i ERICA-verktyget. Internationella strålskyddskommittén (ICRP) har tagit fram dosratnivåer kallade DCRL ("*Derived Consideration Reference Level*") för referensorganismer (ICRP, 2008) som i vissa fall är lägre (ner till $4 \mu\text{Gy h}^{-1}$) än screeningvärdet i ERICA. Av detta skäl jämför SKB även de beräknade dosraterna till djur och växter i miljön med de lägsta DCRL-nivåerna från ICRP.

De av SKB beräknade högsta dosraterna i det marina ekosystemet baserat på förutsättningar enligt huvudscenariot ("*global warming variant*") är tre storleksordningar lägre än screeningvärdet $10 \mu\text{Gy h}^{-1}$ (SKB TR-14-01). Den högsta dosraten avsåg vadande fågel på $5,2 \times 10^{-3} \mu\text{Gy h}^{-1}$ främst baserat på dosbidrag från C-14. I sötvattens ekosystem beräknades de högsta dosraterna till fågel på $7,1 \times 10^{-3} \mu\text{Gy h}^{-1}$ främst från C-14 och till zooplankton beräknades de vara i samma dosratsnivå. I terrestra ekosystem beräknade SKB de högsta dosraterna till lavar och mossor på $3,3 \times 10^{-3} \mu\text{Gy h}^{-1}$ främst från bidrag av U-238 och även till detritivorer beräknades de vara i samma storleksordning.

De högsta dosraterna i andra scenarier beräknades vara kring $9,2 \times 10^{-2} \mu\text{Gy h}^{-1}$ till fågel i ett sötvattens ekosystem för jordbävningsscenarioet och i samma storleksordning till bl.a. kärlväxter, zooplankton samt lavar och mossor för sju andra scenarier (SKB TR-14-01, tabell 9-22). Samtliga av SKB redovisade beräknade dosrater till djur och växter i miljön är under såväl ICRP:s DCRL som ERICA-verktygets respektive screeningvärden (SKB TR-14-01, tabell 9-22).

Remissinstansers synpunkter

Kungliga vetenskapsakademien

Remissinstansen anför följande (SSM2015-1640-29): Den av myndigheten föreskrivna dos-/riskgränsen avser människa. Gränsvärden för exponering av miljön i övrigt är än så länge relativt outvecklade, både i svensk lagstiftning och i internationella rekommendationer. SKB ger doshastigheter till ekosystemet uttryckta i $\mu\text{Gy/h}$ till någon specificerad art (alla organismer lever inte så länge som ett år). I detta fall är det relevant att använda Gy, eftersom enheten Sv inte är definierad för andra organismer än människa. Det hade dock underlättat att jämföra med data i ICRP 124 om istället Gy/d hade använts. De maximumvärden som anges i tabell 9-22 i TR 14-01 innebär doser på några tiotal $\mu\text{Gy/år}$. Det skulle också vara av intresse att veta hur stor andel av denna dos som härrör från alfastrålare, även om det i dagens läge är oklart hur den skall viktas in med avseende på biologisk effekt. I några fall anges att en nyckelradionuklid är U-238, men det återstår frågetecken för övriga alfastrålande radionuklider.

Kärnavfallsrådet

Remissinstansen anför samma synpunkt (SSM2015-1640-22) som Kungliga vetenskapsakademien ovan.

Naturskyddsföreningen och Miljöorganisationernas kärnavfallsgranskning

Föreningarna yrkar (SSM2015-1640-32) på att ansökan och MKB:n kompletteras med ett underlag som visar på hur naturmiljön i Öregrundsgrepen/Östersjön påverkas av ett omfattande utsläpp av radioaktiva ämnen under de första 1 000 åren efter förslutning.

Remissinstansen anför vidare (SSM2017-5439-8) att ansökan bör kompletteras med ett underlag som visar hur naturmiljön påverkas av ett omfattande utsläpp av radioaktiva ämnen i havet under de första 1 000 åren efter tillslutning. Sökanden har svarat att några sådana utsläpp inte kommer att ske men har hänvisat till att ett scenario för detta finns i säkerhetsanalysen. Föreningarna anser dock att där endast finns scenarier för en situation där de högsta dosraterna till biota sker efter 4 000 år eller mer, vilket inte kan vara fallet vid ett omfattande utsläpp under de första 1 000 åren.

SSM:s beaktande av remissynpunkter

SSM:s krav för miljöskydd är att biologiska effekter i berörda livsmiljöer och ekosystem ska redovisas med särskild hänsyn till genetiskt särpräglade populationer och redovisningen ska bygga på tillgänglig kunskap för att påvisa att biologisk mångfald och hållbart nyttjande av biologiska resurser skyddas mot skadlig verkan av joniserande strålning (SSMFS 2008:37).

När det gäller redovisning av biologiska effekter i miljön har SKB beaktat internationella rekommendationer inom strålskydd av miljön och beräknat maximala dosrater till ett urval organismer och jämför därefter dessa mot internationellt rekommenderade screeningvärden/referensnivåer. SSM anser att metodiken överensstämmer med internationell utveckling inom området och är i linje med ICRP:s rekommendationer för skydd av miljön mot joniserande strålning (ICRP, 2008).

Generellt rekommenderas internationellt att använda ett screeningvärde/referensvärde där en dosrat under detta värde innebär låg sannolikhet för skadliga effekter på djur och växter i miljön. Om dosraten skulle vara högre än screeningvärdet så rekommenderas genomförande av noggrannare dosberäkningar för att utvärdera risk för skadliga effekter. SKB använder sig av screeningvärdet $10 \mu\text{Gy/h}$ som också används i ERICA-verktyget. Internationella strålskyddskommittén (ICRP) har tagit fram dosratereferensnivåer kallade

DCRL ("Derived Consideration Reference Level") för referensorganismer (ICRP, 2008) som i vissa fall är lägre (ner till 4 $\mu\text{Gy h}^{-1}$) än screeningvärdet i ERICA. Av detta skäl jämför SKB även de beräknade dosraterna till djur och växter i miljön med de lägsta DCRL-nivåerna från ICRP.

SSM bedömer att SKB använder en internationellt rekommenderad och accepterad metod och dosmodell för att beskriva om miljöeffekter kan förekomma och för att beräkna screening dosrater till djur och växter i miljön. SKB:s maximala beräknade dosrater är under internationellt rekommenderade screeningdosrater och referensnivåer för djur och växter inom strålskyddet av miljön. En dosrat som underskrider dessa screening-och referensnivåer har låg sannolikhet att resultera i skadliga effekter från joniserande strålning på djur och växter i miljön.

Vad gäller frågan om hur stor del av dosraten som kommer från alfa-strålare så redovisar SKB i tabell 9-22 (SKB, 2015) de dominerande radionukliderna som utgör dosraten. Om någon alfa-strålare inte finns angiven där utgör de en liten andel av exponeringen.

Avseende kommentaren från Naturskyddsföreningen och Miljöorganisationernas kärnavfallsgranskning beaktar SSM den som följer:

SSM bedömer att förvarets skyddsförmåga, dvs. förmåga att skydda människors hälsa och miljön från skadlig verkan av joniserande strålning, under de första 1000 åren har förutsättningar att uppfylla föreskriftskraven §10-11 i SSMFS 2008:37. Bedömningen baseras bl.a. på att förvaret är placerat under havsbotten de första 1000 åren efter förslutning vilket bidrar till förvarets skyddsförmåga genom att begränsa risken för intrång genom brunnsborring, genom att upprätthålla en låg hydraulisk gradient och lågt grundvattenflöde i anslutning till förvaret och därmed till låg uttransport av radioaktiva ämnen (del III, avsnitt 11.8.2 och 11.8.3). SSM konstaterar vidare att SKB redovisat utsläpp under de inledande 1000 åren genom beräkningsfallet gällande tidpunkten för utsläpp. SSM bedömer att beräkningsfallet på ett godtagbart sätt redogör för doskonsekvenser under den inledande 1000-årsperioden.

SSM har även utfört egna oberoende beräkningar för att analysera frågan om utspädning i havet under den inledande 1000-årsperioden. Som stöd för bedömning av kravuppfyllnad vad gäller bästa möjliga teknik, BMT, har SSM jämfört utsläpp vid olika tidpunkter för 1BLA (befintligt SFR) och 2BLA (utbyggt SFR). En förenklad transportmodell har använts som beaktar två beräkningsfall för 1BLA och två för 2BLA. I det första fallet antas uttransport kunna ske direkt efter förslutning, alltså då förvaret fortfarande befinner sig under havsbotten. I det andra fallet antas, precis som i de flesta beräkningsfall i SR-PSU, att uttransport sker 3000 e.Kr. Resultaten från beräkningsfallen visar att även om tidigt utsläpp beaktas så erhålls inget högre maxflux ($\text{Bq}/\text{år}$) i jämförelse med beräkningsfallet som tillåter utsläpp 3000 e.Kr. vilket innebär att ingen utspädning sker under havsperioden (SSM PM, Xu, 2019). Det innebär också att de kortlivade radionuklider som utgör en stor del av inventariet vid förslutning (men inte 3000 e.Kr.) inte kommer att bidra till högre utsläpp av radionuklider under den inledande 1000-årsperioden då förvaret ligger under havsbotten.

Avseende remissinstansens kommentar om effekter av utsläpp på naturmiljön kan SSM konstatera att enligt SSMFS 2008:37 6 § ska individer skyddas om de tillhör endemiska arter, utrotningshotade arter eller i övrigt skyddsvärda organismer. Skyddsnivån gäller biologisk mångfald och hållbart nyttjande av biologiska resurser mot skadlig verkan av joniserande strålning.

SSM har begärt komplettering om vad ett utsläpp av radionuklider till ett mindre område (än det som SKB redovisat från början) skulle innebära för organismer som lever i det området. SKB diskuterar i sin komplettering (SKB dokID 1572152) att populationer skyddas. De visar att dosraten till växter kan bli två gånger högre men dosraterna är fortfarande under screeningvärdet och SSM bedömer därför att risken är låg för effekter på populationsnivå. Sammanfattningsvis bedömer SSM att även om det fanns förbättringsmöjligheter i SKB:s ursprungliga beräkningar av möjlig stråldos till djur och växter så har SKB kompletterat dessa på SSM:s begäran. Efter att ha tagit del av den tillkommande informationen bedömer SSM att SKB har utfört riskbedömningen för miljön (djur och växter) på ett tillförlitligt sätt.

SSM:s bedömning

SSM bedömer att SKB använder en internationellt rekommenderad och accepterad metod och dosmodell för att beskriva om miljöeffekter kan förekomma och för att beräkna screening dosrater till djur och växter i miljön. SKB:s maximala beräknade dosrater är under internationellt rekommenderade screeningdosrater och referensnivåer för djur och växter inom strålskyddet av miljön. En dosrat som underskrider dessa screening-och referensnivåer har låg sannolikhet att resultera i skadliga effekter från joniserande strålning på djur och växter i miljön. I den tidigare granskningen av SR-Site jämförde SSM:s externa experter SKB:s beräkningar med beräkningar gjorda med ett annat dosverktyg för skydd av miljön; RESRAD-BIOTA (SSM Technical Note 2015:45). Resultaten från denna jämförelse visade att beräkningar med RESRAD-BIOTA pekade ut andra organismer som mest exponerade än vad SKB:s beräkningar hade resulterat i. Dock var dosraterna fortfarande låga och under screeningdosratvärdet. SSM bedömer att även om olika dosverktyg kan peka ut olika organismer som mest exponerade så påverkar det inte slutsatsen att dosraterna underskrider screeningvärdet.

SSM gör bedömningen att även om ett fåtal individer skulle kunna påverkas av stråldoser från ett utsläpp som resulterar i högre aktivitetsnivåer i ett mindre område än vad SKB antagit i sin biosfärmodell så är risken liten att det skulle resultera i effekter som skulle påverka fortlevnaden av hela populationen, vilket har störst relevans inom miljöskyddet.

SSM bedömer att de dosberäkningsmodeller som utgår från aktivitetskoncentrationer i vatten, sediment, jord och luft och som är integrerade i ERICA dosverktyget kan anses vara väl underbyggda. SSM bedömer att SKB:s metodik och utvärderingskriterier är ändamålsenliga. SSM bedömer också att de platsspecifika parametrar som SKB har använt i sina beräkningar, såsom Kd-värden och överföringsfaktorer mellan miljön och olika organismer, s.k. CR-värden, är tillförlitliga.

Eftersom den beräknade exponeringen av olika typer av organismer till stora delar är konservativ och underskrider ICRP:s intervall för referensnivåer bedömer SSM att redovisningen avseende miljöskydd för den planerade utbyggnaden av befintliga SFR är ändamålsenlig.

10.7 Sammanfattande bedömning av SKB:s konsekvensanalys

SSM bedömer att SKB:s övergripande konsekvensanalysmetodik är acceptabel. SKB har under många år utvecklat metodiken för konsekvensanalys för slutförvar för både radioaktivt driftavfall och använt kärnbränsle (t.ex. SKB R-08-130, TR-11-01 och TR-14-01). SSM anser att metodiken överensstämmer med internationell utveckling inom området och är i linje med IAEA:s och OECD/NEA:s rekommendationer (IAEA, 2011;

NEA 2005; 2012) samt ICRP:s rekommendationer för skydd av miljön mot joniserande strålning (ICRP, 2007).

SSM bedömer att de transportmodeller som används inom när- och fjärrzon är rimliga och ändamålsenliga. En betydande förbättring av dokumentation och beskrivning av närzonsmodellerna och deras kvalitetssäkring/kvalitetsgranskning kommer dock att krävas inför kommande säkerhetsredovisning inför uppförandet av tillkommande förvarsdelar. Ett stort fokus i SSM:s granskning av SKB:s transportmodeller har legat på förvarsdelen 2BMA vars referensutförning under loppet av SSM:s beredning av tillståndsansökan genomgått en vidareutveckling. SSM anser att SKB i kommande säkerhetsanalyser bör utveckla en mer realistisk representation av den vidareutvecklade referensutförningen i radionuklidtransportmodelleringen.

SSM anser att biosfäranalysen i SR-PSU har beaktat internationell erfarenhet, särskilt vägledning från det Internationella Atomenergiorganets BIOMASS-metodik (IAEA, 2003). Detta kan exemplifieras av: i) att biosfärsyntesrapporten (SKB TR-14-06) tydliggör sammanhanget för biosfärmodelleringar och dosberäkningar, ii) att förståelse för och beskrivning av biosfärssystemet och dess utveckling ligger till grund för definitionen av scenarier och beräkningsfall, och (iii) att FEPs har använts för att stödja biosfärsanalysen. SSM bedömer sammantaget att SKB:s biosfärsanalys, efter att kompletterande underlag inkommit är godtagbar.

SSM anser att SKB:s metod för att definiera sannolikhetsfördelningar PDFs (*"Probability Density Functions"*) för K_d - och CR-värden är acceptabel och således bedöms de härledda K_d - och CR-fördelningarna som används i SR-PSU biosfärsanalysen också vara acceptabla.

Enligt SSM:s bedömning är SKB:s riskanalys i SR-PSU rimlig och beaktar de viktigaste faktorerna för vilka betydande osäkerheter kvarstår. SSM bedömer även att analysen visar på att förvaret besitter en robusthet mot de förhållanden, händelser och processer som förväntas kunna inträffa efter förslutningen. Det innebär att dos/risk konsekvenser kopplade till fall för vilka förvarets säkerhetsfunktioner i viss utsträckning är sämre än förväntat är förhållandevis små. SSM konstaterar visserligen också att marginalerna till SSM:s riskkriterium (10^{-6}) är små i SKB:s riskanalys i SR-PSU. SKB kan dock i samband med driften av det utbyggda SFR inom vissa gränser styra avfall till olika förvarsdelar och via acceptanskriterier ställa krav på framtida avfall som tillåts deponeras för att säkerställa uppfyllelse av riskkriteriet. SSM bedömer även att SKB under uppförande och drift av den utbyggda anläggningen har förutsättningar att följa upp och åtgärda eventuella brister i barriärfunktioner, såsom i fallet med 1BMA där brister i konstruktionen har identifierats inom ramen för driften.

Vissa särskilda frågeställningar uppstår mot bakgrund av att SR-PSU beaktar både en befintlig anläggning i drift och en planerad utbyggnad. SSM konstaterar exempelvis att de befintliga betongkonstruktionerna har ett betydande antal genomgående sprickor, och här avses i första hand 1BMA, i jämförelse med de sprickfria egenskaper hos betongbarriärerna som ansätts i initialtillståndet i SR-PSU. Myndigheten anser därför att egenskaper hos anläggningens betongbarriärer i befintligt skick behöver beaktas i kommande säkerhetsanalyser i SKB:s program.

SSM bedömer även att SKB:s analys av retardation av radioaktiva ämnen från förvaret är godtagbar. SSM anser dock att SKB framgent bör bedriva kompletterande experimentell verksamhet för att kvantifiera sorptionsprocesser för främst radionuklider som har störst betydelse i dos/risk beräkningar eller för vilka betydande kunskapsluckor föreligger.

Avseende effekten på djur och växter i miljön gör SSM bedömningen att även om ett fåtal individer skulle kunna påverkas av stråldoser från ett utsläpp som resulterar i högre aktivitetsnivåer i ett mindre område än vad SKB antagit i sin biosfärmodell så är risken liten att det skulle resultera i effekter som skulle påverka fortlevnaden av hela populationen.

SSM bedömer att de dosberäkningsmodeller som utgår från aktivitetskoncentrationer i vatten, sediment, jord och luft och som är integrerade i ERICA dosverktyget kan anses vara väl underbyggda. SSM bedömer att SKB:s metodik och utvärderingskriterier är ändamålsenliga. SSM bedömer också att de platsspecifika parametrar som SKB har använt i sina beräkningar, såsom Kd-värden och överföringsfaktorer mellan miljön och olika organismer, s.k. CR-värden, är tillförlitliga.

Eftersom den beräknade exponeringen av olika typer av organismer till stora delar är konservativ och underskrider ICRP:s intervall för referensnivåer bedömer SSM att redovisningen avseende miljöskydd för den planerade utbyggnaden av befintliga SFR är ändamålsenlig.

11 Sammanfattande bedömning utifrån SSM:s granskningsresultat

11.1 Kravbild.

SSM:s sammanfattande bedömningar av de aspekter av SKB:s ansökan om utbyggnad av befintligt SFR som rör långsiktig strålsäkerhet grundas i huvudsak på myndighetens detaljerade granskning av SKB:s säkerhetsanalys SR-PSU. Denna granskning redogörs för i kapitel 1-10 i denna del (Del III) av granskningsrapporten. För långsiktig strålsäkerhet för ett slutförvar för låg- och medelaktivt avfall är de viktigaste föreskrifterna SSMFS 2008:21 om säkerhet vid slutförvaring av kärnämne och kärnavfall samt SSMFS 2008:37 om skydd av människors hälsa och miljön vid slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle och kärnavfall. Därutöver har SSM utfärdat allmänna råd för föreskrifternas tillämpning.

Föreskrifter innehåller detaljerade krav på det slutliga omhändertagandet och slutförvaret och kompletterar bestämmelser till föreskrifterna SSMFS 2008:1 om säkerhet i kärntekniska anläggningar som gäller flertalet övriga typer av kärntekniska anläggningar.

Den kravbild som myndighetens föreskrifter SSMFS 2008:21 och SSMFS 2008:37 preciserar definierar ett flertal områden utifrån vilka det planerade slutförvarets långsiktiga strålsäkerhet på ett heltäckande sätt kan utvärderas. Dessa områden är:

- Helhetssyn på strålsäkerhet
- Barriärsystemet och dess funktioner
- Optimering och bästa möjliga teknik
- Slutförvarets konstruktion och utförande samt intrång och tillträde
- Skydd av människors hälsa och miljöskydd
- Tidsperioder i säkerhetsanalysen
- Säkerhetsanalys och säkerhetsredovisning

11.1.1 Förutsättningar för SSM:s ställningstagande

Syftet med SKB:s ansökan om utbyggnad och fortsatt drift av SFR är att integrera en idrifttagen befintlig anläggning samt de förvarsdelar som utbyggnaden avser. Utbyggnaden beskrivs i ansökan i termer av en referensutformning. Säkerhetsanalysen för långsiktig strålsäkerhet (SR-PSU) innefattar både den befintliga anläggningen och den planerade utbyggnaden.

Tillstånd medgavs 1983 för att uppföra och driva det befintliga SFR, se Del I, avsnitt 1.1.3 för mer detaljer. Nu gällande författningskrav avseende långsiktig strålsäkerhet har utvecklats efter att tillståndet gavs. SSM har inom ramen för driftstillsyn av det befintliga SFR identifierat brister som fordrat utredningar och analyser av tillståndet för anläggningen. Detta genom att utfärda förelägganden och andra tillsynsåtgärder, vilka beskrivs översiktligt i Del I, avsnitt 2.2 av granskningsrapporten.

Krav som anges i SSMFS 2008:21 och SSMFS 2008:37, har tillkommit efter det att den befintliga anläggningen fick tillstånd. Nedan beskrivs några utmaningar som är förknippade dels med att bedöma kravuppfyllelse där delar av underlaget ännu saknas, dels med att tillämpa dessa ”nya” krav på en befintlig anläggning i drift i jämförelse med en helt ny verksamhet.

Som framgår av SSM:s villkorsförslag (Del I, avsnitt 3), i enlighet med IAEA:s principer (IAEA, 2004), bygger SSM:s ställningstagande till SKB:s ansökan på att denna prövas i ett stegvist förfarande. För en mer detaljerad beskrivning av prövningen enligt kärntekniklagen se Del I, avsnitt 2.1.1.

Med utgångspunkt från ett sådant prövningsförfarande utgör en tillståndsprövning enligt kärntekniklagen den första av flera faser där SSM, efter att regeringen har beviljat tillstånd med tillhörande villkor om ett stegvist uppförande, granskar ytterligare ansökningar i form av förnyade säkerhetsredovisningar. Innehållet i de förnyade säkerhetsredovisningarna ska preciseras successivt avseende anläggningens detaljutformning och verksamheten vid denna. Dessa granskningar syftar till att ta ställning till om godkännande kan lämnas till uppförande, provdrift och rutinmässig drift samt sedermera förslutning.

I aktuellt skede av tillståndsprövningen utgörs beskrivningen av slutförvaret och dess skyddsförmåga med nödvändighet av en delvis teoretisk referensutformning av anläggningen snarare än en faktisk och i alla avseenden färdigutvecklad utformning. För anläggningar såsom ett geologiskt slutförvar för radioaktivt avfall finns vanligen inte detaljkonstruktionslösningar framtagna vid ansökanstillfället.

Ändringar av initialt framtagna konstruktionslösningar kan därför komma att ske i senare steg. Av uppenbara skäl finns exempelvis inte detaljkunskap om bergets egenskaper på det djup som förvaret avses placeras på. Det kan t.ex. vara frågan om en platsanpassning på det avsedda förvarsdjupet och till de faktiska förhållanden som råder där, eller av andra ej förutsedda förhållanden som kan uppstå i samband med det praktiska genomförandet av den teoretiska referensutformningen av förvaret. Konstruktionsändringar eller avvikelser på detaljnivå jämfört med planerad referensutformning kan således komma att ske.

En stegvis prövning är därför en nödvändighet för uppförande och drift av ett geologiskt slutförvar för radioaktivt avfall, såsom SFR-utbyggnaden. Genom den utveckling av underlaget som successivt kommer att ske, kommer även förutsättningarna för att bedöma underlaget att utvecklas jämfört med de som föreligger i samband med tillståndsprövningen.

Den del av SKB:s *förberedande preliminära säkerhetsredovisning* (F-PSAR) som avser långsiktig strålsäkerhet, benämnd av SKB som SR-PSU (SKB, 2015), ingår som underlag till SKB:s ansökan enligt kärntekniklagen. F-PSAR som krävs i detta skede ska på en övergripande nivå redogöra för förutsättningarna för sökanden att etablera och driva en verksamhet som uppfyller erforderliga krav, vilka avseende långsiktig strålsäkerhet preciseras i SSMFS 2008:21 och SSMFS 2008:37.

SR-PSU (SKB, 2015) innefattar den riskanalys som syftar till att, utifrån den i säkerhetsanalysen redovisade referensutförningen av förvaret, demonstrera kravuppfyllelse gentemot SSM:s riskkriterium (5 § SSMFS 2008:37). Under det successiva förfarandet med uppförande, drift och slutlig förslutning kommer mer information avseende barriärernas tillstånd och slutförvarets skyddsförmåga att medföra att osäkerheter kopplade till antaganden i dessa avseenden reduceras. Allt eftersom dessa typer av osäkerheter reduceras så kommer de kvantitativa riskanalyserna, som utgör viktiga delar av kommande säkerhetsredovisningar, således successivt behöver bli mer och mer precisa.

En bedömning om kravet (5 § SSMFS 2008:37) i strikt mening är helt uppfyllt kommer dock aldrig att vara möjligt att göra. Riskanalysen i samband med förslutning kommer fortfarande att behöva beakta och adressera osäkerheter kopplade till förvarets långsiktiga utveckling, något som inte är möjligt att undvika givet de långa tidsrymder det handlar om. Det är också mot denna bakgrund som kravet på bästa möjliga teknik liksom övriga krav på konstruktion och utformning av förvaret också bör ges större vikt när osäkerheterna är större.

Andra delar av underlaget i ansökan (bl.a. alternativredovisningen i MKB och Bilaga BAT), syftar i första hand till att motivera valet av metod och även förvarets förläggningsplats, i detta fall i anslutning till den befintliga anläggningen SFR. Säkerhetsanalysen SR-PSU utgör ett viktigt stöd för bedömning av dessa frågor.

Myndighetens föreskrifter innehåller utöver SSM:s riskkriterium (5 § SSMFS 2008:37), bland annat krav på optimering och bästa möjliga teknik (4 § SSMFS 2008:37). SSM:s föreskrifter innehåller även bestämmelser om bästa möjliga teknik i barriärsystemets konstruktion och utförande (6 § SSMFS 2008:21), vilket motsvaras av krav i miljöbalken (2 kap 3 §).

Kraven på optimering och bästa möjliga teknik syftar till att förbättra slutförvarets skyddsförmåga så långt som möjligt och rimligt och är nödvändiga tilläggskrav till riskkriteriet. Enligt de allmänna råden till SSM:s föreskrifter bör större tyngd läggas på bästa möjliga teknik för fall där de beräknade riskerna är behäftade med stora osäkerheter, t.ex. analyser av slutförvaret lång tid efter förslutning, eller analyser som görs i ett tidigt skede av utvecklingsarbetet med slutförvarssystemet. I steget som motsvaras av tillståndsprövningen kan kraven på bästa möjliga teknik betraktas som inramande av den övergripande metod för slutförvaring som avses liksom valet av förläggningsplats, eftersom förläggningsplatsen för ett geologiskt slutförvar är av stor betydelse för bedömning av huruvida metodvalet är lämpligt utifrån ett strålsäkerhetsperspektiv.

I SSM:s föreskrifter finns även krav på metod-, konstruktions- och utformningsval som avser barriärssystemet som helhet, dess konstruktion och funktion (SSMFS 2008:21). Även dessa krav kan betraktas som inramande av metoden då dessa syftar till att definiera ett system av passiva barriärer, naturliga och tekniska sådana, med erforderlig långsiktig skyddsförmåga givet det avfall som slutförvaret är avsett att omhänderta.

SSM:s reglering avseende strålsäkerhet efter förslutning utgår således från två av strålskyddets hörnstenar, dosgränser och strålskyddsoptimering. SSM gör detta genom att dels reglera den övergripande skyddsnivån (bland annat genom riskkriteriet), dels ställa tilläggskrav på såväl förvarets utformning, konstruktion, drift och dess lokalisering. Samtliga dessa tilläggskrav syftar till att vidta åtgärder för att så långt som rimligt och möjligt förbättra strålskyddet (optimering).

För en anläggning som redan tagits i drift är t.ex. grundläggande utformnings- och konstruktionskrav inte tillämpbara fullt ut. Det har inneburit att fokus i SSM:s bedömningar av dessa krav huvudsakligen fokuserar på den föreslagna utbyggnaden av SFR. Detta är också i enlighet med den bedömning som gjordes vid granskningen av SKB:s säkerhetsredovisning för den befintliga anläggningen 2001 (SSI rapport 2003:21). Detta innebär att SSM:s bedömningar av uppfyllelse gentemot övriga författningskrav som avser förvarets grundläggande utformning och konstruktion (i SSMFS 2008:21 och SSMFS 2008:37) väsentligen fokuserar på den föreslagna utbyggnaden av SFR och hur dess utformning och skyddsförmåga beskrivs i säkerhetsanalysen SR-PSU. Vid SSM:s aktuella granskning av SKB:s underlag avseende dessa frågor tar myndigheten således hänsyn till att vissa kompletteringar i detaljfrågor förväntas ske under den fortsatta stegvisa prövningsprocessen efter ett tillståndsbeslut av regeringen och inför ett beslut av myndigheten om att anläggningarna kan tas i drift (prov- och rutinmässig drift) samt får förslutas.

Under processens gång, och i de kommande stegen med uppförande och inför idrifttagning av slutförvaret, fokuserar konstruktions- och utformningskraven liksom kraven på optimering och bästa möjliga teknik mer på detaljlösningar och detaljutveckling inom ramen för den metod som fastställs vid tillståndsprovningen genom den föreslagna referensutformningen på vilken säkerhetsanalysen för långsiktig strålsäkerhet baseras.

SSM:s föreskriftskrav på konstruktion och utformning syftar till att successivt, i och med uppförande och idrifttagning, styra kommande säkerhetsanalyser mot att mer verifiera de egenskaper och funktioner i förvaret som bidrar till dess långsiktiga skyddsförmåga. I det underlag som finns i samband med tillståndsprovningen definieras dessa egenskaper och funktioner utifrån den referensutformning som beskrivs i SR-PSU. Kraven syftar vidare till att successivt redovisa och analysera hur de osäkerheter som associeras med dessa egenskaper och funktioner reduceras och/eller hanteras.

11.1.2 Referensutformningens funktion som grund för bedömning av kravuppfyllelse

Baserat på de granskningsresultat som presenteras i del III av denna granskningsrapport drar SSM slutsatsen att den referensutformning som föreslås för den utbyggda delen, med ett system av barriärer med olika egenskaper och funktioner som anpassats till det avfall som avses per förvarsdel, ger förutsättningar för att upprätthålla slutförvarets skyddsförmåga och strålsäkerheten efter förslutning. Förvarets referensutformning blir således i strålsäkerhetshänseende analogt med den skyddsförmåga som tillskrivs den föreslagna utbyggnaden av SFR inom ramen för säkerhetsanalysen SR-PSU och sedermera med hur förvaret representeras i säkerhetsanalysens initialtillstånd. De säkerhetsfunktioner och säkerhetsprinciper som tillskrivs de olika barriärerna som tillsammans definierar förvarets skyddsförmåga beskrivs utförligt i SR-PSU, se exempelvis (SKB, 2015, avsnitt 11.3).

Utvärdering av skyddsförmågan måste för ett förvar vars huvudsakliga funktion är fördröjning av uttransport utgå från det inventarium av radioaktiva ämnen som förvaret är



avsett för. En förutsättning för att utbyggnadens avsedda syfte och skyddsförmåga ska kunna uppnås enligt SKB:s säkerhetsprinciper är således att endast en begränsad mängd radioaktiva ämnen, i synnerhet sådana som innehåller långlivade radionuklider, placeras i förvaret.

Skyddsförmågan upprätthålls av ett barriärsystem där antalet barriärer samt deras funktion har anpassats till avfallsets innehåll av radioaktiva ämnen och övriga egenskaper. SR-PSU innefattar både en befintlig anläggning som är i drift och en planerad utbyggnad där både naturliga och tekniska barriärer av analog kvalifikation tillskrivs likvärdiga funktioner. Vidare beskrivs hur förvaret representeras i initialtillståndet däri, oavsett om konstruktionen redan finns, vilket är fallet för förvarsdelarna i befintliga SFR (Silo, 1BMA, 1-2BTF och 1BLA), eller om konstruktionen representeras av en referensutformning, vilket är fallet för förvarsdelarna som ingår i den planerade utbyggnaden (2BMA, 1BRT och 2-5BLA). Barriärsystemet kan sägas utgöras av ett säkerhetskoncept som är gemensamt för samtliga förvarsdelar, både befintliga och tillkommande.

Referensutformningen av den tilltänkta utbyggnaden av slutförvaret, liksom dess lokalisering, ligger till grund för bedömningen av SKB:s ansökan gentemot kraven på optimering och bästa möjliga teknik, se föregående avsnitt. Således betonas inte de tekniska barriärsfunktioner som SKB tillskriver de befintliga förvarsdelarna eftersom de inte bedöms ingå i den planerade utbyggnadens referensutformning. Den naturliga barriären berörs nedan eftersom den i huvudsak är gemensam för både den befintliga anläggningen och den planerade utbyggnaden, även om den skiljer sig i vissa hänseenden då lokaliseringen av den planerade utbyggnaden avses att uppföras på ett större förvarsdjup.

För samtliga förvarsdelar, både de befintliga och de tillkommande, bidrar den kristallina berggrunden, vilken utgör den naturliga barriären, till att isolera det deponerade avfallet och fördröja utsläpp av radioaktiva ämnen. Detta sker främst genom bergets förhållandevis låga grundvattenflöde liksom de kemiskt reducerande förhållanden som förväntas efter förslutning.

Lokaliseringen under havsbotten bidrar, för en tidsperiod på cirka 1000 år, till förvarets skyddsförmåga genom att begränsa risken för intrång genom brunnsborring samt genom att upprätthålla lågt grundvattenflöde i anslutning till förvaret och därmed låg uttransport av radioaktiva ämnen. Den tidsperiod som förvaret ligger under havet är beroende av den relativa årliga landhöjningen i Forsmarksområdet. Den naturliga barriären samt den inledande underhavslokaliseringen är gemensamma för samtliga förvarsdelar, både befintliga och tillkommande.

För de tillkommande förvarsdelar som avses omhänderta det minst radiologiskt farliga avfallet (2-5BLA) utgör berggrunden (enligt principerna som anges ovan) tillsammans med pluggarnas funktion de enda barriärerna som tillgodoräknas för att upprätthålla förvarets långsiktiga strålsäkerhet.

För den planerade förvarsdelen 1BRT bidrar även kringgjutningen av de segmenterade reaktortankarna till gynnsamma barriäregenskaper, i första hand till en kemisk barriärfunktion, som bidrar till långsiktig strålsäkerhet.

Betongbarriären i 2BMA, som är den mest kvalificerade tillkommande förvarsdelen, innehar både hydrauliska (flöde) och kemiska barriärfunktioner. Den förstnämnda funktionen är relevant för samtliga nuklider i inventariet medan den kemiska barriärfunktionens effektivitet beror på specifika nuklidens sorptionsförmåga givet den kemiska

miljö som barriären upprätthåller främst genom buffring av pH och redoxförhållanden. Flödesbarriärens effektivitet beror till stor del på de hydrauliska egenskaper som tillskrivs betongen i olika faser av förvarets utveckling och den tillhörande genomsläpplighetskontrasten mot omgivande berg och återfyllnad. Sprickförekomst och fördelning av sprickvidder utgör dominerande faktorer.

Utöver betongkonstruktionens barriärfunktioner som beskrivs ovan innehar den uppdaterade referensutformningen av 2BMA innerväggar som bidrar till att upprätthålla förvarsdelen skyddsförmåga genom att bland annat utgöra en kemisk barriär, en funktion som tillskrevs kringgjutningen av avfallskollin i den ursprungliga referensutformningen av förvarsdelen.

Sammanfattningsvis kan sägas att utbyggnadens tekniska barriärer, kringgjutningen och i viss mån även avfallet och dess behållare bidrar dels till att skapa en kemisk miljö som bidrar till fördröjning av utsläpp av flertalet radioaktiva ämnen genom att minska dess rörlighet, dels till att upprätthålla ett lågt vattenflöde genom förvaret. Tillsammans med begränsning av mängden långlivade radionuklider i förvarets inventarium fungerar dessa barriärer och den omgivande berggrunden till att upprätthålla strålsäkerheten under den tidsperiod då deras funktioner behövs efter slutförvarets förslutning.

I anslutning till SSM:s bedömning av ansökansunderlaget gentemot respektive författningskrav avseende långsiktig strålsäkerhet nedan återfinns utförligare beskrivning och bedömning av förvarets skyddsförmåga och barriärsystemets funktioner.

11.2 Tillämpningsområde

11.2.1 SSMFS 2008:21 1 §

Dessa föreskrifter gäller anläggningar för slutförvaring av kärnämne och kärnavfall (slutförvar). Föreskrifterna gäller inte för anläggningar för markdeponering av lågaktivt kärnavfall enligt 16 § förordningen (SSMFS 1984:14) om kärnteknisk verksamhet. Föreskrifterna innehåller kompletterande bestämmelser till Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter (SSMFS 2008:1) om säkerhet i kärntekniska anläggningar.

Föreskrifterna SSMFS 2008:21 är tillämplig för SKB:s ansökan om utbyggnad och fortsatt drift av SFR vid Forsmark.

11.2.2 SSMFS 2008:37 1 §

Dessa föreskrifter är tillämpliga på slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle och kärnavfall. Föreskrifterna är inte tillämpliga på anläggningar för markdeponering av lågaktivt kärnavfall enligt 19 § förordningen (1984:14) om kärnteknisk verksamhet.

Föreskrifterna SSMFS 2008:37 är tillämplig för SKB:s ansökan om utbyggnad och fortsatt drift av SFR vid Forsmark.

11.3 Helhetssyn på strålsäkerhet

11.3.1 SSMFS 2008:37 3 §

Människors hälsa och miljön ska skyddas från skadlig verkan av joniserande strålning, dels under den tid då de olika stegen i det slutliga omhändertagandet av använt kärnbränsle och kärnavfall genomförs, dels i framtiden. Det slutliga omhändertagandet får inte orsaka svårare effekter på människors hälsa och miljön utanför Sveriges gränser än vad som accepteras inom Sverige.

SKB:s ansökan berör uppförande och drift av anläggningen samt tiden efter förslutning. Därmed avser kravet dels driften av slutförvaret, dels tiden efter slutlig förslutning. I denna del av rapporten avser långsiktig strålsäkerhet.

SSM noterar att anläggningens ändamål, som det anges i ansökan, är att slutförvara låg- och medelaktivt avfall för att skydda människors hälsa och miljön mot skadlig verkan av joniserande strålning från avfallet, nu och i framtiden (SKB, 2015, avsnitt 1.3). I efterföljande paragrafer i SSMFS 2008:37 preciseras olika krav som syftar till att säkerställa att människors hälsa och miljön skyddas från skadlig verkan av joniserande strålning i framtiden.

SSM bedömer att SKB:s val av utformning och lokalisering av utbyggnaden av förvaret för kortlivat låg- och medelaktivt avfall, har gjorts för att ge kommande generationer och miljön skydd från skadlig verkan av joniserande strålning. Avseende lokaliseringen bedömer SSM att fördelarna med en förläggning i anslutning till befintlig anläggning överväger eventuella strålsäkerhetsmässiga fördelar en alternativ förläggningsplats skulle kunna medföra. Den sökta platsens förvarsdjup, liksom förvarets lokalisering under havet, bedöms vara lämpligt valt med hänsyn till avfallets farlighet, hydrologiska förhållanden, uppskattningen av framtida permafrostdjup och skydd mot oavsiktligt intrång. Utformningen av tekniska barriärer har för de olika förvarsdelarna beaktat avfallets aktivitet och egenskaper för att i erforderlig utsträckning minska utsläppet samt bidra till fördröjning av uttransport av radioaktiva ämnen, i synnerhet under den tid då den största potentiella risken för omgivningskonsekvenser föreligger.

Det kommer dock att ske en viss spridning av främst långlivade radioaktiva ämnen under den tidsrymd under vilken förvarets utveckling och funktion ska utvärderas. Spridningens storlek beror på avfallets egenskaper, de tekniska barriärernas egenskaper och deras långsiktiga utveckling. De för strålsäkerheten viktigaste osäkerheterna som finns associerade med framför allt de tekniska barriärernas utveckling med tiden bedöms inrymmas i SKB:s analyser genom redovisning av pessimistiska beräkningsfall. Dessa analyser möjliggör en värdering av effekter för förvarets långsiktiga utveckling som involverar spridning av radioaktiva ämnen även under pessimistiska förutsättningar. I SKB:s redovisning analyseras effekter av utsläpp till geografiskt små utströmningsområden i slutförvarets närområde. SKB:s biosfärsmodellering bedöms i allmänhet ge en bra beskrivning av biosfären, samt ge ett rimligt underlag för uppskattningen av omgivningskonsekvenser kopplade till ett visst utsläpp av radioaktiva ämnen. Detta beror på att de beaktar spridningsvägar, markanvändning och kostvanor som medför en förhållandevis stor exponering för de hypotetiska framtida närboende i området. SKB har även genom motsvarande beräkningar på ett rimligt sätt beaktat skydd av biologisk mångfald och hållbart nyttjande av biologiska resurser mot skadlig verkan av joniserande strålning.

SSM bedömer att det slutliga omhändertagandet av låg- och medelaktivt radioaktivt avfall från kärnteknisk verksamhet och annan verksamhet med strålning i Sverige inte orsakar svårare effekter utanför Sveriges gränser än de i slutförvarets närområde som har jämförts med föreskriftskraven i säkerhetsanalysen som ligger till grund för ansökan. Spridningsvägar till andra länder och Östersjön är förknippad med mycket liten omgivningspåverkan med tanke på de resulterande låga koncentrationerna i havet. SSM bedömer att SKB:s redovisning av kollektivdos är rimlig.

Mot bakgrund av ovan gjorda bedömningar anser SSM anser att föreskriftskravet har förutsättningar att uppfyllas.

11.4 Barriärsystemet och dess funktioner

11.4.1 SSMFS 2008:21 2 §

Säkerheten efter förslutning av ett slutförvar ska upprätthållas genom ett system av passiva barriärer.

SSM:s bedömning av strålsäkerheten efter slutlig förslutning har baserats på att SKB föreslår ett barriärsystem där antalet barriärer och barriärsfunktioner samt deras funktion har anpassats till avfallens innehåll av radioaktiva ämnen och övriga egenskaper. För samtliga förvarsdelar bidrar den granitiska berggrunden, vilken utgör den naturliga barriären, till att isolera det deponerade avfallet och fördröja utsläpp av radioaktiva ämnen.

För förvarsdelarna 1-5BLA utgör berggrunden jämte pluggarna de enda barriärerna som tillgodoräknas för att upprätthålla förvarets långsiktiga strålsäkerhet. Lokaliseringen under havet bidrar för en tidsperiod på cirka 1000 år till förvarets skyddsförmåga genom att begränsa risken för intrång genom brunnsborrning samt genom att upprätthålla ett lågt grundvattenflöde i anslutning till förvaret och därmed låg uttransport av radioaktiva ämnen. Denna tidsskala definieras av den relativa årliga landhöjningen i Forsmarksområdet.

För förvarsdelarna 1-5BLA utgör berggrunden jämte pluggarna de barriärer som tillgodoräknas för att upprätthålla förvarets långsiktiga strålsäkerhet. Dessa föreskriftskrav behöver värderas utifrån vad som kan anses rimligt samt utifrån den strålsäkerhetsmässiga nyttan med fördyrande åtgärder. SSM bedömer att den förordade utformningen, tillsammans med förvarets lokalisering och avfallens egenskaper är ändamålsenlig och att kompletterande tekniska barriärer inte kan motiveras.

Utöver dessa förvarsdelar tillämpas och tillgodoräknas barriärer utifrån avfallens karakteristik (SKB, 2015, tabell 11-1). Resterande förvarsdelar, utöver 1-5BLA, tillförs t.ex. återfyllnadsmaterial. Kringgjutningsbruk utanför kollin i 1-2BTF, 1-2BMA¹⁸ och Silo liksom kringgjutning av de segmenterade reaktortankarna i 1BRT har gynnsamma

¹⁸ SSM noterar att omfattningen av kringgjutning av avfallet i förvarsdelen 2BMA har minskat i den vidareutvecklade referensutformningen av förvarsdelen. SSM konstaterar även att SKB kan komma att uppdatera planerna med avseende på kringgjutning i vissa fack. Även i fråga om 1BMA bedöms frågan om kringgjutning av avfallens som oklar givet de utredningar som ännu pågår (se SSM2015-2432).

barriäregenskaper som bidrar till långsiktig strålsäkerhet. Betongkonstruktionerna i 1-2BMA och Silo utgör barriärer med flera funktioner (se bedömning i Del III, avsnitt 11.5.2). Silo har även en ytterligare barriär i form av ett omgivande bentonitlager. Dessa tillverkade barriärer betraktas som tekniska barriärer.

Baserat på de granskningsresultat som presenteras i del III av denna granskningsrapport drar SSM slutsatsen att den förvarsutformning som föreslås för den utbyggda delen, med ett system av barriärer med olika egenskaper och funktioner som anpassats till det avfall som avses per förvarsdel, analogt med befintlig anläggning, ger förutsättningar för att upprätthålla slutförvarets skyddsförmåga och strålsäkerheten efter förslutning.

Ett förvar av den typ som SKB föreslår bedöms därför uppfylla föreskriftskravet. Strålsäkerheten efter förslutning förväntas upprätthållas genom att konsekvenser av möjliga utsläpp av radioaktiva ämnen begränsas i erforderlig utsträckning. Barriärerna betraktas som passiva eftersom de är utformade för att fungera utan kontroller och aktiva underhållsåtgärder efter förslutning.

11.4.2 SSMFS 2008:21 3 §

Varje barriär ska ha till funktion att på ett eller flera sätt medverka till att innesluta, förhindra eller fördröja spridning av radioaktiva ämnen, antingen direkt, eller indirekt genom att skydda andra barriärer i barriärsystemet.

SSM bedömer att SKB:s system av barriärer ger förutsättningar för att i tillräcklig utsträckning begränsa slutförvarets omgivningspåverkan. SKB har utgått från två huvudsakliga säkerhetsprinciper i) begränsning av mängden långlivade radionuklider, och ii) fördröjning av uttransport av radionuklider. En långsam uttransport möjliggör att en betydande del av aktiviteten hinner klinga av innan spridning i biosfären börjar ske i någon betydande omfattning.

SSM bedömer att säkerhetsprincipen fördröjning av uttransport av radionuklider upprätthålls genom hydrauliska, kemiska och mekaniska barriärsfunktioner som den naturliga bergbarriären och de tillverkade tekniska barriärerna bidrar med. Fram till cirka 1000 år efter förslutning bidrar dessutom slutförvarets placering under havet initialt till ytterligare skydd genom att minska sannolikheten för oavsiktligt intrång samt genom dess inverkan på grundvattenflöde. SSM konstaterar att fördröjningsfunktionen kontrolleras av de radioaktiva ämnenas kemiska egenskaper i slutförvarsmiljön och berget samt transport i tekniska barriärer och berg med det omgivande grundvattnet. De tekniska barriärerna, kringgjutningen och i viss mån även avfallet och dess behållare bidrar dels till att skapa en kemisk miljö som bidrar till retardation av utsläpp av flertalet radioaktiva ämnen genom att minska dess rörlighet, dels till att upprätthålla ett lågt vattenflöde genom förvaret.

SSM bedömer att berget vid SFR har fördelaktiga egenskaper för att begränsa uttransport av radioaktiva ämnen. Detta avser främst bergets förhållandevis låga vattenflöde liksom de kemiskt reducerande förhållanden som förväntas dominera förvarsmiljön efter förslutning. Det låga flödet bidrar till att upprätthålla de tekniska barriärernas funktioner genom att begränsa degraderingshastigheten av framför allt betong. Kemiskt reducerande betingelser i grundvattnet i kombination med höga pH-värden begränsar korrosionshastigheten för järn och stål samt bidrar till begränsad rörlighet för ett stort antal betydelsefulla radionuklider.

SSM konstaterar dock att en inventariebegränsning för långlivade och relativt rörliga radionuklider är en förutsättning för att förvaret, givet den utformning som föreslås, ska kunna uppvisa erforderlig skyddsförmåga på sikt. Detta visas exempelvis av stora dosbidrag från radionuklider såsom molybden-93 och organiskt kol-14 som tillskrivs begränsad respektive ingen sorptionsförmåga i de tekniska barriärerna. För dessa nuklider utgörs begränsningen av uttransport av de tekniska barriärernas flödesmotstånd. Flödesmotståndet har visats vara robust. Denna bedömning underbyggs av SKB:s scenario med accelererad betongdegradering där ett snabbare degraderingsförlopp för betongens hydrauliska egenskaper ansätts utan att omgivningskonsekvenserna ökar i betydande omfattning.

För de förvarsdelar där den flödesbegränsande funktionen gradvis förloras konstaterar SSM att systemets kemiska barriärfunktion fortfarande kommer att bidra med en fördröjande funktion genom sorption. SSM konstaterar att betongbarriärens flödesbegränsande funktion sannolikt reduceras snabbare än dess kemiska barriärfunktion. Även den kemiska barriärfunktionen reduceras i viss omfattning på grund av en förväntad kemisk degradering av reaktiva cementmineraller i betongen. Trots ett omfattande degraderingsförlopp bedömer SSM att endast begränsade förändringar av pH och andra förhållanden, som påverkar sorptionens omfattning, äger rum. SSM anser dock att SKB i kommande säkerhetsredovisningar tydligare bör belysa kopplingen mellan en tänkbar snabbare mekanisk degradering av betongen, utveckling och variationsbredd för kemiska förhållanden samt systemets kemiska barriärfunktion.

SSM bedömer sammanfattningsvis att samtliga ovan diskuterade barriärer på ett betydelsefullt sätt bidrar till strålsäkerhet efter förslutning för ett slutförvar för kortlivat avfall, och att de huvudsakliga barriärfunktioner som SKB har analyserat ger förutsättningar för att i tillräcklig utsträckning begränsa slutförvarets omgivningskonsekvenser. Därmed anser SSM att det barriärsystem som SKB föreslår uppfyller föreskriftskravet.

11.4.3 SSMFS 2008:21 4 §

En brist i någon av slutförvarets barriärfunktioner, som konstateras under tiden slutförvaret är under uppförande eller driftövervakas, och som kan komma att försämrå säkerheten efter förslutningen utöver vad som förutsetts i säkerhetsredovisningen², ska utan onödigt dröjsmål rapporteras till Strålsäkerhetsmyndigheten³. Detsamma gäller om det uppstår misstanke om en sådan brist eller om att en sådan brist kan komma att uppstå i framtiden.

³Jfr. 2 kap. 3 § Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter (SSMFS 2008:1) om säkerhet i kärntekniska anläggningar.

Denna paragraf utgör ett rapporteringskrav som är tillämpligt under uppförande och driftfasen. Uppförande och driftfasen behandlas i del II av denna rapport. SSM bedömer att SKB har förutsättningar att efterleva detta krav om tillstånd skulle ges.

Kravet syftar också till behovet av att följa vetenskapliga rön samt drifterfarenheter från SKB:s anläggningar respektive andra liknande anläggningar i världen. Det främsta syftet med kravet är att kunna identifiera omständigheter som hittills varit okända eller som skulle kunna ha en större påverkan än förväntat på slutförvaret. SSM bedömer att den stegvisa processen med återkommande granskningar av säkerhetsredovisningar vid uppförande, provdrift och drift av slutförvarsanläggningen kommer att ge möjlighet till uppföljning samt tillämpning av detta krav.

11.5 Optimering och bästa möjliga teknik

11.5.1 SSMFS 2008:21 6 §

Barriärsystemet ska konstrueras och utföras med hänsyn till bästa möjliga teknik⁴.

⁴ *Jfr. 2 kap. 3 § miljöbalken*

Se bedömning under SSMFS 2008:37 4 § nedan.

11.5.2 SSMFS 2008:37 4 §

Vid slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle och kärnavfall ska optimering ske och hänsyn tas till bästa möjliga teknik.

Kollektivdos på grund av förväntat utläckage av radioaktiva ämnen under 1000 år efter förslutningen av ett slutförvar för använt kärnbränsle eller kärnavfall ska beräknas som summan över 10000 år av den årliga kollektivdosen. Beräkningen ska redovisas i enlighet med 10-12 §§.

SSM:s bestämmelser syftar bland annat till att lokalisera, utforma och driva ett så strålsäkert slutförvar som rimligen möjligt. Denna rimlighetsavvägning beaktar såväl ekonomiska och samhällsliga faktorer som avfallets radiologiska farlighet. Detta innebär att lägre krav således kan ställas på förvarsdelar i vilka lågaktivt avfall ska slutförvaras, jämfört med förvarsdelar för medelaktivt avfall. Detta synsätt har också varit utgångspunkt för bedömningen av alternativa utformningar för tillkommande förvarsdelar. I en sådan bedömning innefattas en värdering av erforderlig tålighet gentemot interna och externa förhållanden, händelser och processer som kan påverka ett givet barriärssystem efter slutlig förslutning. Utöver denna aspekt har myndigheten även beaktat parametrar såsom relativ kostnad för olika alternativ och huruvida både aktuella och alternativa utformningar utgör beprövade tekniker i termer av uppförande och drift. Myndighetens samlade bedömning av vilken utformning som kan betraktas som lämpligast utifrån ett optimerings- och BMT-perspektiv har sedan baserats på en helhetsavvägning där samtliga dessa aspekter vägs in.

SSM anser att en viktig referenspunkt med hänsyn till slutförvarets utformning och skyddsförmåga är den konsekvensanalys som ingår i säkerhetsredovisningen för perioden efter förvarets förslutning. Resultaten från denna analys kan exempelvis visa hur en viss förvarsutformning har optimerats med beaktande av riskbidrag från olika typer av händelser och processer. Optimeringsprocessen kan även visa vilka åtgärder och justeringar av slutförvarskonceptet som är mest effektiva för att så långt som rimligt möjligt reducera omgivningspåverkan.

Avseende 2-5BLA gör SSM den sammantagna bedömningen att förvarsdelarna har en förbättrad skyddsförmåga jämfört med förvarsdelen 1BLA, dels genom ett utökat förvarsdjup, vilket ger ett utökat skydd mot oavsiktligt intrång, dels genom det lägre grundvattenflödet på valt förvarsdjup. Även om skyddsförmågan för dessa förvarsdelar i princip skulle kunna förbättras genom att installera ytterligare barriärer, anser SSM att de kostnader som detta för med sig inte kan förväntas stå i proportion till avfallets relativt sett ringa aktivitetsinnehåll. SSM bedömer därför att den förordade utformningen av

förvarsdelen 2-5BLA kan anses vara optimerad från strålskyddssynpunkt och även lämplig ur ett BMT-perspektiv.

Avseende den planerade förvarsdelen BRT är de redovisade planerna inte fullt ut fastlagda av SKB vilket exempelvis innebär att planer för segmentering av reaktortankar behöver utvecklas inför SKB:s kommande redovisningar. SSM bedömer att SKB har förutsättningar att i samråd med reaktorägarna då mer noggrant ha beräknat dosprognoser för segmenteringsalternativet fullt ut, vilka inkluderar stråldoser till personal under genomförandet till dess att segmenteringsavfallet är förpackat, transporterat och inplacerat i förvaret. SSM bedömer att SKB:s nu planerade hanteringsväg för reaktortankarna är lämplig och till stor del har baserats på beprövad teknik. De redovisade planerna är dock ännu tämligen vaga, och planeringen inför segmentering av reaktortankarna kommer att behöva utvecklas. SSM följer denna fråga inom ramen för tillsynen av nedmontering och rivning av reaktorerna vid BKAB, OKG AB och RAB AB.

SSM konstaterar att det fortfarande finns vissa kvarstående frågeställningar kopplade till genomförbarheten i uppförandet av 2BMA givet den uppdaterade referensutförning som föreslås av SKB. Dessa avser i första hand osäkerheter kopplade till ett uppförande av en sprickfri betong med de hydrauliska egenskaper som SKB ansätter för initialtillståndet i SR-PSU. Myndigheten bedömer dock att SKB genom det påbörjade utvecklingsarbetet och med ändamålsenliga kontrollprogram och ett successivt uppförande av kassunerna med tillhörande verifierande analyser, har förutsättningar att uppföra ett 2BMA i enlighet med SKB:s ställda långsiktiga funktionskrav som syftar till att uppnå det initialtillstånd som ansätts i huvudscenariot i SR-PSU (del III, avsnitt 4.3.3 och 4.3.4). Osäkerheterna kopplade till barriärens hydrauliska egenskaper bedöms implicit inrymmas inom ramen för SKB:s scenarioanalys och det mindre sannolika scenariot med accelererad betongdegradering (del III, kapitel 9). SSM bedömer vidare att utformningen är robust ur ett långsiktigt strålsäkerhetsperspektiv. Utförligare bedömningar avseende 2BMA:s referensutförning återfinns i Del III, avsnitt 11.5.1 som avhandlar förvarssystemet tålighet mot förhållanden, händelser och processer som kan påverka barriärfunktioner efter förslutning.

Utformningen av 2BMA ska också värderas mot olika alternativ. I en sådan jämförelse behöver eventuella förbättringar av strålsäkerheten värderas mot andra faktorer såsom kostnader, huruvida de olika alternativa utformningarna utgör beprövade tekniker i termer av uppförande och drift, samt vilken flexibilitet som finns avseende anpassning till föränderliga avfallsvolymer och metoder för avfallskonditionering. En samlad bedömning av vilken utformning som kan betraktas som lämpligast utifrån ett optimerings- och BMT-perspektiv baseras därefter på en helhetsavvägning där samtliga dessa aspekter vägs in.

I BAT-bilagan (SKB dokID 1415420) beskriver SKB de alternativa utformningar av förvarsdelen 2BMA som har övervägts. Utöver det förordade alternativet (alt 1), att uppföra förvaret som bergsal med ett antal fristående kassuner av oarmerad betong, har även två utformningar bestående av en kombination av betong- och bentonitbarriärer utvärderats där det ena alternativet föreslås utformas som en bergsal (alt 2), medan det andra baseras på silokonstruktionen i dagens SFR (alt 3).

Av de två alternativa utformningar till SKB:s förordade utformning av 2BMA som har utvärderats, bedömer SSM att alternativet med en konstruktion av silo i betong (alt 3) med omgivande bentonitbarriär är det mest intressanta. Detta då siloalternativet bygger på en redan uppförd konstruktion i nuvarande SFR medan det andra alternativet innefattar liknande frågeställningar som för SKB:s förordade utformning i kombination med att ytterligare ett antal osäkerheter tillkommer.

Avfallets radiotoxicitet utgör en viktig aspekt vid bestämning av utformningen av barriärsystemet. SKB illustrerar (SKB, 2015, Figur 10-7) skillnaden i radiotoxicitet i avfallet i de olika befintliga och planerade förvarsdelarna. Enligt SKB:s figur är avfallet vid förslutningen av det befintliga siloförvaret ungefär hundra gånger mer radiotoxiskt än det avfall som ämnas placeras i 2BMA. SSM konstaterar dock att för de betydelsefulla radionukliderna för analysen av långsiktig strålsäkerhet är skillnaden mellan inventariet i Silo och 2BMA snarare ca en faktor 5. Jämförelsen i figuren är missvisande då radiotoxiciteten i Silo domineras av alfastrålaren Am-241 i en särskild avfallstyp (typbeskrivning S.24:1 enligt SKB R-15-15). Deponering av denna avfallstyp är inte godkänd och avsikten är att detta avfall i stället ska deponeras i det kommande slutförvaret för långlivat avfall (SFL) (SKB dokID 1689290).

SSM bedömer att en betongsilo omgiven av en bentonitbarriär (alt 3) har uppenbara strålsäkerhetsmässiga fördelar jämfört med referensutformningen (alt 1). Det som främst talar emot siloalternativet (alt 3) är de ökade kostnaderna och även en minskad flexibilitet i avfallshanteringens samt huruvida det överhuvudtaget finns bergvolymen i anslutning till det område där utbyggnaden planeras som är lämpliga för att uppföra en silo (alt 3).

Skillnaderna i de olika alternativens skyddsförmåga bedöms dock inte vara så påtagliga att de uppskattade kostnadsökningarna för ett siloalternativ kan anses vara motiverade. I granskningen når SSM bedömningen att den förordade utformningen kan godkännas, men att förvarets skyddsförmåga som helhet kan och ytterligare behöver optimeras genom att så långt som rimligen är möjligt begränsa inventariet av långlivade radioaktiva ämnen i 2BMA. En utförligare bedömning av alternativredovisningen återfinns i Del IV av granskningsrapporten.

Angående platsvalet bedömer SSM att den förordade platsen i sig är lämplig för ett slutförvar för kortlivat låg- och medelaktivt avfall. Utformningen, som baseras på säkerhetsprinciperna begränsning av långlivade radioaktiva ämnen samt fördröjning av utsläpp av radioaktiva ämnen, bedöms vara lämplig med beaktande av avfallets radiologiska farlighet, tidigare erfarenheter från den befintliga anläggningen, konstaterade och förväntade betingelser vid förläggningsplatsen, samt utifrån perspektivet optimering och bästa möjliga teknik.

De fördelar som en alternativ förläggning i berggrunden i Forsmarkslinsen, eller annan inlandsförläggning med liknande berggrund, skulle innebära, gör sig främst gällande för tiden efter ca 1000 år efter förslutning. Vid denna tidpunkt har stora delar av avfallets inventarium av radioaktiva ämnen avklingat. I avfallet återstår vid denna tidpunkt enbart nuklider med lång halveringstid. Tillämpning av SKB:s säkerhetsprincip ”begränsning av mängden långlivade radionuklider” är således betydelsefull för bedömningen.

Mot denna bakgrund bedömer SSM att den förordade lokaliseringen för BRT och 2-5BLA har fördelar jämfört med en inlandsförläggning, detta i synnerhet beroende av avfallets begränsade innehåll av långlivade nuklider och den ökade skyddsförmågan som havstäckningen innebär under den inledande tusenårsperioden.

Under den tid som flödesbarriären hos 2BMA är avgörande för förvarets skyddsförmåga, vilken förväntas bestå under minst 20 000 år efter förslutning, bedöms förvarsdelen som relativt okänslig för mindre variationer hos platsens egenskaper. Efter denna period samt efter en omfattande degradering av betongbarriärens förmåga att begränsa grundvattenflöden kan det inte uteslutas att en alternativ lokalisering skulle medföra lägre omgivningskonsekvenser på mycket lång sikt. Genomförs ytterligare insatser från SKB:s och avfallsproducenternas sida avseende åtgärder för att begränsa förvarsdelen 2BMA:s

innehåll av långlivade radioaktiva ämnen såsom Ni-59, och mot bakgrund av att fördelarna med en annan lokalisering, liknande den som representeras av alternativet i Forsmarklinsen med tillhörande egenskaper, bedöms vara så begränsade att de inte kan motiveras mot de ökade kostnaderna och andra olägenheter, bedöms den förordade platsen vara lämplig även ur ett längre tidsperspektiv för förvardsdelen 2BMA. Det ökade skyddet mot intrång under den inledande 1000 årsperioden bedöms också fördelaktigt vid förläggning vid befintligt förvar jämfört med de fördelar som en djupare inlandsförläggning har för den efterföljande tidsperioden.

SSM delar SKB:s bedömning att osäkerheter kopplade till överväganden kring alternativa lokaliseringar hade kunnat ha minskats genom ytterligare platsundersökningar. Sett till de skillnader som en alternativ plats liknande de som kan förväntas i den tektoniska linsen i Forsmarksområdet bedömer SSM, med beaktande av ovanstående resonemang, att omfattande platsundersökningar inte kan anses motiverade med hänsyn tagen till den begränsade miljönyttan i ett mycket långt tidsperspektiv. För den viktiga tidsperioden fram till ca 1000 år efter förslutning, då huvuddelen av avfallets inventarium sönderfaller, bedömer SSM att den förordade platsen är lämpligare än de alternativa lokaliseringar som har övervägts.

Valet av metod och plats bedöms, baserat på ovan förda resonemang, således uppfylla dessa föreskriftskrav.

Krav på bästa möjliga teknik enligt miljöbalken finns beskrivet i Del IV av granskningsrapporten.

11.6 Slutförvarets konstruktion och utförande samt intrång och tillträde

11.6.1 SSMFS 2008:21 5 §

Barriärsystemet ska ha tålighet mot sådana förhållanden, händelser och processer som kan påverka barriärernas funktioner efter förslutningen.

SSM bedömer att SKB:s redovisning och analys kring barriärsystemets långsiktiga integritet ger ett tillräckligt underlag för att kunna bedöma barriärsystemets tålighet. Tålighet behöver inte innebära att de tekniska barriärerna behöver vara bestående i absolut mening. Utformning och materialval behöver dock vara lämpligt med avseende på faktiska förhållanden på förvardsdjup liksom med avseende på händelser och processer. Tålighet mot förhållanden, händelser och processer som kan påverka slutförvarets barriärsfunktioner efter förslutning fordrar att var och en av barriärerna på ett väsentligt sätt bidrar till förvarets långsiktiga skyddsförmåga.

SSM grundar sin bedömning om slutförvarets tålighet på hela barriärsystemet. Bedömningen av de enskilda barriärernas tålighet har dock en betydelse för bedömning inom andra områden såsom bästa möjliga teknik samt skydd av människors hälsa och miljön. SSM anser att tålighet behöver utvärderas utifrån följande perspektiv:

- inventariets betydelse för förvarets skyddsförmåga
- barriärernas samlade betydelse
- förvarsplatsens betydelse

- inverkan av en eller flera fallerade barriärer
- de viktigaste frågorna för de enskilda tekniska barriärernas tålighet

Utvärdering av barriärsystemets tålighet måste, för ett förvar vars huvudsakliga funktion är fördröjning av uttransport, utgå från det inventarium av radioaktiva ämnen som förvaret är avsett för. Således, en förutsättning för att uppnå SFR-förvarets avsedda skyddsförmåga är att endast en begränsad mängd radioaktiva ämnen placeras i förvaret. I perspektivet strålsäkerhet efter förvarets förslutning är det i huvudsak inventariet av fyra kategorier radionuklider som behöver beaktas. I den första kategorin innefattas sådana radionuklider som sönderfaller under de första 1000 åren som Cs-137 och Sr-90. Lokaliseringen under havet medför mycket begränsade flöden genom förvaret under denna tidsperiod vilket medför att dessa ämnens betydelse för långsiktig strålsäkerhet blir försumbar. Den andra kategorin innehåller radionuklider med medellång halveringstid och hög mobilitet. Denna kategori domineras av radionukliderna C-14 och Mo-93, vilka har en dominerande roll i analysen av risk för människors hälsa efter förslutning. Dessa dosdominerande nuklidens egenskaper medför att det är förvarets flödesbegränsande funktioner som fördröjer utsläppet. Av betydelse för bidraget av dessa nuklider till förväntade omgivningskonsekvenser är tänkbara tidiga degraderingsförlopp för de flödesbegränsade barriärerna i SFR.

I den tredje kategorin beaktas radionuklider med mycket lång halveringstid och hög mobilitet som I-129, Cl-36, Cs-135 och Se-79. Dessa nuklider motsvarar betydande andelar av förväntad omgivningspåverkan i den extremt långsiktiga tidskalan upp mot 100 000 år och i särskilda mindre sannolika fall som vid tidigt periglacialt klimat. För dessa radionuklider är systemets tålighet mot utveckling av externa klimatförhållanden mer betydelsefull, vilket innefattar variationer i klimatutvecklingen som kan medföra temperaturförändringar och ändrade flödessituationer som i sin tur påverkar de tekniska barriärernas degraderingsförlopp och den långsiktiga förvarsutvecklingen. Den sista kategorin innefattar radionuklider med lång halveringstid med lägre mobilitet som Pu-239/240 och andra aktinider, Ni-59 samt Tc-99. För den sistnämnda kategorin är förståelsen för dessa radioaktiva ämnens kemiska egenskaper och utvecklingen av den kemiska barriärsfunktionen i förvaret och geosfären av stor betydelse.

För en bedömning av barriärsystemets tålighet krävs kunskaper om varje enskild barriärs tålighet samt hur barriärerna samverkar för att upprätthålla slutförvarets skyddsförmåga. Det finns dock osäkerheter med avseende på enskilda barriärers utveckling som är svåra att helt eliminera särskilt för extremt långa tider. För SFR-förvaret, som utformats för slutförvaring av kortlivat lågt- och medelaktivt avfall utgör säkerhetsprincipen ”begränsning av mängden långlivade radionuklider” en nödvändig utgångspunkt för att kunna uppnå erforderlig strålsäkerhet i det mycket långa tidsperspektivet. Osäkerheter kring de enskilda barriärernas långsiktiga utveckling får en begränsad betydelse eftersom den potentiella maximala risken för människors hälsa förväntas att uppstå inom de första 10 000 åren efter förslutning. Utvärdering av systemets tålighet genom analys av degradering av tekniska barriärer och förändrat flöde i berget i samband med scenario- och konsekvensanalys visar att systemets tålighet i sin helhet är godtagbar, även om de enskilda barriärernas skyddsförmåga i viss utsträckning skulle visa sig vara sämre än vad som förutsätts i SKB:s analys. Sammantaget bedömer SSM att barriärsystemet bestående av tekniska barriärer och den naturliga bergbarriären är tillräckligt robust.

SKB:s säkerhetsredovisning och tillhörande konsekvensanalys bedöms utgöra en godtagbar grund för att illustrera konsekvenser av när enstaka barriärsfunktioner antingen förloras eller reduceras. Förutsättningarna för de tekniska barriärernas beständighet

påverkas i viss utsträckning av lokala bergegenskaper. Deformationszoner och lokal sprickighet påverkar starkt grundvattenflödenas fördelning i berggrunden, vilken successivt utvecklas till följd av landhöjningen. SKB:s analys beaktar även fall där bergets egenskaper är sämre än förväntat och ett högre grundvattenflöde ansätts för förvaret som helhet för att representera osäkerheter i indata till de hydrogeologiska modellerna. SSM bedömer att osäkerheter kopplade till flödesbetingelser i berget har beaktas i tillräcklig omfattning i den hydrogeologiska modelleringen. Dock anser SSM att det finns möjligheter att minimera dessa osäkerheter ytterligare inför kommande steg i programmet då utförligare platsspecifika undersökningar kan utföras på förväntat förvarsdjup.

SKB:s scenarionanalys identifierar, utöver detta, fall där en eller flera barriärsfunktioner antas falla helt eller delvis under olika skeden av analysperioden. Som exempel beaktas brister i såväl betongbarriärerna som bentonitbarriären i Silo vid utvärdering av långsiktiga strålsäkerhetskonskvenser för omgivningen. Detta bedöms ge en förhållandevis tydlig bild av de olika barriärernas enskilda betydelse för SFR-förvarets totala skyddsförmåga.

Processer som skulle kunna påverka bentonitbarriären i Silo är frysning i samband med permafrost, accelererad mineralomvandling till följd av interaktion med betong, samt kemisk erosion. SSM bedömer att de två senare processerna, som är diffusionsstyrda, är alltför långsamma för att få betydelse för barriärens funktioner under den tidsperiod som är relevant för detta förvar. I fallet med cementinteraktion så är effekterna av sådana mineralomvandlingar i första hand associerande med reducerad svällningsförmåga snarare än avsevärt förändrade hydrauliska egenskaper. Detta gör att betydelsen sannolikt blir liten för bentonitbarriärens huvudsakliga barriärfunktion. Beträffande frysning bedöms barriären återfå sina ursprungliga egenskaper när materialet tinar i samband med att ett varmare klimat återuppstår.

Betongbarriären, som används i förvarsdelarna Silo, 1-2BMA, 1-2BTF samt 1BRT utgör en kemisk barriär och för samtliga dessa förvarsdelar, förutom BRT, även en flödesbarriär. Den sistnämnda funktionen är relevant för samtliga nuklider i inventariet medan den kemiska barriärfunktionens effektivitet beror på specifika nuklidens sorptionsförmåga givet den kemiska miljö som barriären upprätthåller främst genom buffring av pH och redoxförhållanden. Flödesbarriärens effektivitet beror till stor del på de hydrauliska egenskaper som tillskrivs betongen i olika faser av förvarets utveckling. Sprickförekomst och fördelning av sprickvidder utgör dominerande faktorer. SKB:s scenario med accelererad betongdegradering illustrerar säkerhetsbetydelsen för betongbarriärens långsiktiga degradering. I detta fall ansätts ett snabbare degraderingsförlopp av betongens hydrauliska egenskaper utan att de maximala omgivningskonsekvenserna ökar i betydande omfattning. Enligt SSM:s bedömning är de flödesbegränsande egenskaperna hos betongbarriären robust och de kvarstående osäkerheterna har begränsad betydelse för riskanalysen. Tidsskalan för beräknad maximal dos/risk på några 1000 år efter förslutning av förvaret ger ett sammanhang för bedömningen av kvarstående osäkerheter.

SSM bedömer dock att betongbarriärens flödesbegränsande funktion sannolikt reduceras snabbare än dess kemiska barriärsfunktion. Enligt SSM innebär detta att den kemiska barriärfunktionen får en relativt sett större betydelse efter att flödesbarriärfunktionen har reducerats avsevärt genom mekanisk degradering. Även den kemiska barriärfunktionen reduceras till viss del på grund av en förväntad degradering av cementmineraler i betongen. Trots ett omfattande degraderingsförlopp sker endast små förändringar av pH och andra förhållanden som påverkar radionuklidernas sorption. SSM anser dock att SKB i kommande säkerhetsredovisningar bör tydligare redovisa kopplingen mellan en tänkbar

snabbare mekanisk degradering av betongen, utveckling och variationsbredd för kemiska förhållanden samt systemets kemiska barriärfunktion.

Mot bakgrund av ovan gjorda bedömningar anser SSM att SKB:s förordade utformning uppfyller kravet.

11.6.2 SSMFS 2008:21 7 §

Barriärsystemet ska innehålla flera barriärer så att så långt det är möjligt nödvändig säkerhet upprätthålls trots enstaka brist i en barriär.

Principen om flerfaldiga barriärer och säkerhetsfunktioner är utgångspunkten i internationella riktlinjer för geologisk slutförvaring av radioaktivt avfall (t.ex. IAEA, 2011). Denna princip är användbar för att så långt som möjligt säkerställa skyddsförmågan för ett slutförvar även om viss information, vissa kunskaper eller visst utförande med avseende på en barriär eller barriärfunktion är ofullständig eller visar sig ha brister. Principen är inte nödvändigtvis kopplad till en sannolikhet eller motivering av en viss brist (som utgör grunden för riskanalysen), utan den är tillämpbar även på konsekvenser av postulerade brister som inte behöver vara baserade på berättigade misstankar om att bristerna skulle kunna förekomma.

Det avsedda avfallets radiologiska farlighet utgör utgångspunkten som definierar erforderlig kvalifikation på avsedd förvarsdels barriärfunktioner. I denna bedömning innefattas en värdering av barriärernas och barriärfunktionernas tålighet gentemot interna och externa förhållanden, händelser och processer som kan påverka barriärssystemet efter förslutning.

Beträffande kunskaper om enskilda barriärer och deras långsiktiga utveckling i slutförvarsmiljön så kommer ny information från pågående forskning att behöva beaktas under den tid slutförvaret är under uppförande och i drift. SSM anser således att SKB fortlöpande behöver bevaka relaterat forsknings- och utvecklingsarbete i omvärlden samt även bedriva egen forskning i viss omfattning. SSM anser också att SKB behöver genomföra ett kontrollprogram under uppförande- och driftsfaserna för att verifiera kunskap om berget och de tekniska barriärernas egenskaper och utveckling. SKB behöver dra nytta av driftserfarenheter, genomföra förnyade säkerhetsanalyser samt genomföra gradvisa förbättringar.

Långsiktig strålsäkerhet uppnås med barriärssystemet som helhet, i vilket varje enskild barriär i tillräcklig utsträckning behöver bidra till slutförvarets långsiktiga strålsäkerhet. Så länge verkliga, möjliga eller hypotetiska brister med avseende på en av slutförvarets barriärer ger begränsad effekt uppnås robusthet för systemet i sin helhet. Analys av slutförvarssystemets robusthet förutsätter en analys av tänkbara eller hypotetiska brister som kan förekomma dels med avseende på slutförvarets barriärer och utförande, dels med avseende på olika barriärfunktioner och deras hantering i säkerhetsanalysen. Den första typen av brist kan exempelvis motsvaras av hypotetiska, tänkbara eller konstaterade kvalitetsbrister vid uppförande, eller med utgångspunkt från att uppförande och drift av slutförvaret genomförs så att vissa krav som har motiverats med tanke på långsiktig strålsäkerhet åsidosätts eller inte blir beaktade i tillräckligt hög utsträckning. Den andra typen av hypotetisk brist avser säkerhetsanalysens hantering av osäkerheter i samband med långsiktiga processer, exempelvis med avseende på beskrivning av barriärdegraderingsmekanismer, slutförvarsmiljön och transport av radioaktiva ämnen.

SSM anser att principen om flerfaldiga barriärer innebär att säkerhetsanalysen behöver baseras på flera olika typer av argument för att motivera slutförvarets långsiktiga strålsäkerhet, men också att tillämpningen behöver grundas på det avsedda avfallsets radiologiska farlighet. I fallet SFR är slutförvarets huvudfunktion att fördröja och begränsa utsläpp av radioaktiva ämnen för att möjliggöra avklingning av radionuklider med halveringstider upp till några tiotals år inuti förvaret, samt att begränsa utsläpp av kvarvarande långlivade nuklider. För denna typ av förvar är begränsning och kontroll av inventariets storlek och i synnerhet innehållet av långlivade nuklider en förutsättning för upprätthållandet av långsiktig strålsäkerhet. Avfallsets radiotoxicitet utgör en viktig aspekt vid bestämning av utformningen av barriärsystemet. I de olika befintliga och tillkommande förvarsdelarna i SFR föreligger stora skillnader i detta avseende med flera tiopotensers skillnad för den totala radiotoxiciteten vid intag via födan (SKB, 2015, Figur 10-7).

Befintliga SFR är utformat så att den förvarsdel som omhändertar det mest radiologiskt farliga avfallet (Silo) innehar det mest kvalificerade tekniska barriärsystemet med både en betong- och en bentonitbarriär utöver berget som utgör den naturliga barriären. Därutöver avtar komplexiteten i barriärssystemet för de förvarsdelar som omhändertar mindre farligt avfall (1BMA, 1-2BTF och 1BLA). Den planerade utbyggnaden har baserats på samma princip.

SSM:s föreskriftskrav SSMFS 2008:21 5 § kopplar till behovet av att kunna förutsäga konsekvenser av brister kopplat till barriärerna som sådana eller deras barriärfunktioner i slutförvaret så som de är representerade i säkerhetsanalysen. Detta möjliggör en prioritering av åtgärder för att så långt som möjligt kvantifiera och om möjligt reducera risk som uppstår till följd av konstaterade, tänkbara eller hypotetiska brister och därmed gradvis förbättra slutförvarets skyddsförmåga under tiden slutförvaret är under uppförande och i drift.

SSM:s föreskriftskrav SSMFS 2008:21 7 § pekar på vikten av ett barriärsystem för att upprätthålla långsiktig strålsäkerhet trots enstaka brist i en barriär eller barriärfunktion. SSM anser att enstaka brist bör tolkas som att en barriär eller barriärfunktion i slutförvaret inte i avsedd utsträckning bidrar till slutförvarets långsiktiga strålsäkerhet. Denna brist skulle kunna förekomma i någon av förvarets barriärer, antingen på grund av byggfel som kvarstår vid förslutning, genom felaktiga antaganden, otillräcklig förståelse av förvarsplatsen och dess långsiktiga utveckling, otillräcklig förståelse av barriärsystemets långsiktiga utveckling och funktion.

För berggrunden skulle en sådan omständighet kunna innefatta att flödesbilden kring slutförvaret efter förslutning skiljer sig från den förväntade från platsspecifik hydrogeologisk modellering. Ett högre grundvattenflöde skulle kunna medföra snabbare degradering av de tekniska barriärerna liksom en snabbare uttransport av radioaktiva ämnen från förvaret. Ett högre grundvattenflöde beaktas också inom ramen för SR-PSU, även om SKB i detta beräkningsfall inte explicit beaktar påverkan på betongbarriärens degraderingshastighet. Effekten av en sådan koppling framgår dock i viss utsträckning genom scenariokombinationen med högt flöde och accelererad betongdegradering.

För betongbarriären skulle en förbisedd brist kunna vara att betydande sprickbildning inte kan undvikas i samband med uppförandet. Sprickor kan i viss utsträckning upptäckas och lagas under driftfasen, men sannolikt kommer vissa osäkerheter att kvarstå kring betongens egenskaper. Betongmaterialets hållfasthetsegenskaper är förhållandevis känsliga mot exempelvis blandningsförhållanden och gjutningsförlopp. Dessa typer av

osäkerheter avser exempelvis uppförandet av 2BMA enligt SKB:s föreslagna referensutformning. SSM har därför utvärderat huruvida SKB:s säkerhetsredovisning i tillräcklig utsträckning beaktar eventuella brister i betongbarriären samt i vilken grad förvarssystemets skyddsförmåga är avhängigt en sprickfri betong. Betongbarriärens tålighet kommenteras utförligt i avsnittet ovan om tålighet mot förhållanden, händelser och processer efter förslutning. SSM bedömer att SKB:s riskanalys visar på en robusthet mot omfattande betongdegradering genom att beräkningsfall som har baserats på ett accelererat degraderingsförlopp inte medför avsevärt högre omgivningskonsekvenser. Ett antaget accelererat degraderingsförlopp av betongbarriären bedöms medföra liknande påverkan på förvarets skyddsförmåga som om initialtillståndet hos betongbarriären är sämre än förväntat.

I den befintliga förvarsdelen Silo har bentonitbufferten som omger betongbarriären en flödesbegränsande barriärfunktion. Ett särskilt beräkningsfall i SR-PSU illustrerar betydelsen av bentonitbarriärens degradering. Även i detta fall bedömer SSM att analysen visar på robusthet och redundans i Silos barriärsystem som helhet.

Hypotetiska beräkningsfall som tillhör restscenarierna i SR-PSU illustrerar betydelsen av totala förluster av olika barriärsfunktioner, såsom att berget eller förvaret förlorar sin sorptionsförmåga vilket kraftigt reducerar deras bidrag till fördrojningsfunktionen och skyddsförmågan. Dessa fall inkluderas inte i SKB:s summering av risker för att jämföra med SSM:s riskkriterium, men de utgör enligt SSM:s bedömning ett värdefullt underlag för att förstå barriärsystemets funktioner. Fallen visar även att det befintliga SFR liksom den planerade utbyggnaden är förhållandevis robust mot även hypotetiska brister.

SSM anser sammanfattningsvis att bedömning av flerbarriärprincipens tillämpning behöver grundas på det avsedda avfallets radiologiska farlighet, vilken definierar erforderlig kvalifikation på respektive förvarsdelens barriärfunktioner. SKB:s förordade utformning av utbyggnaden bygger på samma säkerhetskoncept som det befintliga SFR. Den initiala placeringen under havet och den naturliga bergbarriären för 2-5BLA analogt med 1BLA för den befintliga anläggningen. Utöver detta avses tekniska barriärer i form av betong att tillämpas för BRT och 2BMA, vilket är analogt med tillämpningen i befintlig anläggning för 1-2BTF, 1BMA och Silo. Siloförvaret i befintliga SFR innehåller även ytterligare en teknisk barriär i form av bentonit. Säkerhetskonceptet bedöms utgöra ett lämpligt barriärsystem som har anpassats utifrån avfallets karakteristik och farlighet. SSM anser att SKB har redovisat betydelsen av brister hos barriärer/barriärfunktioner genom uppsättningen av scenarier och beräkningsfall i SR-PSU. SSM bedömer att denna redovisning visar att långsiktiga strålsäkerhetskonsekvenser inte i otillbörlig utsträckning är avhängigt en enstaka barriär eller barriärfunktion. Därmed bedöms den föreslagna utbyggnaden uppfylla kravet på användning av ett flerbarriärsystem.

11.6.3 SSMFS 2008:21 8 §

Inverkan på säkerheten av sådana åtgärder som vidtas för att underlätta övervakning eller återtagning av deponerat kärnämne eller kärnavfall från slutförvaret eller för att försvåra tillträde till slutförvaret ska analyseras och redovisas till Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSM bedömer att SKB inte har vidtagit åtgärder vid utformningen av förvarsdelarna i syfte att underlätta övervakningen eller återtag av avfall som har påverkan på strålsäkerhet efter förslutning.

11.6.4 SSMFS 2008:37 8 §

Ett slutförvar ska främst utformas med hänsyn till dess skyddsförmåga. Om åtgärder vidtas för att underlätta tillträde eller försvåra intrång ska effekterna på slutförvarets skyddsförmåga redovisas.

SSM bedömer att utformningen av utbyggnadens förvarsdelar har utformats med hänsyn till dess skyddsförmåga. Utförligare bedömningar avseende förvarets skyddsförmåga återfinns bland annat i myndighetens bedömning mot SSMFS 2008:21 5 §. SSM bedömer inte att åtgärder har vidtagits för att underlätta tillträde. SSM bedömer vidare att lokaliseringen liksom förlägningsdjupet av utbyggnaden på ett godtagbart sätt har valts med utgångspunkt från att försvåra intrång samt med hänsyn tagen till förvarets skyddsförmåga.

11.6.5 SSMFS 2008:37 9 §

Konsekvenserna av intrång i ett slutförvar ska redovisas för de olika tidsperioder som anges i 11 - 12 §§.

Slutförvarets skyddsförmåga efter intrång ska beskrivas.

SSM konstaterar att SKB i ansökan har redovisat konsekvenser av intrång i ett slutförvar för de olika tidsperioder som anges i 11 – 12 §§ SSMFS 2008:37 och att SKB har beskrivit slutförvarets skyddsförmåga efter intrång.

SSM bedömer att SKB har valt lämpliga fall för att redovisa konsekvenser av framtida mänskliga handlingar inklusive intrång i SFR med planerad utbyggnad. SSM bedömer vidare att valda fall med direkt respektive indirekt påverkan på slutförvaret utgår från rimliga antaganden och förutsättningar, samt att SKB:s dosuppskattningar för de olika fallen är trovärdiga. SKB belyser konsekvenser av direkt påverkan på slutförvaret genom ett fall där slutförvaret genomborras. Beräkningar utförs för människorna som utför borrhningen och för en familj som bor i anslutning till borrhålet och nyttjar det som dricksvattenbrunn. Baserat på kvalitativa resonemang gör SKB bedömningen att framtida mänskliga aktiviteter, t.ex. borrhning, som kan ha en påverkan på vattenflödet i SFR efter förslutning omfattas av det mindre sannolika scenariot *högt flöde i berggrunden*. SSM delar denna bedömning. Ytterligare underlag för denna slutsats utgörs av en kvantitativ analys utförd av SSM:s externa expert (SSM2017-1003).

Av SKB:s redovisade beräkningsfall i konsekvensanalysen i SR-PSU är det i synnerhet scenarierna med intrångsbrunnar och ej förslutet förvar som bedöms ge betydande konsekvenser. SSM anser att förvarslokaliseringen med initial placering under hav avsevärt reducerar risker för intrång under perioden med havsövertäckning. SSM anser det vara av stor betydelse att SKB vidareutvecklar strategierna för bevarande av information för att minska risken för oavsiktliga intrång efter förslutning. Om sådan typ av information skulle gå förlorad bedömer SSM ändå att tillämpningen av SKB:s säkerhetsprincip ”begränsad mängd långlivade radionuklider” har en stor betydelse för att begränsa konsekvenserna av intrång i mycket långa tidsperspektiv.

SKB:s analyser har utförts för olika tider som täcker in tidsperioderna givna i 11 – 12 §§ SSMFS 2008:37. SSM har i granskningen befunnit att SKB:s dosuppskattningar för de olika fallen är trovärdiga. SSM bedömer även att SKB:s beskrivningar av slutförvarets

skyddsförmåga efter intrånget är godtagbar för de olika fallen. SSM bedömer därför sammantaget att SKB har förutsättningar att uppfylla föreskriftskravet.

11.7 Skydd av människors hälsa och miljöskydd

11.7.1 SSMFS 2008:37 5 §

Ett slutförvar för använt kärnbränsle eller kärnavfall ska utformas så att den årliga risken för skadeverkningar efter förslutning blir högst 10^{-6} för en representativ individ i den grupp som utsätts för den största risken.

Denna paragraf syftar till att definiera krav på slutförvarets långsiktiga skyddsförmåga i form av en maximal risk för skadeverkningar för en representativ individ i den mest exponerade gruppen. För utsläpp av radioaktiva ämnen under drifttiden gäller krav enligt strålskyddslagen, strålskyddsförordningen och särskilda föreskrifter.

SKB:s analys för beräkning av årlig effektiv dos utgår från ett antal beräkningsfall som representerar ett huvudscenario, mindre sannolika scenarier och restsценarier. För att utvärdera radiologisk risk för respektive scenario beräknas först en högsta årlig effektiv individdos. Den högsta årliga risken för varje fall erhålls genom multiplikation med sannolikhetskoefficienter i enlighet med Internationella strålskyddskommissionens (ICRP) rekommendationer för omvandling av effektiv stråldos till risk för skadeverkningar. Tidpunkten för maximal radiologisk risk inträffar, enligt SKB:s analys, med några få undantag i tidshorisonten 3000 – 6000 e Kr. Enligt SKB:s redovisning avses huvudscenariot representera förvarets förväntade mest sannolika utveckling, medan mindre sannolika scenarier representerar situationer under vilka någon av förvarets säkerhetsfunktioner inte uppfylls i enlighet med förväntan. De mindre sannolika scenarierna beaktar således osäkerheter som inte hanteras inom ramen för huvudscenariot, och ansätts med sannolikheter lika med eller lägre än 0,1. Restscenarierna tillämpas i säkerhetsanalysen för att ytterligare illustrera förvarets robusthet, men de utgör extrema fall som inte beaktas explicit i riskanalysen. Den totala risken för slutförvaret beräknas genom att summera riskbidraget från huvudscenariot med riskbidraget för var och en av de mindre sannolika scenarierna (SKB, 2015, ekvation 10-3). Sannolikheten för huvudscenariot nedvikts med summan av sannolikheterna för de mindre sannolika scenarierna (utom för brunns-scenarierna som SKB anger inte är ömsesidigt uteslutande med huvudscenariot).

SKB:s redovisning av den maximala risken för skadeverkningar från utsläpp av radioaktiva ämnen från befintligt SFR och den planerade utbyggnaden enligt huvudscenariot i SR-PSU underskrider SSM:s föreskriftskrav på en maximal årlig risk på 10^{-6} . Detta riskbidrag representeras av den maximala risken vid varje tidpunkt för de båda klimatssekvenserna som utvärderas, dels varianten med global uppvärmning dels varianten med tidigt periglacialt klimat. SKB har beaktat osäkerheter i analysen, dels genom att representera osäkra parametrar med sannolikhetsfördelningar, dels genom att definiera och beakta mindre sannolika scenarier som var och en för sig ger upphov till högre omgivningskonsekvenser i jämförelse med huvudscenariot. Osäkerheter hanteras även genom i huvudsak konservativa modellantaganden och parameterintervall. SKB beaktar genom sina scenarioval pessimistiska utvecklingar av olika förhållanden, händelser och processer som påverkar förvarets långsiktiga skyddsförmåga, såsom ett högre grundvattenflöde i berget än förväntat, en accelererad degradering av betongbarriären jämfört med huvudscenariot, liksom ett fall där bentonitbarriärens flödesmotstånd i Silo antas vara sämre än förväntat. Sannolikheten för samtliga dessa beräkningsfall ansätts till $P = 0,1$. Andra osäkerheter

som går utöver vad som beaktas inom ramen för huvudscenariot avser ett radionuklidinventarium i avfallet som är betydligt högre än förväntat ($P = 0,05$), och koncentrationer av komplexbildande ämnen som är högre än förväntat ($P = 0,1$). Även vissa framtida mänskliga handlingar, såsom borring av intrångsbrunnar beaktas som mindre sannolika scenarier.

Enligt redovisningen erhålls högst omgivningskonsekvenser för scenarierna som beaktar framtida mänskliga aktiviteter, i synnerhet intrångsbrunnar. Redovisningen av konsekvenserna av intrång i slutförvaret bedöms mer utförligt i granskningsrapportens avsnitt som rör intrång i förvaret efter förslutning (Del III, kapitel 8).

Vidare har analysen av slutförvarets långsiktiga konsekvenser baserats på sammanvägning av bidrag till slutförvarets skyddsförmåga från samtliga beaktade säkerhetsfunktioner. SSM:s föreskriftskrav avseende riskkriteriet är inte förenat med ett behov att ställa krav på enskilda barriärsfunktioner utan syftar till att tillgodose en tillräcklig kombinerad skyddsförmåga från samtliga barriärsfunktioner. Skyddsförmågan härrör i fallet SFR från SKB:s definierade säkerhetsprinciper *begränsad mängd långlivade radionuklider* och *fördröjning av uttransport av radionuklider*. De utgör grunden för SSM:s bedömning av SKB:s riskanalys.

SSM bedömer att SKB:s analys av slutförvarets risk vid en viss tidpunkt i dess utveckling kan anses vara tillförlitlig för bedömning av den sökta verksamheten gentemot myndighetens författningskrav. Detta gäller i synnerhet beräkningen av maximal dos/risk för tidpunkten ungefär 3000 år efter förslutning. SSM bedömer att SKB på ett godtagbart sätt har definierat ett huvudscenario som syftar till att hantera de mest troliga förändringarna i slutförvaret och dess omgivning. För huvudscenariot utgår SKB från sin beskrivning av förvarets förväntade utveckling medan övriga scenarier har definierats utifrån slutförvarets säkerhetsfunktioner och tänkbara avvikelser från förväntat tillstånd/utveckling. SSM bedömer dock att delar av analyserna inom ramen för de mindre sannolika scenarierna bör integreras i huvudscenariot i kommande analyser av strålsäkerheten efter förslutning. I detta avseende avses i första hand de hur de tekniska barriärerna för den befintliga anläggningen representeras i initialtillståndet. Detta har dock inte påverkat SSM:s möjlighet att bedöma kravuppfyllelsen i övrigt.

SSM anser att SKB:s metod för utvärdering av scenarierna med utgångspunkt från jämförelser av säkerhetsfunktionernas tillstånd med kvalitativa kriterier för s.k. säkerhetsfunktionsindikatorer är godtagbar. De beräkningsfall som ligger till grund för riskanalysen bedöms ge en allsidig beskrivning av olika typer av osäkerheter kopplade till förvarets utveckling efter förslutning. SSM anser även att de restscenarier som ingår i säkerhetsanalysen bidrar till att ytterligare demonstrera förvarets robusthet även om beräkningsfallen inte ingår i riskutvärderingen.

Riskanalysen syftar inte enbart till en bedömning av kravuppfyllelse, utan behöver också värderas och användas för att identifiera, prioritera och vidta ytterligare åtgärder för att minimera slutförvarets risk. SSM konstaterar att SKB:s riskanalys i SR-PSU är baserad på en referensutformning av förvaret vilken behöver vidareutvecklas med nytillkommen information i samband med uppförandefasen.

SSM anser exempelvis att det finns kvarvarande frågeställningar kopplade till genomförbarheten i uppförandet av framför allt förvardsdelen 2BMA. Myndigheten konstaterar dock att beaktade beräkningsfall inom ramen för SR-PSU visar på att betongkonstruktionerna i SFR besitter en förhållandevis stor robusthet. SSM vill dock betona vikten av att

SKB under vidareutveckling och specifikation av produktionskraven beaktar långsiktigt strålsäkerhet och ytterligare optimering av skyddsförmågan.

SSM anser att SKB:s radionuklidtransportberäkningar, biosfärsmodellering samt användning av säkerhetsfunktioner är genomförda på ett i huvudsak godtagbart sätt. I denna bedömning innefattas bland annat hur beskrivningen av bergets transportegenskaper, såsom grundvattenflöde genom närzon och fjärrzon, advektiv gångtid och transportmotstånd, samt grundvattnets kemiska betingelser är hanterade. SSM anser dock att SKB i kommande säkerhetsanalyser bör utveckla en mer realistisk representation av den uppdaterade referensutformningen av 2BMA i radionuklidtransportmodelleringen som tydligare beaktar de föreslagna förändringarna i konstruktionen liksom beaktar fördelningen av avfallets begränsade cementinnehåll på ett mer realistiskt och transparent sätt.

SSM bedömer även att SKB:s analys av retardation av radioaktiva ämnen från förvaret är godtagbar. SKB har hanterat kvarvarande osäkerheter avseende sorption i framför allt betongbarriären med konservativa antaganden genom att etablera osäkerhetsintervall och genom att sänka utvalda sorptionskoefficienter med faktorer som bör kompensera för kvarvarande kunskapsbrister. SSM anser dock att SKB framgent bör bedriva kompletterande experimentell verksamhet för att kvantifiera sorptionsprocesser för främst långlivade radionuklider för vilka frågeställningar kring deras retardationsmekanismer föreligger.

Vissa särskilda frågeställningar uppstår mot bakgrund av att SR-PSU beaktar både en befintlig anläggning i drift och en planerad utbyggnad. SSM konstaterar exempelvis att de befintliga betongkonstruktionerna har ett betydande antal genomgående sprickor, och här avses i första hand 1BMA, i jämförelse med de sprickfria egenskaper hos betongbarriärerna som ansätts i initialtillståndet i SR-PSU. SSM bedömer att SKB:s mindre sannolika scenario med accelererad degradering av betongbarriärerna i SFR i viss utsträckning representerar brister i betongbarriärernas initiala tillstånd (Del III, kapitel 9). Myndigheten anser ändå att osäkerheter kopplade till förutsättningar att uppnå det i säkerhetsanalysen ansatta initialtillståndet för befintliga och tillkommande betongkonstruktioner behöver beaktas inom ramen för ett särskilt beräkningsfall i huvudscenariot. Egenskaper hos betongbarriärer i befintligt skick behöver beaktas i kommande säkerhetsanalyser i SKB:s program.

SSM bedömer sammanfattningsvis att SKB:s riskanalys är ändamålsenlig och beaktar de viktigaste faktorerna för vilka osäkerheter kvarstår. SSM bedömer att analysen visar på att förvaret besitter en rimlig tålighet mot de förhållanden, händelser och processer som förväntas kunna inträffa efter förslutning. SSM konstaterar att marginalerna till SSM:s riskkriterium är förhållandevis små i SKB:s redovisade riskanalys och att osäkerheter oundvikligen föreligger, vilket har diskuterats ovan. SSM anser dock att SKB har förutsättningar att ställa krav på avfall som tillåts deponeras, bl.a. genom att avfall med stort innehåll av långlivade radionuklider, såsom t.ex. Ni-59, antingen kunna styras mot den befintliga förvardsdelen Silo i stället för att deponeras i 2BMA, eller till ett kommande slutförvar för långlivat avfall, SFL. SSM bedömer avslutningsvis att SKB under uppförande och drift av tillkommande delar har förutsättningar att följa upp och åtgärda eventuella brister i barriärfunktioner, såsom i fallet med 1BMA där brister i konstruktionen har identifierats.

Baserat på ovan förda resonemang bedömer SSM att föreskriftskravet har förutsättningar att kunna uppfyllas.

11.7.2 SSMFS 2008:37 6 §

Slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle och kärnavfall ska genomföras så att biologisk mångfald och hållbart nyttjande av biologiska resurser skyddas mot skadlig verkan av joniserande strålning.

För bedömningen med avseende på det övergripande kravet på miljöskydd, uttryckt som att biologisk mångfald och hållbart nyttjande av biologiska resurser ska skyddas, är den centrala frågeställningen ifall SKB:s övergripande metodik och utvärderingskriterier är ändamålsenliga för att verifiera kravuppfyllnad, samt om SKB:s tillämpning av dessa är genomförd på ett sådant sätt att slutsatsen från utvärderingen kan anses vara korrekt och tillräckligt väl underbyggd.

SSM:s allmänna råd pekar ut ICRP:s generella vägledning inom området som en möjlig utgångspunkt för bedömning av miljöskydd. I korthet innebär denna vägledning att exponering uppskattas för ett antal referensdjur och -växter samt för några för området representativa arter. Denna exponering jämförs sedan med ett intervall av exponeringsnivåer framtagna av ICRP för varje referensdjur och -växt. Om exponeringen understiger det lägre värdet i respektive intervall för samtliga referensdjur och -växter och representativa arter så kan slutsatsen dras att risken för negativa effekter på populationsnivå är mycket liten.

SKB har tillämpat metodiken ERICA ”integrated approach” genom att implementera ERICA-dosverktygets beräkningsekvationer i modellverktyget ECOLEGO. ERICA-metodiken är konsekvent med den ovan beskrivna vägledningen från ICRP och är dessutom etablerad i internationellt arbete. SSM bedömer att de dosberäkningsmodeller som utgår från aktivitetskoncentrationer i vatten, sediment, jord och luft och som är integrerade i ERICA-dosverktyget kan anses vara väl underbyggda. SSM bedömer att SKB:s metodik och utvärderingskriterier är ändamålsenliga. SSM bedömer också att de platsspecifika parametrar som SKB har använt i sina beräkningar, såsom Kd-värden och överföringsfaktorer mellan miljön och olika organismer, s.k. CR-värden, är tillförlitliga.

Eftersom den beräknade exponeringen av olika typer av organismer är till stora delar konservativ och underskrider ICRP:s intervall av exponeringsnivåer bedömer SSM att SKB:s redovisning är ändamålsenlig och att det finns förutsättningar för att den planerade utbyggnaden av befintliga SFR har förutsättningar att uppfylla föreskriftskravet.

11.7.3 SSMFS 2008:37 7 §

Biologiska effekter av joniserande strålning i berörda livsmiljöer och ekosystem ska redovisas. Redovisningen ska bygga på tillgänglig kunskap om berörda ekosystem och ta särskild hänsyn till förekomst av genetiskt särpräglade populationer, såsom isolerade populationer, endemiska arter och utrotningshotade arter samt i övrigt skyddsvärda organismer.

Rörande redovisningen av biologiska effekter finns ett krav i SSM:s föreskrifter som beaktar detta. Ytterligare vägledning till vad en sådan redovisning bör omfatta finns i de allmänna råden till föreskriften. Där framgår att koncentrationer av radioaktiva ämnen i jord, sediment och vatten bör redovisas, samt att dagens biosfärsförhållanden bör användas även för miljömässiga konsekvenser i ett långtidsperspektiv. För antagna klimat i säkerhetsanalysen där dagens biosfärsförhållanden är uppenbart orimliga är det tillräckligt att göra en översiktlig analys. De allmänna råden förtydligar också aspekter av

skyddsvärde i form av ekonomiska värden kopplade till exempelvis jakt och fiske, naturvårdsmässiga värden av exempelvis skyddade arter samt kulturhistoriska värden som behöver beaktas vid val av vilka representativa arter som ska ingå i redovisningen.

I redovisningen av risker från joniserande strålning för djur och växter förknippade med det området som omger det befintliga SFR med planerad utbyggnad redovisar SKB beräknade maximala doser från vatten, sediment och jord. Beräkningar av dessa doser till djur och växter har till stor del baserats på platsspecifik kunskap om de aktuella ekosystemen. Vidare har SKB beaktat tre kriterier för att välja ut representativa arter; biologisk betydelse för ekosystemen (nyckelarter, ekologiska funktioner), hotade och genetiskt särpräglade populationer, samt ekonomiskt och kulturellt viktiga arter. För att komplettera den utvärdering som har gjorts avseende dagens biosfärsförhållande har SKB genomfört en mer översiktlig analys av varmare klimatförhållanden respektive periglaciala klimatförhållanden samt kombinationer av dessa förhållanden och vid händelse av en jordbävning.

Mot bakgrund av detta bedömer SSM att SKB:s redovisning har förutsättningar att uppfylla föreskriftskravet.

11.8 Tidsperioder i säkerhetsanalysen

11.8.1 SSMFS 2008:21 10 §

En säkerhetsanalys ska omfatta så lång tid som barriärfunktioner behövs, dock minst tiotusen år.

SSM anser att SKB:s säkerhetsanalys SR-PSU omfattar de tidsskalor som är nödvändiga för bedömning av slutförvarets långsiktiga strålsäkerhet. Analysperioden i SR-PSU sträcker sig över 100 000 år, vilket är detsamma som i föregående säkerhetsredovisning för befintliga SFR, SAR-08 (SKB R-08-130). Denna tidsskala bedöms vara lämplig med beaktande av tidsskalan som motsvarar avklingningen av de viktigaste radioaktiva ämnena i avfallet. Analysperioden bedöms även inrymma de möjliga externa förändringar som kan ha betydande påverkan på förvarets säkerhetsfunktioner och skyddsförmåga.

SSM anser att detta föreskriftskrav har förutsättningar att uppfyllas. Ytterligare bedömningar av betydelsen av olika tidsskalor i säkerhetsanalyser och riskanalyser finns i SSM:s bedömning av förutsättningar för att uppfylla kraven i SSMFS 2008:37 10 § (se nedan).

11.8.2 SSMFS 2008:37 10 §

En bedömning av ett slutförvars skyddsförmåga ska redovisas för två tidsperioder av sådana storleksordningar som framgår av 11 -12 §§. Redovisningen ska innefatta ett fall, som utgår ifrån att de biosfärsförhållanden som råder vid tiden för ansökan om tillstånd för uppförande av slutförvaret inte förändras. Osäkerheter i gjorda antaganden ska redovisas och tas hänsyn till i bedömningen av skyddsförmågan.

SSM konstaterar att SKB i SR-PSU har redovisat en bedömning av slutförvarets skyddsförmåga för de två tidsperioder som avses i 11 -12 §§ SSMFS 2008:37, nämligen de första 1000 åren respektive tiden efter de första 1000 åren efter förslutning. SSM konstaterar att denna hantering följer de allmänna råden till SSM:s föreskrifter (SSMFS 2008:37 10 §)

som anger att en riskanalys bör omfatta tiden fram till dess att de förväntade maximala konsekvenserna avseende risk och miljöpåverkan har inträffat, dock som längst till 100 000 år, vilket också är den analysperiod som beaktas i SR-PSU.

SSM konstaterar att SKB:s redovisning i SR-PSU innefattar fall som utgår från dagens biosfärsförhållanden. Vidare bedömer SSM att SKB på ett godtagbart sätt har redovisat osäkerheterna i de gjorda antaganden som har betydelse för bedömningen av slutförvarets skyddsförmåga. SSM anser därför att SKB har förutsättningar att uppfylla detta föreskriftskrav.

11.8.3 SSMFS 2008:37 11 §

De första tusen åren efter förslutning av ett slutförvar

För de första tusen åren efter förslutning ska bedömningen av slutförvarets skyddsförmåga baseras på kvantitativa analyser av effekterna på människors hälsa och miljön.

SSM anser att SKB:s redovisning i SR-PSU innefattar en bedömning av slutförvarets skyddsförmåga baserat på kvantitativa analyser av effekterna på människors hälsa och miljön för de första 1000 åren efter förslutning. SKB har beaktat processer som är viktiga för slutförvarets inledande utveckling såsom till exempel förbrukning av kvarvarande syre, korrosion av metaller, vissa cementomvandlingsprocesser samt vattenmättnad av betongkonstruktioner och bentonitmaterial i Silo. SSM anser dock att det finns vissa kvarstående frågeställningar kopplade till vattenmättnaden och den termiska kontraktionen av betongkonstruktionerna. Osäkerheter kopplade till det initialtillstånd som ansätts i SR-PSU har inte i tillräcklig utsträckning baserats på den befintliga anläggningens verkliga tillstånd.

Under de första 1000 åren förväntas förvaret befinna sig under havet vilket gör att de hydrogeologiska förutsättningarna är fördelaktiga med låga grundvattenflöden vilket innebär att ett mycket litet utsläpp av radioaktiva ämnen är att förvänta. Radionuklidtransport från förvaret ger inte upphov till betydande dos/risk förrän strandlinjeförskjutningen har medfört att förvaret befinner sig under land. Detta redovisas i SR-PSU genom beräkningsfallet gällande tidpunkten för utsläpp, vilket bedöms på ett godtagbart sätt redogöra för doskonsekvenser den inledande 1000-årsperioden. SSM bedömer baserat på redovisningen i SR-PSU att SKB har förutsättningar för att uppfylla föreskriftskravet med avseende på kvantitativa analyser för de första tusen åren efter förslutning av slutförvaret.

11.8.4 SSMFS 2008:37 12 §

Tiden efter tusen år efter förslutning av ett slutförvar

För tiden efter tusen år efter förslutning ska bedömningen av slutförvarets skyddsförmåga baseras på olika tänkbara förlopp för utvecklingen av slutförvarets egenskaper, dess omgivning och biosfären.

SSM anser att SKB har redovisat en godtagbar analys och bedömning av slutförvarets skyddsförmåga för tiden efter 1000 år i SR-PSU. SKB definierar och analyserar en referensutveckling som ger en grundläggande förståelse för en förväntad utveckling av förvarssystemet, dess omgivning och biosfären under en period på 100 000 år. Baserat på

referensutvecklingen och slutförvarets säkerhetsfunktioner har SKB definierat ett antal scenarier som illustrerar tänkbara förlopp för slutförvarets långsiktiga utveckling. Dessa scenarier ligger till grund för en kvantitativ riskanalys. SKB:s riskanalys innefattar två klimatfall som beaktar tempererade förhållanden, som följd av global uppvärmning, respektive tidiga periglaciala förhållanden. Utöver dessa klimatfall, vilka är utgångspunkt för utvärderingen av skyddsförmågan i säkerhetsanalysens huvudscenario beaktar SKB i risksummeringen ytterligare ett antal scenarier som grundar sig på ett antal alternativa händelseförlopp, däribland sämre än förväntade förutsättningar för förvarets säkerhetsfunktioner.

Effekten av glaciala och postglaciala förhållanden beaktas inom ramen för ett restscenario som inte har inkluderats i risksummeringen. De maximala omgivningskonsekvenserna för SFR förväntas uppstå efter en tidsperiod inom de närmsta tusentals åren efter att förvaret inte längre täcks av havet. SSM anser dock att SKB ur ett fullständighetsperspektiv bör beakta dessa aspekter inom ramen för riskutvärderingen i SKB:s kommande säkerhetsredovisningar. SSM anser att en bedömning av slutförvarets skyddsförmåga efter 1000 år kan göras baserat på SKB:s angreppssätt och tidsskalor i SR-PSU för redovisning av olika tänkbara förlopp för utvecklingen av slutförvarets egenskaper, dess omgivning och biosfären. SSM bedömer således att SKB har förutsättningar att uppfylla föreskriftskravet.

11.9 Säkerhetsanalys och hantering av osäkerheter

11.9.1 SSMFS 2008:21 9 §

Utöver bestämmelserna i 4 kap. 1 § Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter (SSMFS 2008:1) om säkerhet i kärntekniska anläggningar gäller att säkerhetsanalyserna även ska omfatta förhållanden, händelser och processer vilka kan leda till spridning av radioaktiva ämnen efter förslutning och att sådana analyser ska göras innan slutförvaret uppförs, innan det tas i drift och innan det försluts.

SKB:s säkerhetsanalys har baserats på en sammanställning av egenskaper, händelser och processer, s.k. FEP ("Features, Events, Processes"), som kan påverka slutförvarets långsiktiga strålsäkerhet och som direkt eller indirekt kan leda till spridning av radioaktiva ämnen. Den förväntade utvecklingen av slutförvarsmiljön och dess omgivning, biosfären samt slutförvarets barriärer finns beskrivna och analyserade i den av SKB benämnda referensutvecklingen. Referensutvecklingen utgör en grund för analys och definition av SKB:s huvudscenario. SKB har också definierat säkerhetsfunktioner och tillhörande säkerhetsfunktionsindikatorer vilka beskriver slutförvaret, dess funktion och komponenter. Om säkerhetsfunktionerna uppfylls, vilket analyseras med hjälp av nämnda säkerhetsfunktionsindikatorer, säkerställs tillförlitlighet hos en viss aspekt av slutförvarets skyddsförmåga. Möjliga situationer i vilka dessa säkerhetsfunktioner upphör att fungera som avsett har utgjort en grund för urval av ett antal mindre sannolika scenarier och restscenarier som beskrivs nedan. För avfallet och säkerhetsprincipen begränsat inventarium antas ett mindre sannolikt scenario med ett högre inventarium än förväntat. Även ett scenario som beaktar en större mängd komplexbildande ämnen i avfallet än vad som kan förväntas har tagits med. För berget beaktas ett fall där flödet i berggrunden antas vara högre. För att belysa robustheten mot förändringar i flöde genom förvaret tillämpas dels ett fall där bentoniten i Silo antas degradera och utgöra ett sämre flödesmotstånd än förväntat, dels ett fall där betongbarriärerna antas genomgå ett accelererat degraderingsförlopp vilket medför ett försämrat flödesmotstånd. Även fall som beaktar brunnsborrning i anslutning till eller direkt in i förvarsutrymmena har analyserats. SSM anser att ett väl

avvägt urval av mindre sannolika scenarier och restsценarier, som tillsammans med huvudsценariot, ger en allsidig belysning av identifierade osäkerheter kopplade till utvecklingen av yttre betingelser och inre processer i försvarsmiljön.

SSM bedömer att SKB har tillämpat de tre scenariokategorierna huvudsценario, mindre sannolika scenarier och restsценarier huvudsakligen i enlighet med SSM:s allmänna råd (AR till 9 § och bilaga, SSMFS 2008:21). SSM konstaterar också att SKB på ett godtagbart sätt har motiverat såväl sannolika händelser och processer som har inkluderats i huvudsценariot, som händelser och processer som har bedömts vara mindre sannolika och följaktligen har behandlats inom kategorin mindre sannolika scenarier. Händelser och processer som bedöms vara hypotetiska har representerats och illustrerats i de så kallade restsценarierna.

Ett undantag gäller SKB:s hantering av en klimatutveckling som baseras på en upprepning av den förra glaciationscykeln (Weichsel). Även om en sådan upprepning kan bedömas som osannolik, bör den inte, som SKB gör, utvärderas som ett restsценario eftersom den då inte ingår i risksummeringen. SSM bedömer därför att till alla klimatutvecklingar bör en sannolikhet ansättas. Om SKB bedömer att en klimatutveckling är mindre sannolik att inträffa men att det inte är möjligt att ta fram ett numeriskt värde till sannolikheten bör en sannolikhet på 1 ansättas. Ett sådant tillvägagångssätt har SKB tillämpat vid SAR-08 gällande scenariot *tidig frysning av förvaret* (SKB R-08-130, avsnitt 10.3.2). I granskningen konstaterar dock SSM att detta inte skulle bidra till en ökning i den beräknade risken från förvaret.

Ett annat undantag gäller SKB:s antagande i initialtillståndet för huvudsценariot att betongbarriärerna i samtliga försvarsdelar utgörs av i princip intakt betong. Det föreligger dock skillnader mellan betongkonstruktionernas befintliga skick, och här avses i första hand 1BMA, och de egenskaper hos betongbarriärerna som ansätts i initialtillståndet i SR-PSU. SSM anser därför att osäkerheter kopplade till genomförbarheten att uppnå det i säkerhetsanalysen ansatta initialtillståndet för betongkonstruktionerna bör beaktas inom ramen för huvudsценariot. De egenskaper som kan tillskrivas betongen i befintligt skick behöver beaktas inom ramen för detta scenario.

Inom driftstillsynen av befintliga SFR har SSM förelagt (SSM2015-2432-26) SKB att redovisa långsiktiga strålsäkerhetskONSEKVENSER av befintligt tillstånd på 1BMA om försvarsdelen inte fullt ut kan åtgärdas, eller repareras med verifierbara metoder. SSM har mot bakgrund av denna ytterligare information (SKB dokID 1686798) inte krävt någon komplettering i denna fråga i samband med tillståndsprövningen. Ärendet beaktas i enlighet med myndighetens förhållningssätt, se Del I avsnitt 2.2, till befintliga förelägganden inom ramen för driftstillsyn. SSM bedömer att de processer som ligger till grund för befintlig sprickstatus i 1BMA har beaktats i konceptualiseringen och designen av den planerade utbyggnaden, och i första hand den till 1BMA analoga planerade försvarsdelen 2BMA, och kan antingen bortses från, och då åsyftas i första hand korrosion av armering under driftfasen, eller kan krävas och verifieras i samband med uppförandet.

SSM anser att SKB:s FEP-beskrivningar, utformning av referensutvecklingen och definition av säkerhetsfunktioner för slutförvaret och enskilda barriärer har gjorts på ett i huvudsak korrekt sätt och i enlighet med SSM:s föreskriftskrav. SSM anser dock att SKB bör beakta myndighetens synpunkter rörande SKB:s tillämpning av kvalitativa kriterier för säkerhetsfunktionsindikatorer (kapitel 9 i denna granskningsrapport).

SSM bedömer att SKB:s konsekvensanalys som är baserad på uppsättningen beräkningsfall som beskrivs ovan ger ett godtagbart underlag för bedömningen av förhållanden, händelser och processer i perspektivet långsiktiga omgivningskonsekvenser. Redovisningen visar på att förvaret i de flesta fall uppvisar en förhållandevis hög tålighet mot de beaktade händelserna och processerna.

Av SKB:s redovisade beräkningsfall är det i synnerhet scenarierna med intrångsbrunnar och ej förslutet förvar som bedöms ge betydande omgivningskonsekvenser. SKB:s hantering av dessa frågor bedöms utförligt i Del III, kapitel 8 om framtida mänskliga handlingar. SSM bedömer att SKB:s scenarioformulering för dessa fall är godtagbara och att SKB:s uppskattning av scenariernas doskonsekvenser är rimliga. Resultaten pekar på den stora betydelsen av att slutligt försluta slutförvaret i perspektivet långsiktig strålsäkerhet.

SSM bedömer sammanfattningsvis att SKB har förutsättningar att uppfylla föreskriftskravet.

11.9.2 SSMFS 2008:21 11 §

Säkerhetsredovisningen för ett slutförvar ska, utöver vad som framgår av bestämmelserna i 4 kap. 2 § Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter (SSMFS 2008:1) om säkerhet i kärntekniska anläggningar innehålla den information som framgår av bilaga 1 till dessa föreskrifter och som avser tiden efter förslutning.

Innan slutförvaret försluts ska den slutliga säkerhetsredovisningen förnyas och säkerhetsgranskas i enlighet med 4 kap 3 § Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter (SSMFS 2008:1) om säkerhet i kärntekniska anläggningar samt vara prövad och godkänd av Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSM anser att säkerhetsanalysen behöver baseras på lämpliga och tydligt redovisade metoder för att uppnå tilltro till resultaten och för att innebörden av dessa ska kunna värderas på ett tillförlitligt sätt.

SKB:s säkerhetsanalys har baserats på en metodik som utgörs av tio steg: 1) hantering av händelser, processer och egenskaper (FEP), 2) beskrivning av det initiala tillståndet, 3) beskrivning av externa förhållanden, 4) beskrivning av interna processer, 5) definition av säkerhetsfunktioner, 6) sammanställning av indata till säkerhetsanalysen, 7) analys av slutförvarets referensutveckling, 8) val av scenarier, 9) analys av valda scenarier, 10) slutsatser. Enligt SSM:s bedömning innefattar denna metodik de nödvändiga momenten för genomförande och utvärdering av säkerhetsanalysen. Därför bedöms SKB ha förutsättningar att uppfylla föreskriftskravet.

Det andra stycket i föreskriftskravet blir först tillämpligt inför förslutning av slutförvarsanläggningen och är därmed inte föremål för bedömning i innevarande prövningssteg.

11.9.3 SSMFS 2008:21 11 § bilaga 1 första stycket

Följande ska redovisas beträffande analysmetoder:

- hur en eller flera metoder använts för att beskriva det passiva systemet av barriärer i slutförvaret, dess funktion och utveckling med tiden; metoden eller metoderna ska bidra

till att ge en klar bild av de förhållanden, händelser och processer som kan påverka barriärernas funktioner samt de inbördes kopplingarna mellan dessa förhållanden, händelser och processer,

SSM bedömer att SKB har tagit fram en godtagbar metod för beskrivning av barriär-systemet. SSM konstaterar att detaljeringsnivån i beskrivningen av barriärssystemet som väntat skiljer sig för de försvarsdelar som ingår i befintliga SFR och de delar som planeras för utbyggnaden. För den planerade utbyggnaden utgår beskrivningen från en referensutformning medan den för befintliga SFR utgår från befintliga konstruktioner även SSM har synpunkter på hur initialtillståndet beskrivs givet befintliga försvarsdelars status. SKB:s planerade utformning och uppförande av tillkommande försvarsdelar har beskrivits på en detaljeringsnivå som SSM anser vara rimlig givet befintligt skede av tillståndsprovningen.

En hög detaljeringsnivå skulle fordras för att adressera samtliga behov av ytterligare underlag som SSM har identifierat avseende genomförbarheten i uppförandet av tillkommande försvarsdelar. SSM anser det inte vara rimligt att ta fram ett sådant underlag i detta skede av provningsprocessen. Det nuvarande underlaget för tillkommande försvarsdelar, som är baserat på referensutformningar, behöver justeras och vidareutvecklas inför uppförandet. SSM vill dock betona vikten av att SKB under vidareutveckling och specifikation av produktionskraven beaktar långsiktigt strålsäkerhet och ytterligare optimering av skyddsförmågan. SSM anser vidare att SKB i kommande säkerhetsanalyser behöver utveckla en mer realistisk representation av uppdaterade referensutformningar, i synnerhet 2BMA, som i radionuklidtransportmodelleringen tydligare beaktar fördelningen av avfallets begränsade cementinnehåll på ett mer realistiskt och transparent sätt. Myndigheten anser dock att beaktade beräkningsfall inom ramen för SR-PSU trots detta visar på att betongkonstruktionerna i SFR besitter en förhållandevis hög grad av robusthet. SSM konstaterar sammanfattningsvis att SKB bör sträva efter att tydligare definiera produktionskrav som dels är verifierbara i samband med uppförande, dels är tydligare förankrade i aktuell säkerhetsanalys.

SSM anser även att SKB:s metoder att beskriva barriärssystemets utveckling i tiden och de förhållanden, händelser och processer som påverkar barriärssystemets funktioner samt deras inbördes kopplingar, är godtagbara.

SKB redogör för säkerhetsfunktioner i steg 5 i sin säkerhetsanalysmetodik. SKB utgår från de två säkerhetsprinciperna *begränsad mängd långlivade radionuklider* och *fördröjning av uttransport av radionuklider*. Den första säkerhetsprincipen utgör en utgångspunkt för definition av erforderlig skyddsförmåga för slutförvaret. Den andra säkerhetsprincipen avser tre säkerhetsfunktioner, *lågt vattenflöde*, *god retention* samt *undvika brunnar i förvarets direkta närhet*. Varje säkerhetsfunktion kopplas sedan till en eller flera säkerhetsfunktionsindikatorer som ska visa om säkerhetsfunktionen är uppfylld eller inte. SKB utvärderar statusen för säkerhetsfunktionsindikatorerna för relevanta tidsperioder i slutförvarets långsiktiga utveckling, vilket kommenteras utförligare i avsnittet Säkerhetsanalys ovan.

Sammanfattningsvis bedöms SKB ha förutsättningar att uppfylla föreskriftskravet.

Detaljerade synpunkter, i synnerhet kring tillämpningen av metodiken för definitionen av säkerhetsfunktioner, återfinns i Del III, kapitel 2 och 9 i granskningsrapporten

11.9.4 SSMFS 2008:21 11 § bilaga 1 andra stycket

Följande ska redovisas beträffande analysmetoder:

- hur en eller flera metoder använts för att identifiera och beskriva relevanta scenarier för händelseförlopp och förhållanden som kan påverka den framtida utvecklingen av slutförvaret; bland scenarierna ska finnas ett huvudscenario som tar hänsyn till de mest troliga förändringarna i slutförvaret och dess omgivning,

SSM bedömer att SKB har beskrivit metoden för att välja ut, definiera och analysera och scenarierna i SR-PSU på ett godtagbart sätt. SSM konstaterar att SKB på ett lämpligt sätt har definierat ett huvudscenario som syftar till att hantera de mest troliga förändringarna i slutförvaret och dess omgivning. För huvudscenariot utgår SKB från referensutvecklingen medan övriga scenarier har definierats utifrån slutförvarets säkerhetsfunktioner och tänkbara avvikelser från önskvärt tillstånd. SSM anser även att SKB:s metod för utvärdering av scenarierna med utgångspunkt från jämförelser av säkerhetsfunktionernas tillstånd med kvalitativa kriterier för säkerhetsfunktionsindikatorerna kan accepteras. Myndigheten anser dock att en tydligare och mera spårbar analys uppnås genom användning av kvantitativa kriterier för utvärdering av säkerhetsfunktioner. Även om det inte finns skarpa gränser för säkerhetsfunktionernas uppfyllelse ger en sådan metod en tydligare avgränsning mellan huvudscenariot och de mindre sannolika scenarierna. De sannolikheter som ansätts för mindre sannolika scenarier bedöms ha motiverats och använts på ett rimligt sätt för deras tillämpning inom risksummeringen. Sammanfattningsvis bedöms SKB ha förutsättningar att uppfylla föreskriftskravet.

Mer detaljerade bedömningar avseende SKB:s val av scenarier görs i Del III, kapitel 9. Detaljerade bedömningar och synpunkter, i synnerhet kring tillämpningen av metodiken för val av scenarier, klassificering av scenarier i huvudscenariot, mindre sannolika scenarier samt restscenarier återfinns i Del III, kapitel 2 (Säkerhetsanalysmetodik) och 9 (Scenarier). SSM:s utförligare bedömningar om risksummeringen återfinns i Del III, kapitel 10 i denna granskningsrapport.

11.9.5 SSMFS 2008:21 11 § bilaga 1 tredje stycket

Följande ska redovisas beträffande analysmetoder:

- tillämpbarheten hos använda modeller, parametervärden och andra förutsättningar som används för beskrivning och beräkning av slutförvarets funktioner så långt det rimligen är möjligt,

SSM bedömer att SKB i SR-PSU och underliggande dokumentation har lagt rimligt stor vikt vid att beskriva och utvärdera de modeller som har använts i säkerhetsanalysen. SSM anser att SKB på ett godtagbart sätt har värderat deras tillämpbarhet och begränsningar. Kvalitetssäkring har tillämpats i en omfattning som i huvudsak bedömts vara rimlig. Dock anser SSM att en förbättrad dokumentation av närzonsmodellerna och deras kvalitets-säkring/kvalitetsgranskning kommer att krävas inför kommande säkerhetsredovisning inför uppförandet av tillkommande förvarsdelar. SKB har redogjort för parametervärden som har använts i beräkningarna och har värderat dem utifrån deras betydelse och tillämpning i säkerhetsanalysen. SSM konstaterar att modellrapporten och datarapporten bidrar till ett strukturerat och konsekvent förhållningssätt till modeller och data för de vetenskapliga och tekniska områden som ingår i säkerhetsanalysen.

SSM:s föreskrifter ställer höga krav på att redovisning av modeller, parametervärden och andra förutsättningar, ska möjliggöra en bedömning av säkerhetsanalysresultatets tillförlitlighet. SSM anser att SKB behöver beakta de synpunkter som SSM för fram avseende redovisning av modellering kommande steg i SKB:s program.

Bedömningar kring tillämpningen av metodiken för val och tillämpning av parametervärden och modeller återfinns i kapitel 2 i denna granskningsrapport. Bedömningar avseende val av parametervärden görs löpande i granskningsrapporten inom ramen för avsedda tillämpningsområden. Sammanfattningsvis bedöms SKB ha förutsättningar att uppfylla föreskriftskravet.

11.9.6 SSMFS 2008:21 11 § bilaga 1 fjärde stycket

Följande ska redovisas beträffande analysmetoder:

- hur osäkerheter i beskrivningen av barriärsystemets funktioner, scenarier, beräkningsmodeller och beräkningsparametrar samt variationer i barriärernas egenskaper hanterats i säkerhetsanalysen, inklusive redovisning av en känslighetsanalys som visar hur osäkerheterna inverkar på beskrivningen av barriärernas utveckling och analysen av konsekvenserna för människors hälsa och för miljön.

SSM anser att en viktig del av säkerhetsanalysmetodiken innefattar beskrivning och hantering av osäkerheter. SKB:s klassificering av osäkerheter innefattar fullständighet i identifiering av förhållanden, händelser och processer (FEP), val av scenarier, samt identifiering och hantering av konceptuella osäkerheter, modellosäkerheter liksom osäkerheter i indata för beräkningar av radionuklidtransport. SSM bedömer att denna klassificering inbegriper systemosäkerhet och scenarioosäkerhet, osäkerhet med avseende på konceptuella modeller liksom parameterosäkerheter och rumslig variabilitet, i enlighet med SSM:s allmänna råd. SKB har på ett övergripande sätt beskrivit hur dessa typer av osäkerheter har hanterats inom säkerhetsanalysen.

SKB har enligt SSM:s bedömning på ett acceptabelt sätt beskrivit metoder för de känslighetsanalyser som har genomförts i samband med konsekvensanalysberäkningarna. SSM konstaterar att hanteringen av osäkerheter till viss del genomsyrar hela säkerhetsanalysen SR-PSU, men att användningen av känslighetsanalyser har i huvudsak fokuserats på radionuklidtransportberäkningar. I dessa beräkningar ingår fall som utvärderar osäkerheter avseende beskrivning av barriärernas långsiktiga utveckling. SSM bedömer, mot bakgrund av denna information, att SKB:s redovisning av osäkerheter inklusive analys av osäkerheter med känslighetsanalyser är ändamålsenlig. Således bedöms SKB ha förutsättningar att uppfylla föreskriftskravet.

Detaljerade bedömningar och synpunkter, i synnerhet kring hantering av osäkerheter i alla aspekter av säkerhetsanalysen, liksom bedömning av säkerhetsanalysmetodiken, återfinns i kapitel 2 i denna del av granskningsrapporten.

11.9.7 SSMFS 2008:21 11 § bilaga 1 femte stycket

Följande ska redovisas beträffande analys av betingelserna efter förslutning:

- säkerhetsanalysen enligt 9 § omfattande beskrivningar av utvecklingen i biosfär, geosfär och slutförvar för utvalda scenarier; slutförvarets omgivningspåverkan för valda



scenarier, inklusive huvudscenariot, med hänsyn till felfunktioner hos tekniska barriärer och övriga identifierade osäkerheter.

SSM anser att SKB har tagit fram en säkerhetsredovisning som omfattar en utförlig analys av betingelser efter förslutning av slutförvaret. Analysen omfattar beskrivningar av utvecklingen i biosfär, geosfär och slutförvar för utvalda scenarier. Därutöver redovisar SKB slutförvarets omgivningspåverkan för de valda scenarierna med hänsyn till felfunktioner och brister hos tekniska barriärer, processer som påverkar bergets barriärfunktioner och även andra identifierade osäkerheter. SSM har granskat analysen av strålsäkerheten efter förslutning och resultaten från denna granskning återfinns i del III i denna granskningsrapport. SSM bedömer att SKB har förutsättningar att uppfylla föreskriftskravet.

Del IV Miljöbalkens krav, optimering och bästa möjliga teknik

1 Allmänna hänsynsregler

1.1 Inledning

Bestämmelserna i 2 kap. miljöbalken, de så kallade allmänna hänsynsreglerna, ska tillämpas i samband med tillståndsprövning samt iakttas under tiden då en verksamhet bedrivs. Det innebär att den som söker tillstånd eller bedriver en verksamhet är skyldig att visa hur dessa regler uppfylls.

Enligt 5b § kärntekniklagen ska miljöbalkens 2 kapitel tillämpas vid prövning av ärenden enligt kärntekniklagen. Till viss del motsvaras de allmänna hänsynsreglerna av bestämmelser i strålskyddslagen och kärntekniklagen samt tillhörande föreskriftskrav. Hänsynsreglerna är rättsligt bindande och långtgående. Reglerna ska tillämpas så att det samlat blir bäst lösning (Prop. 1997/98:45 del 1 s 216 f, 229, del 2 s 16 f, 20). Krav på hänsyn ska iakttas i den utsträckning det inte kan anses orimligt (2 kap. 7 § miljöbalken). Vid denna skälighetsvärdering ska särskild hänsyn tas till nyttan för hälsa och miljö av skyddsåtgärder och andra försiktighetsmått jämfört med kostnaderna för att vidta dessa. Det ligger på den sökande att bevisa att kostnaderna inte är miljömässigt motiverade eller orimligt betungande.

1.2 Grundläggande strålskyddsprinciper och de allmänna hänsynsreglerna

De krav som samhället sammantaget ställer på en verksamhetsutövare som SKB kan i vissa fall vara motstridiga och föranleda att avvägningar mellan olika åtgärder behöver göras. Att sammantaget beakta samtliga krav som ställs innebär sålunda att avvägningar mellan olika aspekter kan behöva göras.

Att detta utgör en utgångspunkt även inom strålskyddsområdet framgår genom kravet på optimering, vilken utgör en av hörnstenarna inom strålskyddet. Detta krav innebär, tillsammans med kravet på uppfyllelse av fastlagda stråldosbegränsningar, att en verksamhetsutövare dels ska bedriva sin verksamhet så stråldoserna varken till personal eller till allmänhet kan förväntas överskrida angivna nivåer, dels ska vidta åtgärder för att så långt som rimligen möjligt begränsar dessa stråldoser, liksom antalet exponerade individer samt sannolikheten för exponeringar. I rimlighetsavvägningen ska såväl ekonomiska som samhälleliga faktorer beaktas. Med beaktande av ofrånkomliga osäkerheter kopplade till bedömningen av stråldoser i samband med slutförvaring av radioaktivt avfall för långa tider in i framtiden gäller att principen om bästa möjliga teknik ska beaktas parallellt med optimeringsprincipen (SSMFS 2008:37). Tillämpning av BMT fokuserar mer på den robusta funktionen hos barriärerna i ett slutförvar med syfte att så långt som rimligen möjligt kvarhålla, begränsa eller försena utsläpp av radioaktiva ämnen. Såväl optimeringsprincipen som bästa möjliga teknik syftar till den valda platsen, den valda utformningen liksom de delar av driften av ett slutförvar som kan påverka strålsäkerheten. Även de krav

på barriärssystemet som ställs i SSMFS 2008:21 kan värderas på liknande sätt. Sammantaget omfattar dessa krav flera av de allmänna hänsynsregler som anges i 2 kap. miljöbalken, t.ex. kraven enligt 3 § (försiktighetsprincipen och bästa möjliga teknik), 5 § (lokaliseringsprincipen) samt 7 § (skälighetsavvägningen). I SSM:s granskning av uppfyllelsen av de allmänna hänsynsreglerna har myndighetens föreskriftskrav i hög grad varit vägledande vid bedömning av kravuppfyllelsen.

Remissinstansers synpunkter

Östhammars kommun

Remissinstansen anför följande (SSM2015-1640-33): ”Riskkriteriet är en av flera delar att ta hänsyn till i säkerhetsanalysen. Östhammars kommun kan se en risk i att man, vid användning av alltför grova och förenklade modeller, till exempel 1D istället för 3D-modeller för permafrost, hamnar fel i optimeringen av anläggningen. En allt för stor fokusering på uppfyllning av riskkriteriet kan leda till att andra områden får stå tillbaka och att anläggningen därför inte beskrivs på ett trovärdigt sätt vilket minskar förtroendet för anläggningen totalt sett.”

SSM:s beaktande av remissinstansers synpunkter

De krav som SSM har ställt på slutförvar för radioaktivt avfall innebär krav på sökanden att dels ta fram en analys som syftar till att utvärdera strålsäkerheten mot det fastlagda riskkriteriet, dels utvärdera möjligheter att förbättra strålsäkerheten i enlighet med kraven på optimering och tillämpning av bästa möjliga teknik (BMT). I synnerhet kravet på BMT, liksom övriga tilläggskrav i SSM:s föreskrifter som rör konstruktion och utformning, tar fasta på de ofrånkomliga osäkerheter det alltid finns i fråga om slutförvaring över mycket långa tidsrymder och syftar på så sätt att komplettera den mer komplexa riskanalysen. Enligt SSM skänker sådana mer grundläggande/förenklade resonemang tilltro till utvärderingen.

1.3 SKB:s underlag

SKB redovisar och motiverar hur man anser sig uppfylla de allmänna hänsynsreglerna i toppdokumentet till respektive tillståndsansökan, dvs *Ansökan om tillstånd enligt lagen om kärnteknisk verksamhet* (SKB dokID 1359931) respektive *Ansökan om tillstånd enligt miljöbalken till nuvarande och framtida verksamhet vid SFR i Forsmark, Östhammars kommun* (SKB dokID 1359930). Även om redovisningarna av kravuppfyllelse till stora delar är likalydande, finns dock vissa skillnader. Nedanstående sammanfattning utgår från SKB:s redovisning i miljöbalksansökan och görs med utgångspunkt från frågeställningar av betydelse för strålsäkerheten.

Remissinstansers synpunkter

Kungliga vetenskapsakademien

Remissinstansen anför följande (SSM2015-1640-29): Allmänna hänsynsregler i MB, kapitel 2, förefaller vara beaktade. Viktigast är Kunskapskravet (MB, kapitel 2, 2 §), som kan uppfyllas genom den allsidiga forskning och utveckling som SKB är ålagd, vilken fortlöpande redan nu redovisas vart tredje år i rapporteringen av FUD-programmet (forskning, utveckling, demonstration).

Kraven enligt Lokaliseringsprincipen (MB, kapitel 2, 6 §) är väl mötta. Den omfattande redovisningen av kunskapsläget visar på komplexiteten i alla de processer och frågeställningar som är relevanta för förhållandena i geosfären kring ett slutförvar. Ansökans slutsats, ”att mycket goda förutsättningar finns i Forsmark” är väl underbyggd.

SSM:s beaktande av remissinstansers synpunkter
SSM noterar remissinstansens synpunkt.

1.4 Kunskapskravet

Krav

Alla som bedriver eller avser att bedriva en verksamhet eller vidta en åtgärd ska skaffa sig den kunskap som behövs med hänsyn till verksamhetens eller åtgärdens art och omfattning, för att skydda människors hälsa och miljön mot skada eller olägenhet (2 kap. 2 § miljöbalken).

Beskrivning av SKB:s underlag

I tillståndsansökan beskriver SKB att man sedan 1970-talet har arbetat med att skapa ett system av anläggningar för omhändertagande av radioaktivt avfall. En del i detta har varit att upprätta ett program för allsidig forskning och utveckling i syfte att kunna hantera och slutförvara radioaktivt avfall på ett strålsäkert sätt. SKB hänvisar till den samverkan som sker med universitet, högskolor och forskningsinstitutioner såväl inom som utom Sveriges gränser. Genom upprättandet av miljökonsekvensbeskrivningen (MKB) och genomförande av samråd i enlighet med 6 kap. miljöbalken anser sig SKB ha skaffat sig ytterligare kunskap om de risker från miljö- och hälsosynpunkt som den planerade verksamheten förväntas ge upphov till.

SKB hänvisar även till sitt integrerade ledningssystem som är uppbyggt enligt ISO 9001 och 14001. I ledningssystemet finns rutiner för att säkerställa och utveckla den kompetens som behövs på kort och lång sikt med hänsyn till interna mål och externa krav.

I redovisningen i miljöbalken hänvisar SKB till det förslag till kontrollprogram som syftar till att säkerställa kunskap om den planerade verksamhetens miljöpåverkan. Kontrollprogrammet, som bifogas miljöbalksansökan, exkluderar frågor gällande arbetsmiljö (till exempel stråldoser till personal) eller omgivningskontroll av radiologiska utsläpp. Kontrollprogrammet innehåller en beskrivning av de kontroller som görs av utsläpp av radioaktiva ämnen i luft och vatten.

SSM:s bedömning

Miljöbalkens kunskapskrav innebär enligt SSM att SKB måste visa att bolaget har tillräcklig kunskap om den omgivningspåverkan som verksamheten kan ge upphov till och vilka åtgärder som kan vidtas för att minimera påverkan och dess konsekvenser.

SSM:s föreskrifter som berör långsiktig strålsäkerhet vid slutförvaring av kärnavfall såväl som strålsäkerheten under drift ställer krav på en säkerhetsanalys. Analysen syftar bl.a. till att identifiera, hantera och värdera olika typer av osäkerheter. I förhållande till miljöbalkens kunskapskrav och syftet med slutförvaring av radioaktivt avfall innebär det enligt SSM:s mening att kunskapen om identifieringen, hanteringen och värderingen av osäkerheterna är en central fråga. Att osäkerheter föreligger och delvis inte kan elimineras är oundvikligt men kan hanteras genom föreskrifternas krav på säkerhetsanalys.

Myndighetens bedömning i förhållande till miljöbalkens kunskapskrav inbegriper därför frågan om SKB har visat att bolaget har kompetens att ta fram en trovärdig analys för den långsiktiga strålsäkerheten som identifierar, värderar och hanterar osäkerheter på ett godtagbart sätt.

I SSM:s bedömning ingår även om SKB kan förväntas ha den kompetens och kunskap som krävs för att kunna genomföra slutförvarsverksamheten på ett strålsäkert sätt, bl.a. genom att identifiera och genomföra de konstruktions- och driftrelaterade åtgärder som behövs för att säkerställa strålsäkerheten.

Myndigheten utgår vid bedömningen i huvudsak från SKB:s redovisning av säkerhetsanalysen, MKB och från SKB:s erfarenheter från driften av befintliga anläggningar samt organisationens säkerhetskultur. Sammanfattningsvis bedömer SSM att SKB har den kunskap, eller har förmåga att utveckla denna kunskap, som behövs för att bedriva den planerade verksamheten.

SSM bedömer att SKB:s arbete med att analysera strålsäkerheten efter förslutning har utvecklats och gör bedömningen att SKB på ett i huvudsak godtagbart sätt har hanterat osäkerheter kopplade till slutförvarets skyddsförmåga. SSM gör denna bedömning mot basis av följande:

- SSM anser att säkerhetsanalysen behöver baseras på lämpliga och tydligt redovisade metoder för att uppnå tilltro och för att innebörden av erhållna resultat ska kunna värderas på ett tillförlitligt sätt. SKB:s säkerhetsanalys har baserats på en metodik som utgörs av tio steg: 1) hantering av händelser, processer och egenskaper (FEP), 2) beskrivning av det initiala tillståndet, 3) beskrivning av externa förhållanden, 4) beskrivning av interna processer, 5) definition av säkerhetsfunktioner, 6) sammanställning av indata till säkerhetsanalysen, 7) analys av slutförvarets referensutveckling, 8) val av scenarier, 9) analys av valda scenarier, 10) slutsatser. Enligt SSM:s bedömning innefattar denna metodik i huvudsak de nödvändiga momenten för genomförande och utvärdering av strålsäkerheten efter förslutning, se avsnitt 2.3. i del III.
- SSM anser vidare att en viktig del av säkerhetsanalysmetodiken innefattar beskrivning och hantering av osäkerheter. SKB:s klassificering av osäkerheter innefattar fullständighet i identifiering av förhållanden, händelser och processer (FEP), val av scenarier, samt identifiering och hantering av konceptuella osäkerheter, modellosäkerheter liksom osäkerheter i indata för beräkningar av radionuklidtransport. SSM bedömer att denna klassificering inbegriper systemosäkerhet och scenariosäkerhet, osäkerhet med avseende på modellvariation och rumslig variation liksom parameterosäkerheter och rumslig variabilitet, i enlighet med SSM:s allmänna råd. SKB har på ett övergripande sätt beskrivit hur dessa typer av osäkerheter har hanterats inom säkerhetsanalysen. SKB har enligt SSM:s bedömning på ett acceptabelt sätt beskrivit metoder för de känslighetsanalyser som har genomförts i samband med konsekvensanalysberäkningarna. SSM konstaterar att hanteringen av osäkerheter till viss del genomsyrar hela säkerhetsanalysen SR-PSU, men att användningen av känslighetsanalyser i huvudsak har fokuserats på radionuklidtransportberäkningar. I dessa beräkningar ingår fall som utvärderar osäkerheter avseende beskrivning av barriärernas långsiktiga utveckling. SSM bedömer, mot bakgrund av denna information, att SKB:s redovisning av osäkerheter inklusive analys av osäkerheter med känslighetsanalyser är ändamålsenlig.

I frågor kopplade till anläggningens konstruktion samt driften och analysen av anläggningen gör SSM följande bedömning:

- I granskningen av den förberedande preliminära säkerhetsanalysen konstaterar SSM att SKB arbetar med att utvärdera och utveckla organisationen så att den ska kunna vara utformad och bemannad så att den stödjer strålsäkerheten såväl under projekteringen av den utbyggda anläggningen som vid driften av en framtida utbyggd anläggning. Även om SSM bedömer att vissa aspekter av SKB:s organisation, ledning och styrning behöver utvecklas, tillsammans med tillvaratagande av erfarenheter från driften av befintlig anläggning, så bedömer SSM att bolaget kan fungera som en lärande organisation. SSM konstaterar vidare att SKB har ett ledningssystem som styr verksamheten vid den redan tillståndsgivna kärntekniska verksamheten som är uppbyggt enligt principerna för kvalitets- och miljöledning samt att projektet även är föremål för interna revisioner. Baserat på detta bedömer SSM således sammantaget att SKB har en lämplig organisation för att uppföra och driva den tänkta utbyggnaden av det befintliga SFR. Utförligare bedömningar avseende SKB:s organisation, ledning och styrning utifrån ansökansunderlaget återfinns i Del II (kapitel 10).
- SSM konstaterar vidare att SKB tillhandahållit en förberedande preliminär säkerhetsanalys, F-PSAR, som i rimlig utsträckning redogör för radiologiska omgivningskonsekvenser under uppförande och drift av den planerade utbyggnaden. Metodiken för att analysera barriärernas tålighet mot händelser och förhållanden under uppförande och drift bedöms dock behöva utvecklas, bland annat med avseende på systematik för inventering av händelser och urval av de händelser som utvärderas mot acceptanskriterier för utsläpp till omgivningen innan förvaret försluts. Osäkerheterna kring resultaten i säkerhetsanalyserna bör dock sättas i perspektiv till att även om det skulle finnas andra händelser och förhållanden (som inte har identifierats och analyseras) så borde dessa, med tanke på de redovisade källtermerna, inte skilja sig väsentlig i storlek för utsläpp utan ligga inom angivna gränser. Utförligare bedömningar i detta avseende återfinns i Del II (kapitel 4).

Baserat på den tillsyn som har bedrivits bedömer SSM att SKB:s arbete har utvecklats på ett positivt sätt. SSM gör det mot bakgrund av följande:

- En viktig milstolpe för SKB var övertagande av driften av SFR från Forsmarks Kraftgrupp AB (FKA) under 2009. Utifrån den tillsyn som har bedrivits kan det konstateras att SKB:s förståelse av rollen som kärnteknisk tillståndshavare med driftansvar med tiden har utvecklats. SKB har under senare år även genomfört ett stort förbättringsarbete (åtgärdsprogram) med syfte att komma till rätta med identifierade utmaningar avseende organisation, ledning, styrning och säkerhetskultur (SSM2015-2864).
- Delvis som en följd av de krav som SSM har ställt inom ramen för tillsynen av den befintliga anläggningen har SKB:s och avfallsproducenternas metoder för att bestämma driftavfallens innehåll av radioaktiva ämnen utvecklats på ett positivt sätt under den senaste 10 -15 årsperioden. Kunskap i detta avseende bedöms som nödvändig för SKB i syfte att tillämpa sin övergripande säkerhetsstrategi ”*Begränsad mängd långlivade radionuklider*” i förvaret. SSM har inom ramen för föreliggande granskning, genomförd tillsyn och granskningar i inom t.ex. ramen för Fud-programmet identifierat frågeområden som kräver fortsatt uppmärksamhet och utveckling. Ett exempel på område där det krävs fortsatt

utveckling är den metodik som tillämpas för att fördela det totala aktivitetsinnehållet i avfallet mellan olika förvarsdelar.

- SSM har inom ramen för tillsynen tydliggjort kraven på SKB att utveckla acceptanskriterier för det avfall som ska slutförvaras. SSM bedömer att SKB genom det utvecklingsarbete som genomförts och presenterats, trots vissa brister, har visat förmåga att skaffa sig den kunskap som krävs även i detta avseende.
- SSM har i granskningen av MKB bedömt SKB huvudsakligen ger en godtagbar redovisning av de radiologiska risker som verksamheten är förknippad med, såväl under uppförande och drift, som efter förslutning (se Del IV, avsnitt 3.10). SSM kan konstatera att vunna erfarenheter också har föranlett att delar av utformningen har ändrats sedan ansökan lämnades, vilket SSM bedömer som positivt utifrån ett kunskapshänseende.

1.5 Försiktighetsmått med krav på bästa möjliga teknik

Krav

Enligt 2 kap. 3 § miljöbalken ska alla som bedriver eller avser att bedriva en verksamhet utföra de skyddsåtgärder, iakta de begränsningar och vidta de försiktighetsmått i övrigt som behövs för att förebygga, hindra eller motverka skada eller olägenhet för människors hälsa eller miljön. I samma syfte ska vid yrkesmässig verksamhet användas bästa möjliga teknik, även kallat BMT. Dessa försiktighetsmått ska vidtas redan när det finns skäl att anta att en verksamhet eller åtgärd kan medföra skada eller olägenhet för människors hälsa eller miljön.

Beskrivning av SKB:s underlag

SKB hänvisar i redovisningen i tillståndsansökan till de krav gällande strålsäkerhet som reglerar driften av SFR, liksom den planerade utbyggnaden. Enligt SKB har andra hänsynstaganden beaktats i de fall det har funnits alternativ som är likvärdiga från strålsäkerhetssynpunkt. SKB hänvisar till de grundläggande krav som ställts på utformningen av ett slutförvars barriärer och till det övergripande kravet på tillämpning av ALARA som innebär att stråldoserna ska begränsas så långt som rimligt möjligt. SKB hänvisar vidare till de utredningar som gjorts avseende alternativa tekniker och försiktighetsåtgärder inför ansökan och den sammanställning av dessa åtgärder som ges i kap. 13 i MKB. Enligt SKB ger det valda utförandet och SKB:s åtaganden om skyddsåtgärder och försiktighetsmått uttryck för en korrekt tillämpning av försiktighetsprincipen och principen om bästa möjliga teknik enligt 2 kap. 3 § miljöbalken. SKB hänvisar också till bilaga BAT – Utbyggnad av SFR ur ett BAT-perspektiv (SKB dokID 1415420).

SSM:s bedömning

SSM kan konstatera att SKB:s redovisning inte är helt tydlig i hur strålsäkerhetsaspekter har beaktats tillsammans med andra hänsynstaganden. SSM kommenterar dessa oklarheter inom ramen för Del IV, avsnitt 1.9 (Rimlighetsavvägning). I bedömningen nedan fokuserar SSM på de slutsatser gällande försiktighetsprincipen och bästa möjliga teknik som dragits inom ramen för granskningen av SKB:s ansökan enligt kärntekniklagen i stort.

Från strålsäkerhetssynpunkt innebär, enligt SSM:s bedömning, kravet enligt 2 kap 3 § miljöbalken bland annat en värdering av anläggningens lokalisering, konstruktion och drift med avseende på såväl strålskydd och säkerhet under drift som utifrån det långsiktiga

skyddet. SSM:s bedömning har därför gjorts med utgångspunkt från bedömning mot krav i strålsäkerhetslagstiftningen med tillhörande föreskrifter.

SSM:s övergripande bedömning är att det har skett en positiv utveckling under de senare åren, t.ex. inom ramen för arbetet med de tekniska barriärerna och analyserna av deras utveckling. SSM bedömer att det har skett en positiv utveckling inom ramen för tillståndsprövningen. Intrycket av SKB:s arbete att ständigt verka för en ökad strålsäkerhet, och där igenom att iakttaga försiktighetsprincipen och bästa möjliga teknik, är dock inte entydig. SKB har å ena sidan i vissa sammanhang varit benägna att ompröva tidigare ställningstaganden, t.ex. gällande den förordade anläggningens utformning, medan SKB i andra sammanhang bedöms ha ett fortsatt utvecklingsbehov för att objektivt analysera och värdera alternativ till den förordade utformningen och lokaliseringen. SSM anser att en lyhördhet att ifrågasätta tidigare ståndpunkter och ta till sig ny kunskap liksom kunna erfarenheter som nödvändigt i det fortsatta utvecklingsarbetet liksom i samband med uppförande och driften av anläggningen. Detta gäller inte minst i det fortsatta arbetet med att detaljutföra förvarsdelarna och att utveckla metoder för att uppföra och verifiera konstruktionerna samt den efterföljande driften av anläggningen.

SSM har inom ramen för granskningen begärt av SKB att ytterligare utveckla och motivera den förordade utformningen av den utbyggda anläggningen (se Del IV, avsnitt 2.3), liksom den förordade lokaliseringen (se Del IV, avsnitt 2.2). SSM kan konstatera att det finns aspekter i såväl anläggningens lokalisering och utformningen av de olika förvarsdelarna där förbättringar med avseende på den långsiktiga strålsäkerheten i högsta grad är möjliga, men för den delen inte nödvändigtvis kan motiveras. Bedömningen innebär en värdering av kostnad-nyttospekter. Detta gäller inte minst utformningen av förvarsdelarna där skyddsförmågan av nödvändighet inte behöver vara likvärdig för det lågaktiva avfallet som för det medelaktiva. Utformningen av förvarsutrymmena har dessutom kopplingar till förvarets lokalisering och det skydd som förläggningen under Östersjön innebär för de inledande tusen åren.

SSM gör bedömningen att den utformning som nu förordas för anläggningen är mer ändamålsenlig än den som ursprungligen utgjorde underlag för ansökan. Detta gäller inte minst det planerade omhändertagandet av reaktortankarna i förvarsdelen BRT. Även för det lågaktiva avfall som ska deponeras i 2-5BLA bedömer SSM att utformningen, kopplat till lokaliseringen, är ändamålsenlig.

Avvägningen är något mer komplicerad för utformningen av förvarsdelen 2BMA där en alternativ utformning i form av en betongsilo med en omgivande bentonitbarriär bedöms ha strålsäkerhetsmässiga fördelar, särskilt i ett mycket långt tidsperspektiv (i storleksordningen 10 000-tals år). I ett sådant tidsperspektiv bedöms skillnaderna i skyddsförmåga mellan alternativen som fördelaktiga för siloalternativet. Den extra bentonitbarriären medför ytterligare säkerhetsmarginaler utöver systemets huvudsakliga betongbarriärer, särskilt för en nuklid som Ni-59 vilken är bidragande till omgivningskonsekvenserna på mycket lång sikt. Kompensatoriska åtgärder i syfte att begränsa avfallets innehåll av radionuklider som Ni-59 bedöms dock vara möjliga att genomföra. Under förutsättning att åtgärder vidtas för att begränsa förekomsten av långlivade ämnen och i så hög utsträckning som rimligen möjligt styr detta till det befintliga siloförvaret bedömer SSM att den förordade utformningen uppfyller kraven på bästa möjliga teknik. I ett ”kortare” tidsperspektiv på några tusen år, och för de radionuklider som dominerar omgivningskonsekvenserna under denna tidsperiod, bedömer SSM att den förordade utformningen av 2BMA är ändamålsenlig. Detta beror till stor del på att bentonitbarriären har relativt liten påverkan på skyddsförmågan för de dosdominerande nukliderna Mo-93 och C-14.

Vissa av de åtgärder som kan genomföras i syfte att så långt som möjligt begränsa avfallets innehåll av långlivade radioaktiva ämnen och de förväntade omgivningskonsekvenserna faller dock inte i första hand inom ramen för den verksamhet som SKB avser att bedriva. Hos avfallsproducenterna genomförs t.ex. dekontaminering av systemtytor från t.ex. Ni-59 i samband med avvecklingen av reaktorer, vilket möjliggör att aktivitetsinnehåll som annars skulle behöva deponeras i 2BMA kan styras till förvarsdelen silo, vilket SSM bedömer innebär en förbättring av skyddet.

Ett annat exempel gäller åtgärder kopplade till produktionen av den långlivade nukliden Mo-93 (halveringstid på 4000 år) vid neutronbestrålning i närheten av reaktorhärden. Molybden förekommer i varierande grad i de legeringar som används i kärnkraftverken, där särskilt en viss legering som används i spridare i bränslepatroner vid vissa kokarvattenreaktorer bedöms utgöra den viktigaste källan (Del III, avsnitt 4.2). Åtgärder för att så långt som möjligt undvika, eller åtminstone begränsa, produktionen av denna radio-nuklid därför bör vidtas, i synnerhet om detta kan ske utan påverkan på den strålsäkra driften vid kärnkraftverken.

SSM bedömer att SKB har motiverat anläggningens förläggningsdjup och på ett tillräckligt sätt beaktat de parametrar som är av betydelse. En fördjupad granskning av SKB:s motivering för den förordade utformningen av slutförvaret och förläggningsdjupet återfinns i Del IV, avsnitt 3, nedan.

I fråga om anläggningens lokalisering faller avvägningen till stor del ut i en avvägning av strålsäkerhetsmässiga fördelar som görs gällande under de inledande 1000 åren, i förhållande till strålsäkerhetsmässiga fördelar under den efterföljande tidsperioden. Eftersom stora delar av inventariet av radioaktiva ämnen sönderfaller under den viktiga första tusenårsperioden och att den förordade platsen i sig bedöms lämplig även i ett längre tidsperspektiv, bedömer SSM att fördelarna med en annan lokalisering är så pass begränsade att de inte kan motiveras mot de ökade kostnaderna och andra olägenheter. SSM gör denna bedömning av platsens lämplighet kopplad till de åtgärder som behöver vidtas för att begränsa förvarsdelen 2BMA:s innehåll av långlivade ämnen. Se vidare Del IV, avsnitt 1.8 (lokalisering) och 2 (alternativredovisningen).

SSM bedömer att SKB i rimlig utsträckning har redogjort för åtgärder i den planerade utbyggnadens utformning och konstruktion som förebygger, förhindrar och motverkar skada på människors hälsa och miljön i samband med anläggningens uppförande och drift. SSM gör denna bedömning mot bakgrund av att SKB:s redovisade konstruktionsregler för referensutformningen, med flera barriärer och ett för anläggningen anpassat djupförsvar, är funktionella för att förhindra händelser av betydelse för strålsäkerheten. SSM bedömer även att SKB på en övergripande nivå redovisat ett system för säkerhetsklassning som i rimlig utsträckning beaktar såväl driftsäkerhet som strålsäkerhet efter förslutning.

1.6 Produktvalsprincipen

Krav

Enligt 2 kap. 4 § miljöbalken ska alla som bedriver eller avser att bedriva en verksamhet eller vidta en åtgärd undvika att använda eller sälja sådana kemiska produkter eller biotekniska organismer som kan befaras medföra risker för människors hälsa eller miljön, om de kan ersättas med sådana produkter eller organismer som kan antas vara mindre farliga. Motsvarande krav gäller i fråga om varor som innehåller eller har behandlats med en kemisk produkt eller bioteknisk organism.

Beskrivning av SKB:s underlag

Produktvalsprincipen innebär enligt SKB att man i möjligaste mån ska undvika att använda kemiska produkter eller biotekniska organismer som kan befaras medföra risker för människors hälsa och miljön och att detta gäller om produkterna eller organismerna kan ersättas med mindre farliga substitut. SKB hänvisar till de rutiner för inköp och hantering som finns i kvalitets- och miljöledningssystemet.

SSM:s bedömning

Frågeställningen faller väsentligen utanför de frågor som Strålsäkerhetsmyndigheten har att reglera.

1.7 Hushållnings- och kretsloppsprincipen**Krav**

Alla som bedriver en verksamhet eller vidtar en åtgärd ska hushålla med råvaror och energi samt utnyttja möjligheterna till återanvändning och återvinning. I första hand ska förnyelsebara energikällor användas. SSM:s bedömning har skett mot dessa krav.

Sedan ansökan lämnades in har kraven förtydligats (genom SFS 2016:782) och det anges att den som bedriver en verksamhet eller vidtar en åtgärd ska hushålla med råvaror och energi samt utnyttja möjligheterna att:

1. minska mängden avfall,
2. minska mängden skadliga ämnen i material och produkter,
3. minska de negativa effekterna av avfall, och
4. återvinna avfall.

Samt att förnybara energikällor i första hand ska användas.

Beskrivning av SKB:s underlag

SKB anger i tillståndsansökan att hushållnings- och kretsloppsprinciperna innebär att SKB ska hushålla med energi och råvaror, samt utnyttja möjligheterna till återanvändning och återvinning, dock med det grundläggande kravet att åtgärder för hushållning av råvaror inte får påverka strålsäkerheten negativt. SKB anger att man har genomfört en energiutredning vilken har lett till ett antal åtgärder som alla syftar till att minska energiförbrukningen i SFR. Vidare anger SKB att man i samband med utbygganden i första hand ska minimera uppkomsten av konventionellt avfall, och att det avfall som uppkommer i första hand ska återanvändas och/eller återvinnas. De bergmassor som uppstår i projektet ska i första hand användas vid anläggningen eller vid det planerade slutförvaret för använt kärnbränsle. De bergmassor som inte kan användas kommer att avyttras till extern mottagare.

Remissinstansers synpunkter**Naturskyddsföreningen och Miljöorganisationernas kärnavfallsgranskning**

Redovisning av avfallsströmmar som kommer från rivning av kärnkraftverk med annat än metoden "rip and ship"

Föreningarna yrkar på (SSM2015-1640-32) att sökanden kompletterar ansökan med ett underlag som visar hur mycket avfall och i vilken form som skulle bli resultatet av att de svenska kärnkraftreaktorerna rivs för att minimera avfallsmängderna och maximera materialåtervinningen. Föreningarna yrkar särskilt på att underlaget innehåller sådan information som avses i yrkande ovan för de nio kokarreaktortankarna.

Bättre hushållning av naturresurser

Att en redovisning görs av avfallsströmmar som kommer från rivning av kärnkraftverk med annat än metoden ”rip and ship”. Föreningarna menar (SSM2017-5439-8) att sökanden mer ingående ska redovisa hur man avser att följa miljöbalkens hushållningsbestämmelser, både vad gäller mängden och volymen på det avfall som avses lagras.

SSM:s beaktande av remissinstansers synpunkter

Frågan om hur reaktorerna rivs omfattas inte direkt av detta ärende, men det finns indirekta kopplingar. SSM bedömer att utformningen av SFR ska göras för att i så liten utsträckning som möjlig försvåra återvinning av avfallet i enlighet med miljöbalkens principer om avfallsförebyggande åtgärder och tillämpningen av avfallshierarkin.

SSM:s bedömning

Frågor kopplade till hushållnings- och kretsloppsprincipen kan dels koppla till hur anläggningen utformas och drivs, dels koppla till vilket avfall som kan deponeras. Det finns kopplingar mellan resurshushållning och strålsäkerheten och avvägningar kan behöva göras i enlighet med principerna för strålskyddsoptimering. I enlighet med 4 § SSMFS 2008:37 ska optimering ske i samband med slutligt omhändertagande av kärnavfall. Optimering innebär att stråldoser ska begränsas så långt som rimligen möjligt med hänsyn till ekonomiska och samhällsliga faktorer. Kravet innebär att det behöver ske en avvägning mellan åtgärder som syftar till att förbättra strålskyddet mot samhällsliga faktorer som återvinning av avfall och att sträva efter en minskad resursförbrukning.

Frågan om återvinning av visst radioaktivt avfall har varit föremål för diskussioner under senare år. Detta gäller exempelvis möjligheterna till återvinning av metalliskt material. SSM kan konstatera att beslutet att inte längre deponera reaktortankarna hela, utan att i stället segmentera dessa ger möjligheter till ökad återvinning. Beslutet att inte längre bygga en särskild tunnel för reaktortankarna begränsar även berguttaget.

Historiskt har delar av det brännbara avfallet omhändertagits genom förbränning i anläggningarna i Studsvik för efterföljande deponering av askorna i förvardsdelen BTF i SFR. Under senare år har stora delar av det mycket lågaktiva brännbara avfallet i stället deponerats i lokala deponier (markförvar) vid de kärntekniska anläggningarna. Frågan har ställts om detta omhändertagande är det lämpligaste utifrån en samlad värdering inklusive möjligheterna till energiåtervinning. En ökad grad av återvinning av det mycket lågaktiva brännbara avfallet innebär att avfallet återigen i större utsträckning kan komma att behöva deponeras i SFR, i stället för att deponeras på markförvar. Även om frågan i första hand berör hur avfallsproducenterna omhändertar det uppkomna avfallet, snarare än den verksamhet som SKB avser att bedriva, så bör SKB så långt som rimligt möjligt planera verksamheten på ett sådant sätt att denna möjlighet till återvinning inte onödigtvis försvåras.

Vad det gäller SKB:s redovisning i övrigt har SSM inga invändningar.

1.8 Lokalisering

Krav

Enligt 2 kap 6 § gäller för en verksamhet eller åtgärd som tar i anspråk ett mark- eller vattenområde att det ska väljas en plats som är lämplig med hänsyn till att ändamålet ska kunna uppnås med minsta intrång och olägenhet för människors hälsa och miljön.

Enligt SSM behöver 2 kap 6 § miljöbalken tillämpas ihop med 2 kap 3 § vid val av plats för slutförvar där platsen måste ge förutsättningar för ett strålsäkert förvar för att begränsa

utsläppen och i förlängningen minimera påverkan på omgivningen. Att SKB visat att den förordade platsen är lämplig för sitt syfte (dvs. långsiktig strålsäkerhet) blir på det sättet en del av bedömning av tillämpning av bästa möjliga teknik.

Beskrivning av SKB:s underlag

SKB anger i tillståndsansökan att de grundläggande förutsättningarna för lokaliseringen av ett slutförvar för låg- och medelaktivt avfall är dels att den geologiska formationen ger tillräckligt stabila och gynnsamma förhållanden för slutförvarets barriärer, dels att platsen är lämplig med hänsyn till att ändamålet ska kunna uppnås med minsta möjliga risk för intrång samt minsta möjliga olägenhet för människors hälsa och miljön, dels att den berörda kommunen är positiv till lokaliseringen. Vidare ska platsen vara belägen på tillräckligt avstånd från eventuella naturresurser. SKB anger att det inte uppkommit något som pekar på att platsen för det nuvarande slutförvaret inte skulle vara lämplig och att planer hela tiden funnits för att den befintliga anläggningen ska kunna byggas ut. SKB hänvisar till den lokaliseringstudie som genomförts och att slutsatsen var att det endast har funnits ett reellt alternativ till slutförvaring i Forsmark i anslutning till det befintliga SFR, nämligen slutförvaring i Simpevarp/Laxemar i Oskarshamns kommun. SKB bedömer att en förläggning invid det befintliga SFR är det lämpligare valet i en jämförelse mellan dessa båda platser.

SKB hänvisar till den analys av alternativa lokaliseringar som gjorts, bl.a. av SKB:s tidigare undersökta områden för ett slutförvar för använt kärnbränsle. Sammanlagt rör det sig om elva lokaliseringar som, men ett undantag, bedöms kunna uppfylla de strålsäkerhetsrelaterade faktorerna. Med beaktande av de industriella fördelarna och att det faktum att det funnits politiskt motstånd från vissa av de alternativa platserna begränsar SKB till två huvudalternativ, Forsmark respektive Simpevarp/Laxemar i Oskarshamns kommun. I jämförelsen mellan dessa platser anser SKB att skillnaderna är små, men att de talar för Forsmarks fördel.

I kompletteringar till ansökan utökade SKB underlaget med information om en jämförelse av den sökta placeringen av utbyggnaden med en alternativ placering i den så kallade tektoniska linsen i Formarksområdet (SKB dokID 1534753, SKB dokID 1578361) vilket skulle innebära en placering i anslutning till det planerade slutförvaret för använt kärnbränsle. En sådan alternativ placering skulle innebära att förvaret förläggs i ett berg med lägre grundvattenflöde, men att förvaret inte skulle täckas av Östersjön under den inledande tusenårsperioden. Den sökta platsen vid befintligt SFR innehar å andra sidan lägre flöden under tiden förvaret befinner sig under vatten vilket innebär att inget betydande utsläpp av radioaktiva ämnen förväntas under denna period. Det föreligger också betydande osäkerheter kopplade till de förhållanden som råder i den alternativa platsen i Forsmarklinsen då detaljerad platsdata saknas. Även praktiska nackdelar kopplade till en eventuell förläggning i anslutning till det planerade slutförvaret för använt kärnbränsle föreligger och konsekvenser och osäkerheter kopplade till en sådan alternativ placering skulle enligt SKB i sådana fall behöva utredas närmare.

Remissinstansers synpunkter

Naturskyddsföreningen Uppsala län

Remissinstansen anför följande (SSM2015-1640-26): I bilaga MKB PSU

Miljökonsekvensbeskrivning för utbyggnad och fortsatt drift av SFR på finns på sidan 22 en uppräknad av vad svensk lagstiftning och de internationella överenskommelser som Sverige anslutit sig till omfattar. Den tredje punkten lyder: havet och havsbotten får inte utnyttjas. Naturskyddsföreningen Uppsala län anser att lokalisering av nuvarande SFR och planerad utbyggnad till SFR strider mot ovan nämnda internationella överenskommelse.



Vidare anser Naturskyddsföreningen Uppsala län att det inte är acceptabelt att SKB inte utrett någon eller några alternativa säkerhetsanalyser av långsiktig strålsäkerhet för alternativa lokaliseringar av SFR2 på samma detaljeringsnivå som förslaget att förlägga SFR2 under havets botten som en utbyggnad till nuvarande SFR i Forsmark.

Naturskyddsföreningen och Miljöorganisationernas kärnavfallsgranskning
Redovisning av säkerhetsprinciper i miljökonsekvensbeskrivningen och säkerhetsanalysen
Föreningarna yrkar på (SSM2015-164-32) att ansökan kompletteras så att det tydligt framgår att utsläpp och utspädning av radioaktiva ämnen i recipienten Öregrundsgrepen/Östersjön är en säkerhetsprincip för strålsäkerheten för det existerande slutförvaret för kortlivat radioaktivt driftsavfall, SFR 1, och för den planerade tillbyggnaden för kortlivat radioaktivt rivningsavfall, SFR 2.

Utspädning i Östersjön som en säkerhetsprincip, motsvarar inte BAT

Att en säkerhetsprincip i MKB:n och säkerhetsanalysen är utsläpp och utspädning i havet (Öregrundsgrepen). Detta vägrar sökanden (SSM2017-5439-8) att vidgå med hänvisning till att riskerna för skada på människa inte blir större när detta sker. Skillnaden för naturmiljön blir dock stor och Föreningarna anser fortfarande att sökanden måste ta hänsyn till detta. Föreningarna ifrågasätter om denna utspädningsprincip kan anses vara det som idag är bästa möjliga teknik, BAT, och om denna teknik tillräckligt kan förhindra skador på ekosystem och eller påverka människors hälsa.”

Miljörelsens kärnavfallssektariat

Föreningarna instämmer (SSM2017-5439-7) med yttranden av Naturskyddsföreningen i Uppsala län och Naturskyddsföreningen/Miljöorganisationernas kärnavfallsgranskning (MKG). I övrigt instämmer föreningarna med alla yttranden i målet av Naturskyddsföreningen i Uppsala län och Naturskyddsföreningen/MKG, inklusive yttrandet inlämnat av Naturskyddsföreningen/MKG 31 oktober 2018. Föreningarna instämmer särskilt med Naturskyddsföreningen i Uppsala läns yttrande 11 mars 2018 att: ”Med den konstruktion under havets botten som SFR har kommer lagret att fyllas med vatten efter förslutning. Fråga är hur snabbt anläggningen kommer att frigöra radionuklider till recipienten efter förslutning. Föreningen anser att den föreslagna lokaliseringen under havets botten är olämplig och vill närmast kalla den för en fördröjd dumpning”.

Nils-Axel Mörner

Under rubriken ”under tillräcklig tid” i sitt remissvar (SSM2017-5439-9) anför Mörner att det synes närmast klandervärt att använda ett så ”luddigt” uttryck som ”under tillräcklig tid” i en så allvarlig fråga. Här skulle man fordra att SKB klart och tydligt angav den tidslängd man avser. Båda lagren kommer efter tillslutning (som sägs ske på 2070-talet) att vattenfyllas och därefter är det en tidsfråga innan radioaktiva ämnen kommer ut i grundvattnet (och senare ut i Östersjön). Men hur fort går det mellan förslutning och direktkontakt mellan grundvatten och avfallsmassor? SKB:s ansökan borde innehålla omfattande beräkningar och diskussioner om detta. Gissningsvis föreligger radioaktiv kontaminering av grundvattnet i förvarsutrymmena redan efter några 100 år. Men hur fort går det för spridning till havet ovanför? Det anges inte. Kan det vara 1000 år eller mer? Hur som helst förr eller senare har vi radioaktiv kontaminering även av Östersjön. Mot detta måste det föreligga ett direkt förbud.

Östhammars kommun

Östhammars kommun önskar en redogörelse för varför SKB valt att bortse från säkerhetsprincipen inneslutning vid val av slutförvaringskoncept.

SSM:s beaktande av remissinstansers synpunkter

Frågan som remissinstanserna lyfter ovan avser anläggningens lokalisering under Östersjöns botten, och huruvida detta stred mot någon av de internationella överenskommelser som Sverige har biträtt, t.ex. Östersjökonventionen eller konventionen mot havsdumpning, den s.k. Londonkonventionen. Enligt den statliga utredningen (SOU 2011:18, s. 491) fastställs ”att med stöd av det dumpningsbegrepp som återfinns i de internationella konventionerna som Sverige har anslutit sig till anser utredningen att slutförvaring av radioaktivt avfall i särskilda förvarsanläggningar under havsbotten med anslutning från land inte är att betrakta som dumpning. Detta gäller särskilt om avfallet placeras i förvaret på ett kontrollerat sätt samt kontinuerligt övervakas under driftstiden innan slutlig förslutning.”

Det krav på tillämpning av bästa möjliga teknik som framgår av 4 § SSMFS 2008:37 är kompletterande krav till riskkriteriet. Bestämmelserna trädde ursprungligen i kraft 1998. Kravet innebär förtydligas 2005 i de allmänna råden där det framgår att förläggningsplats bör väljas för att förhindra, begränsa och fördröja utsläpp från både tekniska och geologiska barriärer så långt som är rimligt möjligt. Kravet innebär att det inte är tillräckligt att stråldoserna och riskerna till kommande generationer blir låga exempelvis till följd av utspädning i recipienten, utan åtgärder bör alltid så långt som rimligt möjligt vidtas för att begränsa utsläppen. Detta krav bedöms vara i enlighet med kraven enligt artikel 6 punkt 2 i Östersjökonventionen som innebär att åtgärder ska vidtas för att kontrollera och begränsa förorening med skadliga ämnen.

Frågan om utspädning som lokaliseringsfaktor diskuterades även i den myndighetsgemensamma granskningen av SKB:s uppdaterade Slutlig Säkerhetsrapport för SFR 1 (SSI rapport 2003:21, SKI rapport 2003:37). Myndigheterna riktade kritik mot att SKB:s redovisning av säkerhetskonceptet för SFR var alltför otydlig och gjorde i granskningen tolkningen att utspädning är en viktig säkerhets- och skyddsfunktion, särskilt för tidiga utsläpp. Som framgår ovan är ett sådant synsätt inte i enlighet med de krav och förtydligande som följer av SSMFS 2008:37.

Vidare har SSM i granskningen konstaterat att utsläppen under havsperioden begränsas av det låga grundvattenflödet genom förvaret. Utflödet av radionuklider under denna tidsperiod motsvarar det utflöde som sker under den efterföljande inlandsperioden. Genom detta drar SSM slutsatsen att inte är genom utspädning i Östersjön som riskkriteriet uppnås.

SSM:s bedömning

Utifrån de utredningar som gjorts kan det inte uteslutas att det finns lämpligare platser att förlägga slutförvaret utifrån det ostörda förvarets funktion. SSM har vid flera tillfällen, dels inom ramen för samrådet kring utbyggnaden av SFR med start 2007, dels inom ramen för granskningen av Fud-programmet, dels inom ramen för tillståndsprövningen, efterfrågat en utvärdering av de strålsäkerhetsmässiga fördelarna med en förläggning i en sådan alternativ plats och att SKB skulle ställa dessa i relation till de uppenbara fördelarna en samförläggning med befintlig anläggning.

SSM har särskilt efterfrågat en utvärdering av en förläggning i den s.k. tektoniska linsen i Forsmarksområdet där slutförvaret för använt kärnbränsle planeras (SSM2015-725-7). Att SSM har efterfrågat jämförande analyser för denna plats beror i första hand på att de geologiska egenskaperna i detta område bedömdes som relativt väl kända, och dessutom potentiellt gynnsamma, och därför skulle kunna ge underlag för en mer kvantitativ bedömning, snarare än att SSM specifikt bedömt att en samförläggning av aktuellt förvar med slutförvaret för använt kärnbränsle vore att förorda. De efterfrågade värderingarna

skulle syfta till att kunna ta ställning till om platsundersökningar på en alternativ plats kan motiveras. SKB kompletterade underlaget till ansökan angående denna fråga 2016 (SKB dokID 1534753) och 2017 (SKB dokID 1578361) (se ovan). SSM anser att kompletteringarna utgör ett tillräckligt underlag för att kunna bedöma lokaliseringsfrågan.

Vad det gäller den ansökta platsen delar SSM SKB:s bedömning att den i sig är lämplig och att det finns uppenbara samordningsvinster med en samförläggning. En förläggning under havet ger vissa strålsäkerhetsmässiga fördelar, särskilt för den inledande tidsperioden när havet täcker förvaret. Detta leder dels till en låg hydraulisk gradient, och därmed till lågt grundvattenflöde i förvarets omgivning, dels till att risken för intrång kan bedömas vara mycket låg. SSM anser att den förordade lokaliseringen i detta avseende har fördelar jämfört med förläggningar under land, t.ex. vid den tektoniska linsen invid det planerade kärnbränsleförvaret. I ett mycket långt tidsperspektiv bedöms dock en lokalisering i en bergvolym med lägre grundvattenflöde och på större djup som lämpligare. En värdering av fördelarna under olika tidsperioder behöver därför göras sett till förvarets utformning och tänkta avfall, tillsammans med en värdering av andra lokaliseringsfaktorer.

SSM bedömer att fördelarna att minimera sannolikheten för intrång i det saltare grundvattnet under havet är viktigare än de olägenheter detta för med sig i form av påverkan på barriärerna. Under den tusenårsperiod då förvaret ligger under havet kommer stora delar av det radioaktiva inventariet i avfallet att avklinga. En förläggning under havet utanför Simpevarp skulle förväntas föranleda att denna tidsperiod förlängdes med ytterligare ett antal tusen år. Detta är naturligtvis fördelaktigt, men det kvarstår stora osäkerheter om berggrunden samt om denna bergvolymens egenskaper. Utifrån sin granskning gör SSM bedömningen att de kvarvarande osäkerheterna sannolikt skulle vara större än de som kopplar till den förordade lokaliseringen vid SFR, även om ytterligare platsundersökningar genomfördes.

Vid en jämförelse mellan den förordade platsen och en lokalisering i en berggrund med något lägre grundvattenflöde bedömer SSM att den förordade lokaliseringen är lämpligare för försvarsdelarna BLA och BRT. En viktig faktor i detta avseende är det skydd mot intrång som havslokaliseringen innebär för den inledande tusenårsperioden då väsentliga delar av aktivitetssinnehållet avklingar.

För försvarsdelen 2BMA är utfallet inte lika entydigt, särskilt i ett mycket långt tidsperspektiv (i storleksordningen 10 000-tals år). SSM bedömer att stråldoserna i ett sådant tidsperspektiv sannolikt skulle begränsas något vid en alternativ plats. Så som framgår av de resonemang som förs i Del IV, avsnitt 1.5 och 2.3.4 bedöms denna fråga begränsas genom optimeringsåtgärder i syfte att begränsa försvarsdelen 2BMA:s innehåll av långlivade ämnen. I ett kortare tidsperspektiv (i storleksordningen 1000-tals år) och för de nuklider som dominerar omgivningskonsekvenserna under denna tid är platsegenskaperna underordnade betongbarriärens flödesbegränsande egenskaper.

SSM bedömer således att den förordade platsen är lämplig för samtliga tillkommande försvarsdelar.

En relevant fråga är huruvida en kustnära förläggningsplats (eller lokalisering under havet) kan vara fördelaktig på grund av att utsläppet från förvaret späds ut i en större volym vatten och att det är detta som bidrar till uppfyllelse av riskkriteriet för strålskydd efter förslutning. SSM har genom egna analyser (SSM PM, Xu, 2019) av utspädningens betydelse för de beräknade doserna under havsperioden dragit slutsatsen att det inte är genom utspädning kraven uppfylls. Beräkningarna visar att utsläppen under den inledande

havspeioden, när inventariet är högre, väsentligen är samma som under den efterföljande inlandsperioden, vilket i första hand beror på lägre grundvattenflöden, se även Del IV, avsnitt 2.3.2. Utspädning i havsvatten kan därmed inte betraktas som en ”dold” fördel med den valda lokaliseringen. Relevant i detta sammanhang är även att de internationella konventioner om havsdumpning som Sverige anslutit sig till inte anses omfatta slutförvaring av radioaktivt avfall i särskilda förvarsanläggningar under havsbotten med anslutning från land, vilket även framgår av slutsatserna i en statlig utredning från 2011 (SOU 2011:18).

Sammantaget bedömer SSM att den förordade platsen i sig är lämplig för ett slutförvar för aktuellt avfall och att SKB i val av platsen har beaktat lokaliseringsprincipen på ett godtagbart sätt givet verksamhetens ändamål. För de övriga platser som har diskuterats under lokaliseringsprocessen kvarstår olika typer av osäkerheter. SSM delar SKB:s bedömning att dessa osäkerheter kunde ha minskats genom ytterligare platsundersökningar men att utförliga insatser av denna karaktär inte är befogade med hänsyn tagen till den utökade verksamhetens natur och tillhörande konsekvenser för människor och miljön.

Frågan om anläggningens lokalisering innebär i stor utsträckning en avvägning av strålsäkerhetsmässiga fördelar under de inledande 1000 åren i förhållande till den efterföljande tidsperioden. Eftersom stora delar av inventariet av radioaktiva ämnen sönderfaller under den viktiga första tusenårsperioden och att den förordade platsen i sig bedöms lämplig även i ett längre tidsperspektiv, samt att förekomsten av långlivade ämnen begränsas i förvardsdelen 2BMA i så stor utsträckning som möjligt, bedömer SSM att eventuella fördelar med en annan lokalisering är så pass begränsade att de inte kan motiveras mot de ökade kostnaderna och andra olägenheter.

Utifrån de utredningar som genomförts, den förordade platsens lämplighet från ett strålsäkerhetsperspektiv tillsammans med de uppenbara fördelarna en samförläggning medför, samt de förväntade begränsade strålsäkerhetsmässiga fördelar som de alternativa platserna erbjuder, drar SSM slutsatsen att lokaliseringen kan godtas.

1.9 Rimlighetsavvägning

Krav

Enligt 2 kap 7 § gäller kraven i 2–5 §§ och 6 § första stycket i den utsträckning det inte kan anses orimligt att uppfylla dem. Vid denna bedömning ska särskild hänsyn tas till nyttan av skyddsåtgärder och andra försiktighetsmått jämfört med kostnaderna för sådana åtgärder. När det är fråga om en totalförsvarsverksamhet eller en åtgärd som behövs för totalförsvaret, ska vid avvägningen hänsyn tas även till detta förhållande.

Trots första stycket ska de krav ställas som behövs för att följa en miljökvalitetsnorm som avses i 5 kap. 2 § första stycket 1. Om det finns ett åtgärdsprogram som har fastställts för att följa normen, ska det vara vägledande för bedömningen av behovet.

Vid prövning av tillåtlighet, tillstånd, godkännande eller dispens för en verksamhet eller åtgärd som ger en ökad förorening eller störning och kan antas på ett inte obetydligt sätt bidra till att en miljökvalitetsnorm som avses i 5 kap. 2 § första stycket 1 inte följs, får verksamheten eller åtgärden vid avvägningen enligt första och andra styckena tillåtas om den

1. är förenlig med ett åtgärdsprogram som har fastställts för att följa normen,

2. förenas med villkor om att vidta eller bekosta kompensande åtgärder som ökar möjligheterna att följa normen i en utsträckning som inte är obetydlig, eller
3. trots att den försvårar möjligheterna att följa miljö kvalitetsnormen på kort sikt eller i ett litet geografiskt område, kan antas ge väsentligt ökade förutsättningar att följa normen på längre sikt eller i ett större geografiskt område.

Beskrivning av SKB:s underlag

SKB anger i tillståndsansökan att de principer som ska tillämpas enligt 2 kap. 2-6 §§ miljöbalken ska leda till rimliga resultat vid en avvägning mellan bland annat nyttan av skyddsåtgärder och kostnaderna för att genomföra dem. SKB:s överväganden och förslag i fråga om skyddsåtgärder och andra försiktighetsmått samt villkorsförslag har skett emot den avvägning som ska göras enligt 2 kap. 7 § miljöbalken. I enlighet med kraven i 2 kap. 7 § miljöbalken redovisas även de nuvarande och planerade åtgärdernas påverkan på tillämpliga miljö kvalitetsnormer. SKB konstaterar att det inte finns någon beaktansvärd risk att den sökta verksamheten leder till att någon tillämplig norm inte kan följas.

SSM:s bedömning

Som framgår i Del IV, avsnitt 1.2 utgör en rimlighetsavvägning av skade- eller risk-förebyggande åtgärder en utgångspunkt för såväl strålsäkerheten som miljöskyddet. SSM bedömer att SKB:s redovisning av de allmänna hänsynsreglerna utifrån denna utgångspunkt är otydlig och delvis motsägelsefull.

Exempelvis för SKB, inom ramen för de redovisningar som lämnats som en del av ansökan och inom ramen för de kompletteringar som inkommit, resonemang om kostnadsaspekter och andra olägenheter kopplat till de åtgärder som avses att vidtas och som är av betydelse för strålsäkerheten. Samtidigt för SKB i vissa fall resonemang som innebär att åtgärder av betydelse för miljön inte får påverka strålsäkerheten negativt. I redovisningen av efterlevnad av 2 kap 3 § miljöbalken t.ex., diskuterar SKB avvägningar av betydelse för strålsäkerheten i fråga om alternativa tekniker och försiktighetsåtgärder, samtidigt som den sammanställning av förebyggande och konsekvenslindrande åtgärder som hänvisas till (kap 13 i miljöbalken) väsentligen exkluderar åtgärder av betydelse för strålsäkerheten. SSM bedömer att redovisningen ger en oklar beskrivning av ambitioner och avsikter.

Det finns bestämmelser inom ramen för strålsäkerhetsområdet som är ”absoluta” till sin karaktär, men som framgår ovan (Del IV, avsnitt 1.2) har regleringen inom strålsäkerhetsområdet, och inte minst i fråga om slutförvaring av kärnavfall, i hög grad samma utgångspunkter som de allmänna hänsynsreglerna, nämligen att det är nödvändigt med en rimlighetsavvägning i samband med tillämpning av bestämmelserna. Detta synsätt görs gällande i de föreskrifter som har utfärdats av SSM där det tydligt framgår att tillämpning av strålskyddsoptimeringen och bästa möjliga teknik måste göras med beaktande åtgärdernas effektivitet och rimlighet. På motsvarande sätt förs resonemang om att barriärsystemets utformning kan anpassas till avfallets karaktär i SSMFS 2008:21. Strålsäkerhetskraven måste därför ses som en integrerad del i ett större sammanhang.

2 Alternativredovisning – platsval och utformning av anläggningen

2.1 Krav

De allmänna hänsynsreglerna (2 kap. miljöbalken) syftar ytterst till att uppnå miljöbalkens mål i 1 kap. miljöbalken, att undvika skada eller olägenhet för människors hälsa eller miljön. Bestämmelserna enligt 2 kap. miljöbalken innehåller ett flertal övergripande bestämmelser som berör verksamheter som täcks av lagstiftningen. Detta gäller såväl de försiktighetsåtgärder som följer av 3 § liksom lokaliseringsprincipen enligt 6 § (se ovan). Den skälighetsavvägning som ska göras enligt 2 kap. 7 § innebär att orimliga krav inte bör ställas på verksamhetsutövaren med hänsyn till den effekt skyddsåtgärderna och försiktighetsmåten kommer att ha på miljön och kostnader för dessa åtgärder.

Vid prövning av ärenden om tillstånd enligt kärntekniklagen ska även en miljökonsekvensbeskrivning (MKB) upprättas i samband med ansökan. Enligt 6 kap. 7 § punkt 4 miljöbalken ska en MKB innefatta en redovisning av alternativa platser, om sådana är möjliga, samt alternativa utformningar tillsammans med en motivering till varför ett visst alternativ har valts, dels en beskrivning av konsekvenserna av att verksamheten inte kommer till stånd. Motivering av val av teknik, liksom val av plats, ska därmed redovisas inom ramen för MKB. Närmare redovisning och bedömning mot de krav som följer av miljöbalkens bestämmelser om MKB görs i Del IV, avsnitt 3.7.

Utöver kraven i miljöbalken prövas ansökningar enligt lagen om kärnteknisk verksamhet (kärntekniklagen) (1984:3) också mot de krav avseende plats- och metodvalet som följer av denna lag samt strålskyddslagen (1988:220). Genom att de båda speciallagstiftningarna inom området är s.k. ramlagar har myndigheten utvecklat föreskrifter i vilka strålskydds- och säkerhetskraven preciseras.

I myndighetens föreskriftssamling är det två författningar som specifikt adresserar det slutliga omhändertagandet av kärnavfall, dels SSM:s föreskrifter (SSMFS 2008:37) om skydd av människors hälsa och miljön vid slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle och kärnavfall, dels SSM:s föreskrifter (SSMFS 2008:21) om säkerhet vid slutförvaring av kärnämne och kärnavfall. Till respektive författningssamling har myndigheten också tagit fram allmänna råd om föreskrifternas tillämpning.

I SSMFS 2008:37 ställs krav på ett slutförvars lokalisering, konstruktion och utförande tillsammans med ett övergripande funktionskrav i form av ett riskkriterium för bedömning av påverkan på människors hälsa. I synnerhet ställs krav på tillämpning av strålskyddsoptimering och att hänsyn ska tas till bästa möjliga teknik bl.a. i samband med att metoden utvecklas (4 §). I allmänna råden till bl.a. 4 § SSMFS 2008:37 anges att beaktande av bästa möjliga teknik i samband med ett slutförvar omfattar, utöver val av systemkomponenter för att förhindra, begränsa och fördröja utsläpp så långt som rimligt möjligt, även frågan om val av plats och tillhörande geologiska barriärer. Avvägning mellan olika åtgärder bör göras genom en samlad bedömning av deras påverkan på slutförvarets skyddsförmåga. För fall där de beräknade riskerna är behäftade med stora osäkerheter, t.ex. vid analyser av slutförvaret lång tid efter förslutning, eller analyser som görs i ett tidigt skede av utvecklingsarbetet med slutförvarssystemet, bör större tyngd läggas på bästa möjliga teknik. Enligt de allmänna råden bör hänsyn tas vid tillämpning av bästa möjliga teknik även till möjligheten att begränsa sannolikheten för, och konsekvenserna av, oavsiktlig framtida mänsklig påverkan för slutförvaret.

Av SSMFS 2008:21 gällande kraven på barriärssystemet följer att skyddet ska upprätthållas med ett system av passiva barriärer, att skyddet ska upprätthållas av flera barriärer samt att barriärssystemet ska utformas med hänsyn till bästa möjliga teknik. Av de allmänna råden framgår att tillämpningen av kraven kan ske med beaktande av avfallets egenskaper.

I bedömningen av de krav som anges i SSM:s föreskrifter har ansatsen varit att kraven ska tillämpas med utgångspunkt från avfallets radiologiska farlighet. Lägre krav bör således ställas på en förvarsdels barriärfunktion där lågaktivt avfall ska slutförvaras jämfört med en förvarsdels medelaktivt avfall. Detta synsätt har också varit utgångspunkt för bedömningen av alternativa utformningar för de olika förvarsdelar som planeras i utbyggnaden. I en sådan bedömning innefattas en värdering av erforderlig barriärnivås tålighet och robusthet gentemot interna och externa förhållanden, händelser och processer som kan påverka givet barriärssystem efter slutlig förslutning. Utöver denna aspekt har myndigheten även beaktat parametrar såsom relativ kostnad för olika alternativ och huruvida de olika alternativa utformningarna utgör beprövade tekniker i termer av uppförande och drift. Myndighetens samlade bedömning av vilken utformning som kan betraktas som lämpligast utifrån en optimeringssynpunkt och med beaktande av bästa möjliga teknik baseras sedan på en helhetsavvägning där samtliga dessa aspekter vägs in.

Utöver dessa bestämmelser innehåller de båda författningssamlingarna också krav på hur analysen av det långsiktiga strålskyddet och säkerheten ska redovisas m.m.

Även i flera av myndighetens övriga författningar ställs krav som påverkar metodvalet och den valda metodens närmare utformning. Detta gäller exempelvis SSM:s föreskrifter (SSMFS 2008:1) om säkerhet vid kärntekniska anläggningar, SSM:s föreskrifter (SSMFS 2008:26) om personstrålskydd i verksamhet med joniserande strålning vid kärntekniska anläggningar samt SSM:s föreskrifter (SSMFS 2008:12) om fysiskt skydd av kärntekniska anläggningar.

Remissinstansers synpunkter

Mittuniversitetet

Remissinstansen anför följande (SSM2015-1640-27): Att ta fram alternativa metoder/tekniker och alternativa platser till den sökandes huvudalternativ följer en viss enkel logik, där först det objektiva syftet med verksamheten klargörs. I detta fall är syftet att långsiktigt och med radiologisk säkerhet omhänderta låg- och medelaktivt kärnavfall. Utifrån detta kan sedan alternativa metoder/tekniker beskrivas. När bästa metod utifrån diverse kriterier bestämts – vilket kan men inte behöver vara den sökandes huvudalternativ – undersöks sedan alternativa platser för denna metod. SKBs ansökan brister i krav om att utreda metod/teknik alternativ, vilket är ett lagkrav enligt miljöbalkens kapitel 6, 7§. Vad gäller alternativ metod tar ansökan i detta fall endast upp olika utformningar av en utbyggnad av det befintliga SFR-lagret i Forsmark. Någon redovisning av andra metoder som diskuterats i andra länder, eller inom forskning på området redovisas inte, såsom t.ex. transmutation eller andra tekniker för att minska strålningsintensiteten i avfallet.

Detta ärendes speciella karaktär, med mycket stora risker samt långsiktiga miljö-och hälsoaspekter, understryker det speciella ansvar som vilar på vår generation, nämligen att se till att det bästa metod/teknik-alternativet för ett slutförvar av kärnavfall förläggs på en så säker plats som möjligt. Emellertid brister SKBs ansökan även vad gäller redovisning av alternativa platser, vilket medför att det inte går att uttala sig om huruvida huvudalternativet för platsvalet är tillräckligt bra. Så t.ex. har Hultsfred som alternativ plats inte

berörts trots att SKI, SGU, SSI och Hultsfreds kommun 2003 ansett att SKB ”bör ta fram ett bättre underlag för sin bedömning att in- och utströmningsområden inte är en viktig lokaliseringsfaktor”. Vidare skickade SSM den 2013-12-17 ”en begäran om komplettering av ansökan rörande Hultsfred som alternativ plats” (samrådsprotokoll 2014-02-01). De referensområden som SKB tagit med, är summariskt redovisade och har uteslutits på kortsiktiga lokal grunder. Att kommuner tackar nej till medverkan i SKBs lokaliseringsprocess eller att provborrningar mött på motstånd kan inte tillåtas vara avstyrande när det gäller att få fram bästa möjliga plats. Ärendet gäller framtida generationers hälsa och säkerhet och måste behandlas utifrån ett nationellt långsiktigt perspektiv. Vidare kan SKBs hänvisning till Kävlinge översiktsplan, där kommunen har prioriterat en snabb avveckling av Barsebäcksanläggningarna, inte heller tillåtas vara ett överordnat skäl till att forcera fram beslut. Miljösäkerheten i det långa perspektivet får inte riskeras utifrån kortsiktiga lokala intressen.

SSM:s beaktande av remissinstansers synpunkter

SSM delar Mittuniversitetets synpunkt att platsvalet för ett slutförvar är en viktig frågeställning. SSM har därför inom ramen för det arbete som SKB har genomfört verkat för att SKB ska utvärdera vilka fördelar från långsiktig strålsäkerhetssynpunkt en annan lokalisering skulle innebära jämfört med den föreslagna. SSM har i granskningen dragit slutsatsen att en förläggning i ett mer sprickfritt berg har vissa fördelar i ett mycket långt tidsperspektiv. Genom att vidta åtgärder för att begränsa avfallets innehåll av radionuklider med mycket lång halveringstid bedömer SSM att dessa skillnader kan begränsas. I ett kortare tidsperspektiv bedöms den föreslagna lokaliseringen lämpligare än en lokalisering i inlandet. SSM bedömer därför att SKB:s val av plats för den sökta verksamheten kan godkännas med avseende på platsvalet (SSM, 2019, del IV avsnitt 2.2).

SSM delar Mittuniversitetets synpunkt att kortsiktiga mål inte utan vidare får forcera fram ett beslut. Ett sådant exempel gäller SKB:s och reaktorinnehavarnas ursprungliga planer på att slutförvara reaktortankarna utan segmentering. SSM bedömde att SKB:s redovisning och argumentation var bristfällig och planerna har sedan dess setts över. SSM vill samtidigt betona att det också finns skäl för att inte heller onödigtvis senarelägga avvecklingen av reaktorerna. Det finns exempelvis risker kopplade till förlust av kunskap och kompetens med att skjuta på avvecklingen alltför långt in i framtiden. Det kan noteras att SSM:s föregångare SSI (Statens strålskyddsinstitut) har verkat för att reaktorinnehavarna bör se på möjligheterna att inleda avvecklingen även i avsaknad av ett utbyggt förvar där rivningsavfallet kan slutförvaras.

SSM delar delvis den kritik som riktas mot den presenterade redovisningen av alternativa metoder och utformningar, vilken delvis saknas i MKB (SSM, 2019, Del IV, avsnitt 3.7). Alternativet transmutation är dock knappast aktuellt för det nu aktuella avfallet, utan är en teknik som diskuteras i samband med omhändertagande av det använda kärnbränslet.

2.2 Alternativa platser

Frågan om alternativa lokaliseringar i samband med provningen av utbyggnad av slutförvaret blir av uppenbara skäl begränsad till tillkommande delar av anläggningen. SSM har vid flera tillfällen under samråden och i yttranden över Fud-programmet framfört att myndigheten förstår fördelarna med en samförläggning med det befintliga slutförvaret för driftavfall, men att det befintliga förvarets lokalisering inte kan vara den enda styrande faktorn som avgör var ett slutförvar för låg- och medelaktivt rivningsavfall förläggs. SSM har framfört att SKB behöver värdera om det från strålsäkerhetssynpunkt finns skäl som

sammantaget innebär att en annan lokalisering kan anses optimerad från strålskydds-synpunkt, med beaktande av ekonomiska och samhällsliga faktorer. SSM har däremot inte efterfrågat mer än en platsundersökning, utan har menat att en sådan bör motiveras utifrån en jämförande utvärdering av realistiska alternativ med hänsyn tagen till strålsäkerhet. Även efter ansökan inlämnades har SSM pekat på behovet av ytterligare utredningar och begärt kompletteringar av underlaget till ansökan. SKB lämnade kompletteringar till sin ansökan angående denna fråga under 2016 och 2017. SSM anser att det kompletterade underlaget utgör ett tillräckligt material för att kunna bedöma SKB:s val av förläggnings-plats för slutförvaring av låg- och medelaktivt rivningsavfall som ansökan omfattar.

SKB:s redovisning

I ansökans toppdokument beskriver SKB att de grundläggande förutsättningarna för lokaliseringen är att den geologiska formationen ger tillräckligt stabila och gynnsamma förhållanden, att den berörda kommunen är positiv till lokaliseringen och att platsen är lämplig med hänsyn till att ändamålet ska kunna uppnås med minsta intrång¹⁹ och olägenhet för människors hälsa och miljö. Platsen ska också vara belägen på tillräckligt avstånd från naturresurser som utnyttjas, eller kan komma att utnyttjas i framtiden.

Inför uppförandet av den befintliga anläggningen studerade SKB tänkbara förläggnings-platser och slutsatsen var att mycket goda förutsättningar fanns i Forsmark. Inför ansökan om utökad verksamhet har SKB analyserat alternativa lokaliseringar till utbyggnaden. De av SKB i samband med lokaliseringen av kärnbränsleförvaret undersökta 11 områdena har betraktats som möjliga alternativ i bedömningen.

- Kamlunge
- Gideå
- Svartboberget
- Forsmark, SFR
- Forsmark, kärnbränsleförvaret
- Finnsjön
- Fjällveden
- Äspö
- Simpevarp
- Laxemar
- Klippersås

I avsnitt 11.1 i MKB redovisar SKB lokaliseringsanalysen och hänvisar för närmare information till SKB P-13-01. SSM begärde kompletterande information kring lokaliseringsutredningen (SSM2015-725-7, SSM2015-725-33) och SKB inkom med svar på dessa begäranden (SKB dokID 1590442 med bilaga SKB dokID 1578361 respektive SKB dokID 1550443 med bilaga SKB dokID 1534753).

SKB har i jämförelsen i MKB av platserna utgått ifrån faktorerna strålsäkerhet, teknik för genomförande, miljö och hälsa samt samhällsaspekter. Utifrån erfarenheter från tidigare långsiktiga säkerhetsanalysen SAR-08 sammanställde SKB säkerhetsrelaterade utvärderingsfaktorer. Dessa är

¹⁹ Intrång har här en annan mening än när begreppet intrång vanligen används i slutförvarssammanhang där det vanligen syftar till framtida mänskliga handlingar som kan påverka slutförvarets skyddsförmåga och omgivningskonsekvenserna.

- Låg vattengenomsläpplighet i berggrunden
- Låg hydraulisk gradient
- Reducerande förhållanden
- Låg seismisk aktivitet
- Avsaknad av malmpotential
- Låg risk för brunnborrning

Av de analyserade alternativa platserna befanns alla lämpliga från strålsäkerhetssynpunkt förutom Svartboberget där det kan finnas malmpotential. SKB drar slutsatsen att inget av de övriga referensområdena framstår som uppenbart mest lämpligt vid jämförelsen av de ovan listade strålsäkerhetsrelaterade faktorerna, vilket närmare redogörs för i SKB P-13-01. När de övriga faktorerna teknik för genomförande (inklusive kostnader), miljö och hälsa samt samhällsaspekter vägs in bedömer SKB att det är mycket tveksamt om andra platser än Simpevarp, Laxemar eller de två platserna i Forsmark är tillgängliga som alternativ. Därför anses Simpevarp och Laxemar vara de enda platserna som är ett realistiskt alternativ till Forsmark. I underlagsrapporten SKB P-13-01 diskuteras olika förläggningsplatser vid Simpevarp, och alternativet med en förläggning under havet utanför halvön lyfts fram som fördelaktigt utifrån risken för oavsiktligt intrång, detta eftersom förvaret bedöms vara vattentäckt i 9000 år efter förslutning. I avsaknad av andra strålsäkerhetsmässiga fördelar, men däremot nackdelar som t.ex. sämre förutsättningar för att kartera berggrunden, förväntat högre grundvattenflöde i geosfären för tiden efter 9000 år, ökade kostnader samt att nedfartstunnlarna behöver passera en regional sprickzon, väljer SKB att utgå från en inlandsförläggning under Ävrö vid Simpevarpshalvön.

Vid en jämförelse mellan Simpevarp (Ävrö) och Forsmark är de industriella fördelarna vid befintligt SFR uppenbara och SKB bedömer att miljöpåverkan minimeras vid en samförläggning. Strålsäkerhetsmässigt bedömer SKB att det är små skillnader mellan de två alternativen men att dessa är till Forsmarks fördel. Vid en jämförelse mellan sökt plats och en förläggning i den s.k. tektoniska lins där kärnbränsleförvaret planeras bedömer SKB att den alternativa förläggningen sannolikt har en lägre vattengenomsläpplighet, medan den hydrauliska gradienten kommer att vara högre under de första tusen åren efter förslutning. Frågan om interaktion mellan slutförvaren bedöms också som sämre. I övrigt konstaterar SKB att platserna från strålsäkerhetssynpunkt är likvärdiga. I utredningen konstaterar SKB ökade kostnader och vissa andra olägenheter till följd av samlokaliseringen.

Remissinstansers synpunkter

Naturskyddsföreningens och Miljöorganisationernas kärnavfallsgranskning

Redovisning av alternativ lokalisering i ett inströmningsområde i inlandet

Föreningarna yrkar på (SSM2015-1640-32) att sökanden kompletterar ansökan med en redovisning av hur den långsiktiga säkerheten för ett nytt slutförvar på större djup skulle kunna förbättras vid en lokalisering i ett inströmningsområde för storregional grundvattenströmning. Detta arbete kan med fördel samordnas med ett motsvarande arbete att ta fram ett bättre underlag i den motsvarande frågeställningen i prövningen av ansökan om att bygga ett slutförvarssystem för använt kärnbränsle.

Redovisning av alternativa utformningar/metoder

Föreningarna anser (SSM2015-1640-32) att sökanden bör utreda alternativa utformningar av det nya slutförvaret, SFR 2. För det första bör en utformning med samma lokalisering fast på ett betydligt större djup utredas. För det andra bör en alternativ utformning där

kokarreaktortankarna inte slutförvaras hela utredas. För det tredje bör en alternativ utformning vid en inlandslokalisering i ett inströmningsområde för storregional grundvattenströmning utredas.

1. Föreningarna yrkar på att sökanden utreder hur en utformning på ett större djup påverkar utsläppen till havet under de första tusen åren om slutförvaret snabbt börjar läcka.
2. Föreningarna yrkar på att sökanden i ansökan och MKB:n redovisar en optimal utformning av en anläggning där kokarreaktortankarna inte slutförvaras hela.
3. Föreningarna yrkar på att sökanden i ansökan och MKB:n redovisar hur deponeringsdjupet påverkar möjligheterna att utnyttja storregionala grundvattenströmmar för att uppnå större långsiktigmiljösäkerhet vid en inlandslokalisering i ett inströmningsområde.

Redovisningen av nollalternativet

Föreningarna yrkar på (SSM2015-1640-32) att sökanden som en del av nollalternativet bör beskriva hur det nuvarande SFR-1 kan tömmas på sitt innehåll och hur innehållet kan mellanlagras i avvaktan på slutförvaring i ett annat, miljömässigt bättre, slutförvar.

Prövning av SFR2 som en utbyggnad hindrar inte att en fullständig miljöprövning görs

Föreningarna har tidigare menat att prövningen ska utformas som en tillåtlighetsprövning av en ny verksamhet. Regeringen har dock beslutat att följa ansökan, och kommer därför att tillåtlighetspröva SFR2 som en utbyggnad av befintlig anläggning (SFR). Föreningarna menar att denna inriktning av processen inte får förhindra regeringen i sin tillåtlighetsbedömning att grundligt bedöma om det är en lämplig lokalisering av det tillkommande SFR2 och inte heller att analysera om den teknik som användes vid uppförandet av SFR fortfarande kan anses vara den bästa möjliga tekniken för ett nytt SFR2.

Betydelsen av storregionala grundvattenströmmar, samt betydelsen av ”pockmarks” på havsbotten

Föreningarna vill belysa betydelsen av de storregionala grundvattenströmmarna, betydelsen av eventuella ”pockmarks” på havsbotten som kan innebära att det skyddande sedimentlagret inte alls är så tätt som tidigare har påståtts.

Val av plats

Föreningarna har under kompletteringsfasen efterfrågat en fullgod analys av alternativa lokaliseringar för SFR 2. Trots att regeringen har bestämt att målet ska handläggas som en utbyggnad av befintligt SFR, så ska det ändå göras en lokaliseringsbedömning av den nu sökta utbyggnaden. Sökanden har i ansökan och MKB i huvudsak undersökt en alternativ lokalisering på Simpevarpshalvön där Oskarshamns kärnkraftverk är lokaliserad. Sökanden fann då inga fördelar jämfört med en lokalisering i Forsmark.

Sedan början på 2000-talet har det pågått en vetenskaplig diskurs om det kan vara säkrare att lokalisera ett slutförvar för radioaktivt avfall i ett inströmningsområde för storregional grundvattenströmning. Föreningarna har i miljöprövningen av slutförvaret för använt kärnbränsle framfört att en sådan lokalisering, där det kan ta tiotusentals år för radioaktiva ämnen att nå markytan, kan vara bättre än en kustnära lokalisering där det i stället är en fråga om mindre än hundra år. Dessa tidsperspektiv gäller vid en slutförvaring på ca 500 meters djup. Sökanden anser inte att det är visat att en sådan lokalisering skulle ge högre strålsäkerhet. Föreningarna anser att det skulle vara uppenbart bättre ur långsiktig strål-

säkerhetssynpunkt att lokalisera SFR 2 i ett inströmningsområde för storregional grundvattenströmning. Sådana områden är exempelvis lokaliserade inåt landet i Oskarshamns kommun och i Hultsfreds kommun.

Mittuniversitetet

Remissinstansen anför följande (SSM2015-1640-27): Den ansökta verksamheten prövas bl.a. enligt kärntekniklagen (tillstånd), enligt miljöbalken (tillåtlighet och krav om miljökonsekvensbeskrivning – MKB), EGs direktiv och Esbokonventionen om MKB. Det är dock oklart hur ansökan ska prövas. SKB skriver i sin preliminära MKB från 2011 att ansökan avser ”mellanlagring, inkapsling och slutförvar av använt kärnbränsle och om *tillåtlighet och tillstånd*” (vår kursivering). Det är också så som övriga parter anser att ärendet ska prövas, vilket framgår av bl.a. samrådsprotokollen där myndigheter, Östhammars kommun och deltagande organisationer explicit tar upp detta. SKB har emellertid, sedan MKB från 2011, förändrat texten till att gälla ”tillstånd enligt lagen (1984:3) om kärnteknisk verksamhet till utökad verksamhet vid anläggning för slutförvaring av låg- och medelaktivt radioaktivt avfall (SFR) med mera i Forsmark, Östhammars kommun, Uppsala län”. SKB hävdar därmed att ansökan endast gäller tillstånd om en utbyggnad av befintligt förvar och inte regeringens prövning av tillåtligheten av en separat enhet. Det är också utifrån denna skrivning som SKB har arbetat fram ansökan. Myndigheter och andra parter anser dock att ansökan, för att vara acceptabel, ska redovisa avfallsförvaret som en fristående enhet med krav om tillåtlighet enligt kap 17 miljöbalken. Regeringen, som i denna fråga uppvaktats av både Östhammars kommun och SKB, har ännu inte beslutat i frågan (e-mail från SSM den 2015-09-15). Redan dessa oklarheter gör att Mittuniversitetet anser att ansökan inte är fullgod.

Nils-Axel Mörner

Remissinstansen anför följande (SSM2017-5439-9): SKB:s ansökningshandlingar saknar klagörande och till och med behandling av ett antal fundamentala frågor för SFR-lagrens säkerhet och läckage till Östersjön. Vid MMD-förhandlingarna rörande högaktivt kärnbränsleavfall hävdade SSM att SKB inte behöver visa att de löst klart avgörande problem, utan att de bara behövde visa att de hade förmågan att kunna komma att lösa dessa frågor på ett tillfredsställande sätt. Jag vill hävda att SKB i sina ansökningshandlingar uppvisat att man på intet sätt klarat av att påvisa en långtida säkerhet (ett par 1000 år upp till 10.000 år) för de båda SFR-förvarerna. Inte heller har de uppvisat adekvat lyhördhet och vetenskaplig bredd för att man skall kunna tro att de har förmågan att kunna komma att lösa dessa problem. När det gäller låg- och medelaktivt avfall föreligger det inget terroristhot (så som anses vara fallet med det högaktiva avfallet), därför saknas egentligen argument för att förvara detta avfall djupt ner i berget i ”våt-miljö” i grundvattnet under Östersjön. En torr förvaring (med bevarad handlingsfrihet och med fortlöpande kontrollmöjlighet) framstår som vida mer attraktiv – och säker.

SSM:s beaktande av remissinstansers synpunkter

SSM delar remissinstansernas synpunkter att lokaliseringen av utbyggnaden av SFR i anslutning till befintligt förvar inte kan tas för given. SSM har vid upprepade tillfällen sedan 2007, när arbetet inleddes, framfört att de fördelar som en samförläggning av uppenbara skäl innebär, måste värderas mot eventuella strålsäkerhetsmässiga fördelar med en alternativ lokalisering. SSM har däremot inte på förhand kunnat motivera genomförandet av en ytterligare en platsundersökning, utan avsikten var att först värdera hur stor betydelse en alternativ och lämpligare plats kan ha för strålsäkerheten. SSM ser ett begränsat värde av att genomföra en ytterligare undersökning i sig, utan syftet måste rimligen vara att identifiera om det finns en alternativ plats som preliminärt kan bedömas vara lämpligare från strålsäkerhetssynpunkt.

SSM har i granskningen dragit slutsatsen att en förläggning i ett mer sprickfritt berg har vissa fördelar i ett mycket långt tidsperspektiv. Detsamma gäller om en plats med mycket långa transporttider från förvarsdjup kan identifieras. Genom att vidta åtgärder för att begränsa avfallens innehåll av radionuklider med mycket lång halveringstid bedömer SSM att dessa skillnader kan begränsas. I ett kortare tidsperspektiv bedöms den föreslagna lokaliseringen lämpligare än en lokalisering i en mer sprickfri berggrund i inlandet. SSM bedömer därför att SKB:s val av plats för den sökta verksamheten kan godkännas med avseende på platsvalet (SSM, 2019, del IV, avsnitt 2.2).

SSM delar inte MKG:s resonemang i fråga om redovisningen av nollalternativet. För det befintliga SFR gäller tills vidare de tillstånd som utfärdades i början av 1980-talet och så länge verksamheten bedrivs inom ramen för dessa tillstånd och den utveckling av regleringen som skett, exempelvis genom fastställande av riskkriteriet i SSMFS 2008:37 bör det inte föreligga hinder för en fortsatt drift. I den mån som tillstånd i enlighet med ansökan skulle beviljas för utbyggnad och en integrerad verksamhet av den befintliga anläggningen och utbyggnaden så gäller befintligt tillstånd med dess begränsningar. Det faller på sin orimlighet att lokaliseringen och den grundläggande utformningen av den befintliga anläggningen är föremål för omprövningen.

Om det å andra sidan står klart att begränsningarna kopplade till den tillståndsgivna verksamheten för den befintliga anläggningen inte följs så kan åtgärder behöva vidtas. Detta gäller exempelvis det av SKB planerade återtaget av det feldemonstrerade S.14-avfallet.

Avseende frågan kring storregionala grundvattenflöden som lyfts av MKG konstaterar SSM att uppehållstiden är beroende på transportlängden och storleken på vattenflödet. Långa transporttider kan således orsakas av antingen långa transportvägar och/eller låga vattenflöden beroende vilken flödesparameter som är den dominerande. För en lokalisering av förvaret nära kusten kommer transporttiden *generellt sett* att vara kortare än en inlandslokalisering då grundvattenflödet är riktat uppåt eller ut i havet. Detta kan dock inte sägas gälla överallt utan är beroende på de faktiska förhållandena på plats. Den planerade placeringen under havet innebär dock låga grundvattenflöden pga. obefintlig hydraulisk gradient under den inledande tidsperioden.

Under förutsättning att allt annat är lika mellan vald plats och en hypotetisk inlandsplacering där det antas att hypotetiska platsundersökningar visar långa uppehållstider för grundvattenflödet på förläggingsdjupet kommer en inlandslokalisering de inledande 1000 åren när aktiviteten är som högst i *mindre utsträckning begränsa* sannolikheten för, och konsekvenserna av, oavsiktligt intrång. En plats med havstäckning de inledande 1000 åren har en fördel då den i *högre utsträckning begränsar* sannolikheten för oavsiktligt intrång när konsekvenserna av ett sådant är störst.

För tiden när vald plats befinner sig ovanför strandlinjen kommer även dess fördel gällande att begränsa sannolikheten för oavsiktligt intrång att vara borta. För denna period är därför en lokalisering med längre transporttid än vald plats, oavsett dess orsak, att vara fördelaktigare. Längre transporttid innebär inte bara att aktiviteten klingar av utan även att den förorenade grundvattenplymen breder ut sig lateralt (främst lång transportsträcka) vilket leder till dels en utspädning av radionukliderna och lägre koncentrationer, dels en större yta i berget för radionukliderna att sorbera på. För denna period är det därför viktigt att värdera de olika bergsalarnas skyddsförmåga i relation till deras innehåll av mer långlivade radionuklider. En sådan värdering har SSM gjort och bedömer att SKB, genom att begränsa mängden långlivade radionuklider som placeras i SFR, även begränsar de strålsäkerhetsmässiga fördelarna för tiden efter 1000 år efter förslutning för en alternativ

placering. Till detta ska även hänsyn tas till de samordningsfördelar en samförläggning av utbyggnaden till befintlig anläggning medför.

Vidare bedömer SSM att en storregional hydraulisk gradient bör vara beroende av vidsträckt vattenförande laterala strukturer vilket mer är förknippat med sedimentär berggrund eller okonsoliderade sediment och inte en kristallin berggrund så som är fallet för Forsmark. I kristallin berggrund styrs vattenflödet helt av spröda strukturer, så som sprickor och sprickzoner/deformationszoner, och deras konnektivitet. I tillägg till detta skärs berggrunden i Forsmark av flera subvertikala deformationszoner av olika storlek, vilka generellt sett karakteriseras av hög vattengenomsläpplighet. Dessa vattengenomsläppliga strukturer bör i SSM:s bedömning kortsluta en eventuell storregional hydraulisk gradient. SSM bedömer därför att en mycket låg hydraulisk gradient de inledande 1000 åren när vattentäckta förhållanden råder är att förvänta.

SKB har studerat kraterområdet på havsbotten kring SFR för att utröna om kratrarna kan vara orsakade av utströmmande grundvatten eller gas, så kallade pockmarks. SKB:s undersökning visar att kratrarna är naturliga sänkor i havsbotten, och inte orsakade av utströmmande vatten eller gas (SKB P-14-09). SSM bedömer att denna undersökning inte kan anses vara tillräckligt tillförlitlig för att helt avgöra att utströmmande vatten inte orsakat dessa strukturer. Exempelvis baseras undersökningen på ett fåtal vattenprovtagningar under en kort tidsrymd. SSM anser att utströmningen inte nödvändigtvis är ett kontinuerligt vattenflöde. För att fånga upp ett sådant vattenutflöde, och vidare undersöka dessa strukturers genes, krävs det således ytterligare studier och längre tidserier med provtagningar av vattenkemin.

Nils-Axel Mörner förordar en torr förvaring, vilket SSM utgår ifrån är Nils-Axel Mörners koncept som vid remissyttrandet till SKB:s ansökan om ett slutförvar för använt kärnbränsle kallas för dry rock repository (DRD) (SSM 2018:03). För ett slutförvar av använt kärnbränsle gjorde SSM bedömningen att DRD-konceptet baseras på övervakad lagring av det radioaktiva avfallet och därför inte är en långsiktig lösning av hantering av radioaktivt avfall (SSM 2018:03). DRD-konceptet bygger på förvaring i ett kuperat landskap där en erforderlig mängd bergvolym, som ligger ovanför sin omgivning, kan husera det radioaktiva avfallet. Bergmassan som huserar avfallet hålls torr genom att grundvattnet leds bort genom artificiella krosszoner, vilket via ett dräneringssystem förs vidare bort från förvaret. SSM delar bedömningen att det i princip kan finnas fördelar med ett koncept som innebär att avfallet hålls torrt, i stället för att det deponeras i grundvattnet. DRD-metoden är dock ännu i ett konceptstadium och det finns grundläggande oklarheter kopplade till möjligheten att upprätthålla de principer som metoden bygger på över de långa tidsrymder som är aktuella. Utifrån remissinstansens redovisning finns det också oklarheter i vilken utsträckning metoden baseras på att avfallet ska förbli tillgängligt för kontroll, reparation och även, om så bedöms vara nödvändigt, flyttning. SSM anser att det inte är ett godtagbart alternativ, om så är fallet, att kräva kontrollprogram för exempelvis vattenhanteringen och bergstabiliteten. I så fall skulle DRD-metoden klassas som övervakad lagring, vilket myndigheten bedömer inte är en alternativ slutförvarsmetod av radioaktivt avfall. I tillägg krävs det omfattande platsundersökningar och en ny samrådsprocess för att finna en lämplig bergvolym med de egenskaper som eftertraktas för DRD-konceptet. SSM vill även poängtera att eventuella strålsäkerhetsfördelar som DRD medför är på lång sikt, en fördel som begränsas vid begränsningar av avfallets inventarium. Se även texten ovan som jämför vald lokalisering med en inlandslokalisering i ett mer sprickfritt berg.

SSM:s bedömning

Lokaliseringsfaktorer

SSM fokuserar sin bedömning av lokaliseringen av slutförvarets tillkommande delar av slutförvaret på faktorer som påverkar strålsäkerheten på lång sikt. Utifrån platsens geologiska, hydrogeologiska och geokemiska egenskaper, vilka bedöms utförligt i del III av granskningsrapporten (avsnitt 3.3, 3.5 och 3.6) som avser geosfären för den förordade platsen, bedömer SSM att den valda lokaliseringen är lämplig utifrån perspektivet strålsäkerhet efter slutlig förslutning av förvaret. Utöver denna bedömning behöver lokaliseringsdiskussionen innefatta ställningstagande avseende om platsen kan bedömas som den lämpligaste av de alternativ som anses vara tillgängliga med hänsyn tagen till verksamhetens ändamål, kostnader och andra faktorer av betydelse.

SSM bedömer att SKB gör en godtagbar avgränsning av lokaliseringen med de grundläggande krav SKB ställer på platsen som innebär att berggrunden ska medge en långsiktigt strålsäker förvaring, att det kan ske minsta intrång för människors hälsa och miljö och att det måste finnas en politisk och allmän acceptans i den berörda kommunen och bland närboende. Utan dessa förutsättningar bedömer SSM att det inte kan förväntas vara möjligt att genomföra projektet, även om SSM anser att strålsäkerheten måste betraktas som den vägledande faktorn.

SSM bedömer att de platsvalsfaktorer kopplade till strålsäkerhet som SKB har valt att utvärdera de olika platserna emot är lämpliga. SSM anser väsentligen att faktorerna återspeglar resultaten från tidigare strålsäkerhetsanalyser, exempelvis SAR-08, som pekar på att vattenflödena genom förvarssalarna och berget är centrala parametrar liksom reducerande förhållanden i berggrunden. Skadliga effekter på barriärsystemet genom seismisk aktivitet är också en faktor av betydelse för strålsäkerhetsanalysens resultat. Avsaknad av malmpotential och låg sannolikhet för brunnborrning är betydelsefulla för att undvika negativ påverkan på anläggningen genom mänsklig aktivitet i en framtid när kännedomen om anläggningen kan ha gått förlorad.

SSM konstaterar att SKB inte har valt att inkludera grundvattnets salthalt i utvärderingen av lokaliseringsfaktorer. Givet erfarenheterna från driften av det befintliga SFR rörande korrosion av såväl tekniska installationer som förvarets tekniska barriärer anser SSM att det hade varit informativt om detta hade inkluderats, även om de negativa effekterna under drift i viss utsträckning kan motverkas t.ex. genom att betongbarriären utförs enligt exponeringsklass för marin anläggning, genom installation av tekniska anordningar som tunneldukar, eller genom att minimera användning av armeringsjärn i konstruktionen av förvarsdelarna. En ytterligare faktor att beakta är att förläggning i ett saltare grundvatten bedöms minska risken för oavsiktligt intrång, t.ex. genom dricksvattenbrunnar.

Jämförelse mellan Simpevarp/Laxemar och Forsmark

SSM delar SKB:s bedömning att Simpevarp/Laxemar i Oskarshamns kommun är ett realistiskt alternativ till en lokalisering i Forsmark, främst pga. att en samhällelig acceptans i en kommun med flera andra kärntekniska anläggningar föreligger samt att det finns en befintlig infrastruktur för transporter av kärnavfall. SSM bedömer i likhet med SKB att samordningsvinster genom en förläggning av det planerade slutförvaret i anslutning till SFR i Forsmark är uppenbara.

SSM kan dock konstatera att underlagsrapporten SKB P-13-01, till skillnad från redovisningen som finns i MKB, också översiktligt utvärderar en alternativ förläggning under havet utanför Simpevarp. I likhet med förläggningsplatsen i anslutning till befintliga SFR kan risken för intrång i princip uteslutas för denna plats innan landhöjningen höjt

anläggningen under land. En skillnad är dock att tiden platsen ligger under vatten bedöms vara ca 9000 år utanför Simpevarp, jämfört med ca 1000 år vid SFR. Förläggningen under vatten bör också innebära låga grundvattenflöden, bl.a. till följd av den låga hydrauliska gradienten, och sannolikt också innebära en förläggning i ett salt grundvatten. SSM delar SKB:s bedömning att det finns flera kvarstående oklarheter gällande denna förläggningsplats, främst till följd av den mycket begränsade informationen som finns tillgänglig om berggrunden under havet utanför Simpevarp (SKB P-13-01, avsnitt 5.3). För att bedöma platsens egenskaper på ett mer utförligt sätt skulle det därför krävas platsundersökningar. SSM bedömer, liksom SKB anger i rapporten P-13-01, att platsundersökningar utanför Simpevarp skulle vara resurskrävande och svåra att genomföra. Resultaten skulle sannolikt vara förknippade med större osäkerheter gällande bergdomänens geometriska utformning och egenskaper. I tillägg till detta innebär förläggningsplatsen även vissa byggnadstekniska utmaningar, bl.a. behöver en 150 m tjock deformationszon passeras för att förläggningsplatsen ska kunna nås från land.

Andra lokaliseringsalternativ

Vad det gäller andra platser bedömer SSM att det är ett godtagbart tillvägagångssätt att utgå från de referensområden som har ingått i platsvalsprocessen för slutförvaret för använt kärnbränsle som utgångspunkt för utvärderingen av alternativa platser för utbyggnaden av SFR. Platserna har en stor geografisk spridning inom landet och representerar inlands- och kustlokaliseringar samt olika geologiska förutsättningar. Därutöver finns geovetenskapliga data som har sammanställts för en jämförelse av faktorer relaterade till ett slutförvars skyddsförmåga på lång sikt. SSM anser att det är rimligt att platser har uteslutits som ligger i fjällkedjan, Skåne och på Gotland givet att de geologiska betingelserna i dessa områden kan anses mindre lämpliga för ett geologiskt slutförvar.

SSM delar SKB:s slutsatser att inget av de områden som har ingått i jämförelsen framstår som ett från långsiktig strålsäkerhetssynpunkt uppenbart mer lämpligt alternativ. Under beredningen ansåg dock SSM att jämförelsen mellan de två platserna i Forsmark inte tydligt återspeglade eventuella strålsäkerhetsmässiga fördelar med en lokalisering i den så kallade Forsmarklinsen, eller i en annan lokalisering med liknande geologiska egenskaper. Därför begärde SSM ytterligare information om detta (SSM2015-725-7). Att SSM särskilt har efterfrågat jämförande analyser för platsen vid det planerade slutförvaret för använt kärnbränsle beror i första hand på att de geologiska egenskaperna i detta område är relativt kända, och dessutom potentiellt gynnsamma, och skulle därför kunna ge underlag för en mer kvantitativ bedömning, snarare än att SSM specifikt bedömt att en samförläggning av aktuellt förvar med slutförvaret för använt kärnbränsle vore att förorda.

SKB kompletterade ansökan med mer information om en jämförelse av den sökta placeringen av utbyggnaden med en alternativ placering i den så kallade tektoniska linsen i Formarkområdet (SKB dokID 1534753). SSM bedömde dock att det fanns ytterligare behov av upplysningar (SSM2015-725-33) eftersom det i kompletteringen inte tydligt framgick hur skillnaderna mellan de olika platserna värderades med avseende på skyddsförmåga och andra relevanta faktorer. SKB redogjorde utifrån en ytterligare utredning (SKB dokID 1578361) för en värdering av skillnader med hänsyn till slutförvarets skyddsförmåga och en skälighetsavvägning. En faktor som värderas som positiv för den alternativa lokaliseringen är en lägre hydraulisk konduktivitet och det var mot denna bakgrund SSM önskade en redovisning av eventuella strålsäkerhetsmässiga skillnader gentemot den förordade platsen.

Berggrundsförhållandena på en möjlig alternativ förläggningsplats i Forsmarklinsen är inte i detalj kända och därmed behäftade med viss osäkerhet. Icke desto mindre pekar

SKB:s utredning på att flödena för den alternativa platsen är låga men dock högre än för det sökta alternativet så länge det senare befinner sig under Östersjön, på grund av en skillnad mellan platserna vad gäller hydraulisk gradient. Efter att strandlinjeförskjutningen på grund av landhöjningen medfört att den sökta platsen befinner sig under land uppskattas flödena istället bli ca 5 gånger högre för den sökta lokaliseringen jämfört med en lokalisering i Forsmarklinsen (SKB dokID 1578361).

För försvarsdelarna 2-5BLA och BRT följer utsläppen till stor del grundvattenflödena genom försvarsdelarna. Detta innebär att utsläppen från dessa försvarsdelar under den inledande tusenårsperioden kommer att vara högre för den alternativa lokaliseringen i linsen, och lägre under den efterföljande tidsperioden.

Försvarsdelen 2BMA har såväl en flödesbarriär och kemisk barriärfunktion. Dessa kommer att utvecklas över tid och kopplingarna till platsens egenskaper förändras också i och med detta. För försvarsdelen 2BMA skulle skillnaderna mellan platserna bli relativt begränsade under den period som utsläppen styrs av diffusion, det vill säga under tiden försvarsdelen har en fungerande flödesbarriär. Som SKB konstaterar blir skillnaderna mellan platserna större efter att de tekniska barriärerna har degraderat. Platsens betydelse kan således i stor utsträckning kopplas till den förväntade funktionen hos betongbarriären. Flödesbarriärens effektivitet beror till stor del på de hydrauliska egenskaper som tillskrivs betongen i 2BMA där sprickförekomst och fördelning av sprickvidder utgör dominerande faktorer. I analysen av förvarets förväntade utveckling räknar SKB med att försvarsdelen upprätthåller en uttransport styrd av diffusion under minst 50 000 år, efter vilka betongbarriärens mekaniska, flödesbegränsade egenskaper bedöms vara degraderade och uttransporten blir advektionsdominerad. Inom ramen för scenarioanalysen i SR-PSU beaktas även ett mindre sannolikt fall där denna degradering sker betydligt snabbare och tidpunkten vid vilken uttransporten av radioaktiva ämnen blir advektionsdominerad inträffar efter 20 000 år, se kapitel 9 i del III. Under den tid som flödesbarriärens funktion upprätthålls bedöms försvarsdelens skyddsförmåga vara relativt okänslig för mindre variationer hos platsens egenskaper. Vidare innebär den robusthet som försvarsdelens flödesbarriär besitter att tidpunkten inte är kritisk för när en väsentlig betongdegradering inträffar.

Efter att betongbarriären i 2BMA har förlorat sin flödesbegränsande funktion förväntas systemet fortfarande inneha en fördröjande funktion genom sorption. Utsläppens storlek kommer i ett mycket långt tidsperspektiv att bero på den kemiska barriärfunktionens successiva degradering och domineras av långlivade sorberande radionuklider såsom Ni-59. SSM bedömer att SKB:s konsekvensanalys illustrerar att förvaret besitter en förhållandevis stor robusthet även i detta hänseende då konsekvenserna inte blir avsevärda även i det hypotetiska beräkningsfallet där sorptionskapaciteten i förvaret helt bortses från. Även om SSM anser att SKB inom ramen för huvudscenariot har hanterat betongens kemiska degradering på ett i huvudsak konservativt sätt anser dock myndigheten att SKB inom ramen för scenarioanalysen i kommande säkerhetsredovisningar behöver belysa effekten av hur en snabbare mekanisk degradering av betongen kopplat till dess påverkan på systemets kemiska barriärfunktion (Del III, kapitel 9). Detta för att på ett tydligare sätt omhänderta osäkerheter kopplade till påverkan av variationer i grundvattenflödet på betongbarriärens kemiska utveckling på mycket lång sikt. SSM anser utifrån detta perspektiv att en alternativ plats med ett lägre grundvattenflöde än den förordade platsen sannolikt skulle reducera de långsiktiga stråldoserna något men att det inte förväntas påverka de maximala omgivningskonsekvenserna.

Givet ytterligare insatser från SKB:s och avfallsproducenternas sida avseende ytterligare åtgärder för att begränsa försvarsdelen 2BMA:s innehåll av långlivade radioaktiva ämnen såsom Ni-59, och mot bakgrund av att fördelarna med en annan lokalisering bedöms vara

så begränsade att de inte kan motiveras mot de ökade kostnaderna och andra olägenheter, bedöms således den förordade platsen vara lämplig även ur ett längre tidsperspektiv för förvardsdelen 2BMA.

SSM delar inte fullt ut SKB:s bedömning att lokaliseringsfaktorn ”risken för brunnborrning” skulle vara likvärdig för de båda platserna. Enligt SSM:s bedömning har den valda lokaliseringen vid befintliga SFR väsentliga fördelar under den inledande tidsperioden, medan den alternativa lokaliseringen, in den mån att förläggningen antas ske vid ett större djup, har fördelar under den efterföljande tiden. Fördelarna som kan tillskrivas den alternativa lokaliseringen i detta avseende är dock inte lika påtagliga som fördelarna för den sökta lokaliseringen under den inledande tidsperioden, främst på grund av avfallens avklingning. Under den tidsperiod som ett förvar vid befintliga SFR ligger under havet kommer avklingningen innebära att avfallens innehåll av nukliderna Cesium-137 och Strontium-90 i princip fullständigt har hunnit sönderfalla. Detsamma gäller andra radionuklider med en halveringstid på ca 50 år eller kortare. För den mer långlivade radionukliden Nickel-63, med en halveringstid på 100 år, minskar inventariet med en faktor 1000 under de inledande 1000 åren. Detta kommer att reducera konsekvenserna till följd av oavsiktligt intrång vid den förordade förläggningsplatsen jämfört med om intrång av någon anledning skulle ske vid en betydligt tidigare tidpunkt i ett inlandsförlagt förvar.

De kostnadsuppskattningar som SKB presenterar för en alternativ lokalisering vid kärnbränsleförvaret i Forsmarklinsen pekar på kostnadsökningar på ca 60 % vilket motsvarar ca 1,8 miljarder SEK. Stora delar av denna kostnadsökning är, enligt SKB:s redovisning, kopplade till samordningsaspekter med det planerade bränsleförvaret. Kostnadsökningen föranlett av rena byggkostnader uppskattas till 0,35 miljarder SEK.

Utifrån diskussionen ovan bedömer SSM att den alternativa lokaliseringen i den djupare, sprickfattiga delen av Forsmarklinsen, eller i en annan plats med liknande geologiska egenskaper, sannolikt kan medföra vissa fördelar i fråga om slutförvarets skyddsförmåga, särskilt för tiden efter de inledande 1000 åren. Detta på grund av ett större förläggningsdjup, vilket minskar sannolikheten för oavsiktligt intrång efter de inledande 1000 åren, och en antagen berggrund med liknande hydraulisk gradient men lägre hydraulisk konduktivitet. För förvardsdelarna 2-5BLA och BRT blir denna effekt dock begränsad, sett till förvardsdelarnas mycket begränsade inventarium av långlivade radionuklider. Hur stor denna fördel skulle kunna vara för förvardsdelen 2BMA beror delvis på den tekniska barriärens förväntade funktion över tid att begränsa radionuklidtransporten. Osäkerheter kopplade till betongbarriärernas utveckling efter förslutning bedöms i huvudsak inrymmas i SKB:s riskanalys och en försämrad funktion i betongbarriären bedöms av myndigheten inte medföra att omgivningskonsekvenserna ökar i betydande omfattning, se även Del III, kapitel 10.

Sammanvägd bedömning

Vad gäller den alternativa platsen under havet utanför Simpevarp har den fördelar gällande intrångsskyddet i jämförelse med den sökta platsen invid det befintliga SFR, men osäkerheterna i övrigt är mycket betydande och skulle sannolikt inte reduceras till samma nivå som de för platsen vid befintliga SFR även om omfattande platsundersökningar skulle genomföras. Därmed bedömer SSM att den valda lokaliseringen är att föredra jämfört med alternativen omkring Simpevarp.

För den alternativa placeringen i Forsmarklinsen baseras antagandet på att placeringen sker i en lämplig bergvolym utan att utbyggnaden och det planerade slutförvaret för använt kärnbränsle kan interagera med varandra. För en förläggning i detta område ska

kunna ske bedömer SSM att det krävs ytterligare utredningar och undersökningar. Detsamma gäller vid förläggningen på annan plats med liknande geologiska egenskaper.

I granskningen bedömer SSM att det finns både för- och nackdelar med en förläggning i en berggrund liknande den i Forsmarkslinsen. Det är troligt att en lokalisering i en berggrund med lägre grundvattenflöden har strålsäkerhetsmässiga fördelar, även om dessa sannolikt inte skulle påverka de beräknade maximala stråldoserna. Detta grundar sig på att slutförvarets skyddsförmåga bedöms ha visats vara förhållandevis robust även vid antagande om tidig och omfattande degradering av de tekniska barriärerna. En lokalisering i inlandet har samtidigt vissa nackdelar, främst kopplade till risken för intrång med även till följd av en större hydraulisk gradient under den inledande perioden.

De fördelar som en förläggning i berggrunden i Forsmarkslinsen, eller annan inlandsförläggning med liknande berggrund, skulle innebära, gör sig främst gällande för tiden efter ca 1000 år efter förslutning. Vid denna tidpunkt har stora delar av avfallets inventarium av radioaktiva ämnen avklingat. I avfallet återstår vid denna tidpunkt enbart nuklider med lång halveringstid. Tillämpning av SKB:s säkerhetsprincip ”*Begränsning av mängden långlivade radionuklider*” är således betydelsefull för bedömningen. Mot bakgrund av detta så bedömer SSM att förordade lokaliseringen kan godtas.

Vidare bedömer SSM att kraven som ställs på ett slutförvars lokalisering i SSMFS 2008:21 och SSMFS 2008:37 är uppfyllda. SSM gör denna bedömning med beaktande av att skillnaderna i ett tidsperspektiv bortom 1000 år efter förslutning är begränsade, jämfört med skillnaderna under de första 1000 åren. Dessutom talar samordningsfördelarna tydligt för en samförläggning.

SSM noterar att SKB i bilaga BAT (SKB dokID 1415420) inte diskuterar frågan om lokaliseringen av anläggningen. Allmänna råden till SSMFS 2008:37 pekar på att lokaliseringen av ett slutförvar bör beaktas i samband med tillämpningen av kraven på bästa möjliga teknik, vilket härrör från att de naturliga barriärerna utnyttjas som en del av slutförvarets funktionssätt samtidigt som dessa funktioner påverkas av förläggningsplatsens förutsättningar. Det kan dock konstateras att SKB redogör för platsförutsättningarnas inverkan på slutförvarets skyddsförmåga i samband med analyserna som ligger till grund för argumentationen kring platsvalet i samband med uppfyllelse av miljöbalkens allmänna hänsynsregler och i MKB. SSM bedömer inte att detta är en avgörande brist i redovisningen.

2.3 Alternativa utformningar

Frågan om alternativa utformningar i samband med prövningen av utbyggnad av slutförvaret blir av uppenbara skäl begränsad till tillkommande delar av anläggningen. Således omfattas kraven på den tillkommande anläggningens utformning i sin helhet, t.ex. närmare placering vid den valda förläggningsplatsen (t.ex. förvarsdjupet) liksom utformningen av anläggningens olika förvarsdelar och hur de konstruerade barriärerna kan förväntas samverka med avfallet i syfte att åstadkomma en så ändamålsenlig skyddsförmåga som rimligen är möjlig.

Samspelet mellan förvarets utformning och de krav som detta i sin tur ställer på avfallets behandling liksom övriga egenskaper är betydelsefull i samband med omhändertagande av låg- och medelaktivt avfall. Utgångspunkten är att omhändertagandet av avfallet behöver anpassas till förvarets utformning och barriärer. Med denna utgångspunkt har därför SSM ställt krav på att SKB ska ta fram acceptanskrav för de avfall som ska deponeras i det

befintliga förvaret. I fråga om SKB:s planerade utbyggnad av SFR med ytterligare förvarsdelar ges samtidigt möjlighet att i viss utsträckning anpassa förvaret efter det avfall som avses att produceras, liksom planerna för avfallets behandling. Avfallsproducenternas planer får samtidigt inte leda till att redovisningen av alternativ begränsas i allt för hög grad. Slutförvaret utgör huvudsyftet med prövningen även om den påverkan som olika alternativa utformningar kan ha får beaktas i värderingen av olika alternativ.

Ansatsen att avfallets radiologiska farlighet ska vara utgångspunkten som definierar erforderlig kvalifikation på avsedd förvarsdels barriärfunktion har utgjort en viktig del i SSM:s bedömning av referensutformningens lämplighet. I en sådan bedömning innefattas en värdering av barriärens tålighet och robusthet gentemot interna och externa förhållanden, händelser och processer som kan påverka barriärssystemet efter slutlig förslutning. Utöver denna aspekt har myndigheten även beaktat parametrar såsom relativ kostnad för olika alternativ och huruvida de olika alternativa utformningarna utgör beprövade tekniker i termer av uppförande och drift. Myndighetens samlade bedömning av vilken utformning som kan betraktas som lämpligast utifrån optimeringssynpunkt och med beaktande av bästa möjliga teknik baseras sedan på en helhetsavvägning där samtliga dessa aspekter vägs in.

Beskrivning av SKB:s underlag

Alternativa utformningar av anläggningen beskrivs både i den ursprungliga ansökan som inlämnades 2014 både i MKB och i en särskild bilaga till ansökan (bilaga BAT, SKB dokID 1415420). Dessa båda redovisningar är inte överlappande. Alternativredovisningen i MKB redovisar alternativa layouter, anläggningens förläggingsdjup samt hanteringen av reaktortankarna. Redovisningen i BAT-bilagan inkluderar dessa frågeställningar, men inkluderar även en redovisning av alternativa utformningar av BLA-förvaren och BMA-förvaret.

SSM har i en skrivelse (SSM2015-725-7) efterfrågat kompletterande redovisningar inom ramen för MKB gällande den närmare motiveringen av anläggningens utformning. SKB har inkommit med ett svar på den efterfrågade redovisningen (SKB dokID 1550443). Efter granskning efterfrågade SSM ytterligare redovisningar dels gällande utformningen av förvarsdelen 2BMA (SSM2015-725-34), dels rörande BRT (SSM2015-725-70). SKB har besvarat SSM:s kompletteringsbegäran (SSM2015-725-63) och redovisat ändringar i den valda utformningen av förvarsdelarna BRT och 2BMA (SKB dokID 1590442, SKB dokID 1578361, SKB dokID 15900441, SKB dokID 1569813). SKB har dessutom angett att företaget tar tillbaks den del av yrkandet i ansökan som avser mellanlagring av långlivat kärnavfall. SKB har inkommit med kompletteringar rörande BRT (SKB dokID 1611858, SKB dokID 1590552).

Remissinstansers synpunkter

Ett antal remissvar har inkommit (SSM2015-1640) avseende mellanlagring av långlivat kärnavfall. SKB har under SSM:s beredning av ansökan beslutat att inte mellanlagra avfall avsett för SFL i SFR varpå dessa remissynpunkter av SSM ej längre bedömts vara relevanta.

Ivar Sagefors och Thomas Lundmark

Ivar Sagefors har tillsammans med Thomas Lundmark skickat in ett yttrande (SSM2015-1640-24) med en detaljerad bilaga på ett förslag på alternativ metod för utförandet av ett slutförvar för reaktortankar vid Forsmark. Den utarbetade metoden innebär att reaktortankarna kan transporteras ner vertikalt genom berget till den nivå och plats där de slutligt

skall förvaras. En av de fördelar som lyfts fram är att den av SKB planerade transport-tunneln, med en total längd på 1 700 m, inte behöver byggas. Sålunda behöver man ej driva en tunnel genom Singölinjen.

Naturskyddsföreningen och Miljöorganisationernas kärnavfallsgranskning

Redovisning av alternativ utformning med alternativ slutförvaring av reaktortankarna

Om kokarreaktortankarna inte slutförvaras hela behöver det inte byggas en ny stor tillfart ner i slutförvaret. Föreningarna vill (SSM2017-4359-8) att det i ansökan och MKB:n redovisas hur en sådan anläggning skulle utformas.

SSM:s beaktande av remissynpunkter

Efter att ansökan har lämnats in har SKB beslutat att reaktortankarna ska segmenteras. Det innebär b.la. att ingen separat nedfartstunnel till reaktortank förvaret behöver drivas utan den redan befintliga nedfartstunneln kommer användas genom Singözonen. SSM bedömer därför att remissinstansens synpunkt inte längre är aktuella.

2.3.1 Förvarsdjup

Beskrivning av SKB:s underlag

SKB beskriver i avsnitt 11.3.1 i MKB vilka utredningar av förvarsdjupet som gjordes inom ramen för projekteringsarbetet. Tre olika förvarsdjup utvärderades; 70 m, dvs samma djup som befintliga BLA och BMA; 120 m, vilket motsvarar botten på befintlig silo; samt 230 m. Ett större förvarsdjup, runt 500 m, har inte utvärderats eftersom det enligt SKB inte kan motiveras med hänsyn till det begränsade aktivitetsinnehållet. SKB anger i MKB att det inte är djupet i sig som är avgörande, utan vad som kan uppnås med avseende på förvarsdjupet t.ex. vad gäller risken för att dricksvattenbrunnar borras liksom till vilket djup som permafrost kan skada förvarets barriärer. SKB bedömer att det inte är meningsfullt att öka djupet ytterligare under den nivå som dricksvattenbrunnar borras (i Östhammars kommun är medeldjupet för bergborrade dricksvattenbrunnar 57 m). Förvarsdjupet 120 meter valdes av försiktighetsskäl framför djupet 70 m för att undvika möjliga vattenförande strukturer. Att förlägga utbyggnaden på ett större djup bedömdes i MKB inte medföra någon väsentlig skillnad med avseende på långsiktig strålsäkerhet. Ett större förvarsdjup skulle dock innebära en större miljöpåverkan främst genom att berguttaget ökar, liksom kostnaderna och tidsåtgången. Motsvarande resonemang återfinns även i BAT-bilagan (SKB dokID 1415420).

I en kompletteringsbegäran efterfrågade SSM en utveckling av motiveringen av förvarsdjup med hänsyn till slutförvarets skyddsförmåga utifrån risken för oavsiktligt intrång, förekomst av horisontella sprickor med hög vattengenomsläpplighet, förekomst och djup för permafrost, kostnader för uppförande samt andra faktorer av betydelse för skälighetsbedömningen (SSM2015-725-7). SKB kompletterade redovisningen den 1 juli 2016 (SKB dokID 1535980). I denna anger SKB att det enbart är frågan om små fördelar som ett djup på 230 m medför vad gäller lägre vattenflöden genom förvaret och lägre risk för framtida intrång genom brunnsborring. I sin analys gör SKB ingen skillnad mellan de olika förvarsdjupen i fråga om när förvarskonstruktionerna kan tänkas påverkas av permafrost. Baserat på de möjliga framtida klimatutvecklingarna bedömer SKB att ett tillräckligt kallt klimat för att betongkonstruktioner ska frysa på förvarsdjupet inträffar tidigast 52 000 e Kr, oavsett om förvarsdjupet är 70, 120 eller 230 meter (SKB dokID 1535980, avsnitt 4.2). Eftersom förvarskonstruktionen redan kommer att vara kemiskt degraderad vid denna tidpunkt, har degraderingen till följd av permafrost ingen effekt på uttransporten av radionuklider.

I fråga om försvarsdjupets påverkan på sannolikheten för, och konsekvenserna av oavsiktligt mänskligt intrång för SKB ett resonemang om dels olika typer av brunnar, dels statistik för brunnsdjup, dels vilken form av exponering som olika typer av intrång kan ge upphov till (SKB dokID 1535980, avsnitt 4.3).

Genom den större miljöpåverkan och högre kostnader som ett djupare alternativ innebär anser SKB att de marginella strålsäkerhetsmässiga skillnaderna inte kan motivera en djupare förläggning än den förordade (SKB dokID 1535980, avsnitt 8).

SSM:s bedömning

SSM bedömer att det valda försvarsdjupet för utbyggnaden av SFR är lämpligt med avseende på potentiella risker associerade med frysning i samband med framtida periglaciala och glaciala klimat. Denna bedömning baseras på SSM:s granskning av SKB:s redovisning av framtida klimatutvecklingar samt studier av fryspunktsförändring av åldrad betong som utförts efter en kompletteringsbegäran från SSM (se denna rapport, del III kap. 3.2 och kap. 7). SSM anser att det är osannolikt att temperaturen innan 50 000 år efter förslutning kan sjunka tillräckligt mycket för att -3 °C -isotermen ska nå försvarsdjupet. Vidare, nyligen utförda studier på lakad betong samt betong av sämre kvalitet som ska efterlikna åldrad betong visar inga större strukturella förändringar ned till -10 °C (SKB dokID 1572377). Därmed bör SKB:s fryskriterium på -3 °C för betongkonstruktionerna ses som konservativt vald. Slutligen, även om en period med frysning hypotetiskt sker under de första ca 15 000 åren där betongbarriärernas strukturella integritet förloras, bedöms detta inte leda till att riskkriteriet överskrids.

Gällande försvarsdjupet i relation till risken för framtida mänskliga handlingar bedömer SSM att SKB tillräckligt väl visat att ett större djup har marginell effekt på risken för att dricksvattenbrunnar uppförs i brunninteraktionsområde. För bergborrade energibrunnar sker dock en markant minskning av antalet brunnar vid ett försvarsdjup på 220 meter eller mer, vilket har betydelse vid uppskattningen av sannolikheten för scenariot borring i förvaret. Givet att konsekvenserna är begränsade till följd av denna typ av intrång bedömer SSM att frågeställningen är av mindre betydelse. Sammanfattningsvis bedömer SSM därför att SKB:s val av försvarsdjup är rimligt med avseende på framtida mänskliga handlingar och att den ökade kostnaden och miljöpåverkan ett ökat djup innebär inte kan anses vara befogat jämfört med den nytta det medför. Mer detaljerade bedömningar av försvarsdjupet och risken för framtida bergborrade brunnar ges i denna rapport del III, kapitel 8.

2.3.2 2-5BLA

Beskrivning av SKB:s underlag

SKB avser att omhänderta det lågaktiva avfallet genom att avfallet (huvudsakligen i form av sopor och skrot) placeras i containrar. SKB anger att man inom ramen för utvecklingsarbetet har utvärderat olika alternativ där ett innebar att man avsåg fylla avfallscontainrar med cementbruk och ett annat att uppföra en barriärskonstruktion av betong. I den s.k. BAT-bilagan (SKB dokID 1415420) tillsammans med kompletteringen 2016 (SKB dokID 1548610) motiverar SKB den valda utformningen av 2-5BLA och anser att den är väl avvägd för att tillsammans med övriga bergsalar uppfylla kravet på strålsäkerhet efter förslutning och uppfyller även nödvändiga krav relaterade till driften av anläggningen. SKB har inom ramen för redovisningen på en övergripande nivå utrett två alternativ, dels att uppföra en betongkonstruktion i BLA som skulle ha en flödebegränsande funktion, dels att fylla avfallscontainrarna med cement. Enligt redovisningen ger båda alternativen kostnadsökningar motsvarande 100 miljoner SEK per försvarsdel, och en ökad användning

med stål med i storleksordningen 2000 ton och 25 000 ton betong. Kostnaderna för alternativen är omotiverat hög anser SKB. Dessutom skulle det medföra en ökad miljöpåverkan på grund av en ökad mängd betong och stål i förvaret. SKB anser att denna slutsats står sig oavsett antalet förvarsdelar och därmed oberoende av en eventuell minskning av avfallsvolymer.

SSM:s bedömning

I fråga om utformningen av BLA blir frågan om den rimlighetsavvägning som ska göras särskilt central. Bortsett från pluggarnas funktion saknar förvarsdelen tekniska barriärer. Strålsäkerheten efter förslutning beror därför i hög grad på det naturliga bergets barriärfunktion. En förbättrad utformning som även innefattar tekniska barriärer är således uppenbart möjlig. En av de frågor som behöver värderas är om en sådan utformning kan motiveras med de kostnader och andra olägenheter som följer. I frågeställningen ingår även att värdera om de extra kostnader som en förbättrad utformning används effektivast för denna förvarsdel, eller om dessa kostnader används mer effektivt för att förbättra strålsäkerheten i andra delar av slutförvaret. Om andra åtgärder bedöms mer effektiva, exempelvis förstärkning av de tekniska barriärerna i förvarsdelen 2BMA, bör sådana åtgärder i första hand prioriteras.

En relaterad fråga gäller tillämpningen av de krav som följer av bestämmelserna i SSMFS 2008:21 gällande barriärsystemets utformning. Det bör stå helt klart att förvarsutformningen i strikt mening inte kan anses bestå av ett ”system av passiva barriärer” enligt 2 § i föreskrifterna. Innebörden av 7 § i föreskrifterna (”Barriärsystemet ska innehålla flera barriärer så att så långt som möjligt nödvändig säkerhet upprätthålls trots enstaka brist i en barriär”) är inte heller uppenbar för en slutförvarsutformning som väsentligen består av en barriär, den geologiska barriären. SSM bedömer att tillämpningen av dessa föreskriftskrav behöver värderas utifrån vad som kan anses rimligt och den strålsäkerhetsmässiga nyttan med fördyrande åtgärder.

Detta motsvarar det synsätt som ställer krav på beaktande av bästa möjliga teknik som också följer av SSM:s föreskrifter. Enligt kravet på tillämpning av bästa möjliga teknik och strålskyddsoptimering ska ett slutförvar utformas så att dess skyddsförmåga förbättras så långt som rimligen är möjligt, givet samhällliga och ekonomiska faktorer. Vad gäller utformningen av förvarsdelen BLA innebär kravet en värdering av möjligheterna att så långt som rimligt möjligt begränsa utsläppen, och inte bara de beräknade stråldoserna och risk till allmänheten. I fråga om SFR, och i synnerhet förvarsdelen BLA, är det nödvändigt att fokusera på utsläppen i sig, detta eftersom konsekvenserna av utsläppen i hög grad påverkas av recipienten och att denna påverkas till följd av landhöjningen. Detta innebär att det behöver vara klarlagt att förvaret inte uppfyller strålskyddskraven exempelvis genom att utsläppen späds ut i Östersjön.

För att angripa frågeställningen har SSM dels begärt kompletteringar från SKB, dels genomfört egna analyser.

De analyser som SSM har genomfört syftade till att värdera utspädningens betydelse för de beräknade doserna under havsperioden. Beräkningarna (SSM PM, Xu, 2019) visar att utsläppen under havsperioden väsentligen är desamma som under den efterföljande inlandsperioden. Att utsläppen inte är högre under den inledande perioden, när inventariet är högre, beror i första hand på att grundvattenflödena är lägre under havsperioden. Grundvattenflödena begränsas bland annat av den låga hydrauliska gradienten under den tid som förvaret är täckt av vatten. De nya planerade BLA-salarna har genom förläggningens djupets lägre flöden och längre transportvägar till biosfären jämfört med befintliga 1BLA vilket leder till ca en faktor 10 gånger lägre dos.

SSM efterfrågade i kompletteringsbegäran (SSM2015-656-5) en fördjupad redovisning av möjligheter att förstärka barriärerna i BLA, bl.a. genom att se på möjligheterna att markförvara/friklassa avfall med lägst radioaktivitet och förbättra skyddsförmågan hos kvarvarande avfall. Från SKB:s redovisning (SKB dokID 1548610) kan SSM konstatera att möjligheterna att påtagligt begränsa mängden avfall i SFR förefaller begränsade. Givet SKB:s uppgifter skulle eventuellt en av de fyra bergsalarna undvikas om detta avfall i stället slutförvarades i ett eller flera markförvar. Kostnadsbesparingen som ett minskat berguttag skulle medföra är således begränsad. Därigenom kan möjligheterna att öka skyddsförmågan hos BLA genom att föra avfall till ett markförvar anses vara begränsade.

Sammantaget gör SSM bedömningen att förvarsdelarna 2-5BLA har en förbättrad skyddsförmåga jämfört med förvarsdelen 1BLA, dels genom ett utökat förvarsdjup, vilket leder till ökat skydd mot oavsiktligt intrång, dels genom det lägre grundvattenflödet på valt förvarsdjup. Även om det är uppenbart att skyddsförmågan kan förbättras, anser SSM att de kostnader som detta för med sig inte kan förväntas stå i proportion till avfallets relativt sett ringa aktivitetsinnehåll. SSM bedömer därför att den förordade utformningen av förvarsdelarna 2-5BLA kan anses optimerade från strålskyddssynpunkt och i enlighet med kraven på tillämpning av bästa möjliga teknik.

2.3.3 BRT

Beskrivning av SKB:s underlag

SKB avser att omhänderta de nio reaktortankarna från kokarvatten genom segmentering och placering av de segmenterade delarna i avfallsbehållare som är lämpliga för ändamålet. Avfallsbehållarna, av kokilltyp, avses deponeras i en lång, sammanhängande armerad betongkonstruktion bestående av bottenplatta, ytterväggar och tvärgående mellanväggar. Senast i samband med förslutning kringgjuts avfallsbehållare med betong.

I den upprättade miljökonsekvensbeskrivningen bedömer SKB segmenteringsalternativet som mindre lämpligt än heltanksalternativet. SKB har efter denna togs fram gjort en förnyad bedömning (SKB dokID 1590552, SKB dokID 1580501 samt kompletteringen SKB dokID 1604998). Såväl segmenteringsalternativet som heltanksalternativet anges vara tekniskt genomförbara och strålsäkerheten vid hantering och efter förslutning anses kunna tillförsäkras. SKB anger att man, mot bakgrund av den teknikutveckling som skett under senare år, och de fördjupade diskussioner som förevarit med reaktorinnehavarna nu beslutat att reaktortankarna ska slutförvaras segmenterade. Det främsta argumentet är att kostnaden för segmenteringsalternativet har omvärderats baserat på en kortare genomförandetid för segmenteringen har kunnat minska. Segmenteringen försenar därmed inte avveckling på samma sätt som tidigare. SKB framhåller även att segmenteringsalternativet innebär en riskminimering eftersom segmentering, till skillnad från hantering av hela reaktortankar, är en beprövad teknik. SKB anger att man i ansökan har hållit öppet för att slutförvara reaktortankarna hela. Till följd av den ändrade planeringen har SKB inte längre behov av en särskild transporttunnel ner till förvarsnivå eller ett nytt tunnelpåslag.

SKB anser att någon fullständig uppdatering av ansökan med tanke på deponering av segmenterat avfall inte är befogat utan avser att genomföra uppdateringar i samband med framtagning av PSAR inför nästa provningstillfälle. SKB har dock tagit fram en konceptuell utformning, dimensionering och förslag till uppförande av den betongbarriär för den planerade förvarsdelen för segmenterade reaktortankar (BRT) som ska utgöra teknisk barriär efter slutlig förslutning (SKB dokID 1604614). Betongbarriären i förvarsdelen BRT och dess utveckling och degradering efter slutlig förslutning beskrivs och bedöms mer utförligt i rapportdel III under avsnitt 4.3, 5.3 och 6.3.

Genom den vidareutveckling av förvardsdelen 2BMA som har gjorts, tillsammans med uppdaterade planer på avfallets förpackning och deponeringsstrategi, är denna förvardsdel nu planeringsmässigt full. Genom att bygga ut bergrummet till full längd avser SKB att kunna hantera för delar av de kvarvarande osäkerheterna gällande deponeringskapacitet.

Remissinstansers synpunkter

Ett antal inkomna remissvar (SSM2015-1640) innefattar synpunkter kopplade till SKB:s ursprungliga ansökan och heltanksalternativet. Då SKB har uppdaterat sin ansökan och nu avser att segmentera reaktortankarna har SSM inte beaktat dessa synpunkter.

SSM:s bedömning

SSM kan konstatera att de argument som SKB i MKB i första hand pekade på gällande fördelarna med heltanksalternativet rörde stora kostnadsbesparingar i samband med avvecklingsarbetet samt en minskad energiåtgång genom att slutförvarsemballage inte krävdes. Båda alternativen bedömdes likvärdiga utifrån personalstrålskyddssynpunkt och i fråga om slutförvarets långsiktiga strålsäkerhet.

SSM bedömde SKB:s utredning och argument för vald metod för omhändertagande som otillräcklig och begärde i ett yttrande den 16 december 2015 (SSM2015-656-5) att olika möjligheter till segmentering av tankarna utvärderas med avseende på strålsäkerhet på kort och lång sikt och med avseende på andra relevanta faktorer såsom kostnader, tidsaspekter, behov av bergguttag vid slutförvaret, transporter samt andra frågor kopplade till hushållning med natur- och energiresurser.

SSM kan konstatera att SKB delvis har omvärderat vissa de tidigare argument som förts fram i exempelvis MKB vilka talade mot segmentering. Från redovisningen står det klart att det i första hand var ekonomiska faktorer som tidigare talade mot segmentering, och att dessa nu omvärderats till följd av teknikutvecklingen inom området. Av underlaget framkommer dock inte med någon större detaljeringsgrad om även andra sakförhållanden har ändrats för de övriga faktorer som enligt SKB tidigare talade mot segmentering och hur detta har beaktats av SKB i den bedömning som nu görs.

SKB nämner att det för båda alternativen ger ungefär beräknat samma totala stråldos till personal. SSM anser att det finns ett antal faktorer kopplade till heltanksalternativet som inte fullt har beaktats av SKB i sin analys. Detta gäller risker kopplade till transporten av reaktortanken ut ur reaktorbyggnaden, transporten till slutförvaret, samt hanteringen av tanken i slutförvaret. Avsaknad av en värdering av dessa faktorer vore främst av betydelse om inte SKB omprövat hanteringen.

Även om hanteringen av avfall utanför SFR inte är föremål för prövningen, bedömer SSM att segmentering av reaktortankarna är det bättre alternativet från strålsäkerhetssynpunkt mot bakgrund av att omhändertagandet till stor del innebär beprövad teknik. SSM följer den fortsatta planeringen av segmenteringen av reaktortankarna inom ramen för tillsynen av nedmontering och rivning av reaktorerna vid BKAB, OKG AB och RAB AB.

2.3.4 2BMA

Beskrivning av SKB:s underlag

I BAT-bilagan (SKB dokID 1415420) beskriver SKB de alternativa utformningar av förvardsdelen 2BMA som har övervägts. Utöver det förordade alternativet (alt 1), att uppföra förvaret som bergsal med ett antal fristående kassuner av oarmerad betong, har även två utformningar bestående av en kombination av betong- och bentonitbarriärer

utvärderats där det ena alternativet föreslås utformas som en bergsal (alt 2), medan det andra baseras på silokonstruktionen i dagens SFR (alt 3). SKB har i utformningen av 2BMA tagit fasta på erfarenheter från den existerande förvarsdelen 1BMA och framhåller i BAT-bilagan att den valda utformningen är utvecklad för att minimera sprickor i samband med uppförandet, belastningar av konstruktionen under drift, liksom effekter av korrosion av ingjutet stål.

Ur ett ekonomiskt perspektiv uppskattar SKB att kostnadsökningen vid tillämpning av siloalternativet, jämfört med den referensutformning av 2BMA som SKB förordar, uppgår till ca 130 MSEK (SKB dokID 1590441, avsnitt 5.3), vilket ungefär skulle motsvara en ökning av totalkostnaden för utbyggnaden av SFR på 5 %. Detaljeringsnivån för kostnadsuppskattningen för siloalternativet har enligt SKB baserats på underlag från 1980-talet för befintlig silo medan 2BMA-beräkningarna har grundats på ett mer aktuellt nutida underlag (SKB dokID 1590441, avsnitt 5.3).

SSM har i två omgångar begärt en fördjupad redovisning och bättre värdering av alternativens för- och nackdelar (SSM2015-725-7 samt SSM2015-725-34). I den granskning som låg till underlag för kompletteringsbegäran pekade SSM på grundläggande oklarheter gällande den förväntade funktionen av den föreslagna utformningen. Kompletteringar inlämnades dels i juli 2016 (SKB dokID 1550443), dels i maj 2017 (SKB dokID 1569813).

Den konceptuella utformningen av 2BMA har utvecklats i de inlämnade kompletteringarna, framförallt i fråga om hur konstruktionen ska hantera den sammanlagda lastsituationen i förvarsutrymmet under olika skeden. En ändring, jämfört med den konceptuella utformning som presenterades i tillståndsansökan, är att innerväggar i form av ett rutnät har införts i konstruktionen. Detta innebär att konstruktionen inte längre är beroende av bärande samverkan med avfallskollin och kringgjutningsbruk för sin strukturella integritet. Innerväggarna avlastar betongkonstruktionens ytterväggar, lock och golv och reducerar spännvidderna. Vidare har konstruktionen utformats för att säkerställa gasavlastning vid små övertryck. De framtagna kompletteringarna innehåller även en utvecklad redovisning av alternativa utformningar.

SSM:s bedömning

SSM kan konstatera att den förordade utformningen av förvarsdelen 2BMA har utvecklats och förbättrats i jämförelse med den tidigare redovisade utformningen som låg till grund för tillståndsansökan, liksom i den jämförelse av de olika utformningsalternativ som har presenterats i BAT-bilagan. SSM bedömer att de efterfrågade kompletteringarna har inneburit att flera konceptuella tveksamheter i den ursprungliga utformningen har åtgärdats.

SSM konstaterar att det fortförande finns vissa kvarstående frågeställningar kopplade till genomförbarheten i uppförandet av 2BMA givet den uppdaterade referensutformning som föreslås av SKB. Dessa avser i första hand osäkerheter kopplade till ett uppförande av en sprickfri betong med de hydrauliska egenskaper som SKB ansätter för initialtillståndet i SR-PSU. SSM bedömer dock att SKB genom det påbörjade utvecklingsarbetet och med relevanta kontrollprogram och ett successivt uppförande av kassunerna med tillhörande verifierande analyser, har förutsättningar att uppföra ett 2BMA i enlighet med SKB:s ställda långsiktiga funktionskrav samt det initialtillstånd som ansätts i huvudscenariot i SR-PSU (del III, avsnitt 4.3.3 och 4.3.4). Osäkerheterna kopplade till barriärens hydrauliska egenskaper bedöms implicit inrymmas inom ramen för SKB:s scenarioanalys och det mindre sannolika scenariot med accelererad betongdegradering (del III, kapitel 9).

Betongbarriären, som utgör en barriär i den planerade utformningen av 2BMA men även i de alternativa utformningarna som beaktas, utgör både en flödesbarriär och en kemisk barriär. Den förstnämnda funktionen, vilken beror på det ökade flödet till följd av sprickor och andra defekter, är relevant för samtliga nuklider i inventariet medan den kemiska barriärfunktionens effektivitet beror på specifika nuklidens sorptionsförmåga givet den kemiska miljö som barriären upprätthåller främst genom buffring av pH- och redox-förhållanden, men även förekomst av vissa från sorptionssynpunkt gynnsamma mineraler. Enligt SSM innebär detta att den mer långsiktigt beständiga kemiska barriärfunktionen får störst betydelse efter att flödesbarriärfunktionen har reducerats avsevärt genom mekanisk degradering. SKB har beaktat förloppen av kemisk och mekanisk degradering av betongbarriären på olika sätt i säkerhetsanalysen där det mindre sannolika scenariot med accelererad betongdegradering endast beaktar ett snabbare mekaniskt degraderingsförlopp. Det kemiska degraderingsförloppet antas i detta betongdegraderingsscenario vara detsamma som i huvudscenariot som representerar förvarets förväntade utveckling.

Delar av konsekvensanalyserna inom SR-PSU har baserats på en förhållandevis sprucken betong redan i förvarets initialtillstånd. Analyserna visar på att betongkonstruktioner i 2BMA besitter en relativt stor robusthet så länge flödet i huvudsak begränsas av betongbarriären. Flödesbarriärens effektivitet beror till stor del på de hydrauliska egenskaper som tillskrivs betongbarriären och på den hydrauliska kontrasten gentemot återfyllnaden. SSM bedömer att betongbarriären kan förväntas vara tillräckligt utsläppsbegränsande för radionuklider som C-14 och Mo-93, vilka dominerar den beräknade inverkan under de tidsperioder då de högsta omgivningskonsekvenserna förväntas, i de flesta fall inom 10 000 år efter förslutning. SSM har i granskningen kunnat konstatera att avfallet inte har tillskrivits barriäregenskaper i form av flödesmotstånd av betydelse för långsiktiga strålsäkerhetskonsekvenser, vilket SSM bedömer är en korrekt värdering av SKB.

Efter att betongbarriären i 2BMA har förlorat sin flödesbegränsande funktion förväntas systemet fortfarande ha en fördröjande funktion genom sorption. I SKB:s beskrivning av den ursprungliga utformningen av förvarsdelen tillskrevs kringgjutningsbruk och avfallskollin innehållandes cement en viss sorptionskapacitet. Detta begränsade läckaget av långlivade radionuklider såsom Ni-59 och Pu-239 genom hela analysperioden (100 000 år). Den vidareutvecklade referensutformningen av 2BMA innefattar i stället bland annat innerväggar av betong, men ingen kringgjutning av avfallskollin. Dessa förändringar har inte beaktats fullt ut i SKB:s kompletterande radionuklidtransportmodellering för den vidareutvecklade referensutformningen. Förvarsdelens sorptionskapacitet representeras i den uppdaterade utformningen i stället endast av avfallets innehåll av cement (Del III, avsnitt 10.3). Denna representation av barriärssystemet bedömer SSM i sådana fall som missvisande. Avfallet i 2BMA består huvudsakligen av sopor och skrot i plåtkollin där enbart kringgjutningen av avfallet i kollin innehåller cement. Mängden cement är således begränsad och dessutom inte homogent fördelad. SSM bedömer dock att förvarets sorptionskapacitet sannolikt ändå inte har överskattats. Ett skäl för detta är att sorptionskapacitet för tillkommande mängder cement i den vidareutvecklade utformningen med innerväggar för närvarande inte har beaktats i radionuklidtransportmodelleringen. Ett annat liknande skäl är att degraderade förvarsförhållanden kan förväntas öka andelen reaktiva cementytor med tillgängliga sorptionsytor. Detta påverkar i sin tur dispersionen och diffusionen av radionuklider. SSM anser dock att SKB i kommande säkerhetsanalyser bör utveckla en mer realistisk representation av den vidareutvecklade referensutformningen i radionuklidtransportmodelleringen. De föreslagna förändringarna i konstruktionen liksom avfallets varierande cementinnehåll behöver därvid beaktas på ett mer realistiskt och transparent sätt (Del III, kapitel 10).

Effekten av att bortse från retardation i förvaret analyseras i restsценariot *ingen sorption i förvaret*, vilket inkluderar läckage även av Ni-59 och Pu-239, Enligt SKB:s beräkningar skulle detta innebära stråldoser vilka som mest skulle överskrida SSM:s kriterium med en faktor 4. Till största del härrör dessa från Silo (62 %), medan 1BMA bidrar med 25 % och 2BMA med 8 % till den maximala årliga dosen ca 40 μSv som i detta restsценario uppnås efter ca 25 000 år (SKB TR-14-09, tabell 7-1). SSM bedömer att scenariot illustrerar att förvaret besitter en förhållandevis stor robusthet även i detta hänseende då konsekvenserna inte blir avsevärda även i det hypotetiska fallet där sorptionskapaciteten i förvaret helt bortses från. SSM anser att SKB inom ramen för huvudsценariot har hanterat betongens kemiska degradering på ett sätt som i rimlig utsträckning tar höjd för mindre variationer i betongens flödesbarriär. SSM anser dock att SKB i kommande säkerhetsredovisningar bör tydligare belysa kopplingen mellan en tänkbar snabbare mekanisk degradering av betongen, utveckling och variationsbredd för kemiska förhållanden samt systemets kemiska barriärfunktion (Del III, kapitel 9).

Utförningen av 2BMA ska också värderas mot olika alternativ. I en sådan jämförelse behöver eventuella förbättringar av strålsäkerheten värderas mot andra faktorer såsom kostnader och huruvida de olika alternativa utförningarna utgör beprövade tekniker i termer av uppförande och drift samt vilken flexibilitet som finns avseende anpassning till förändring av avfallsvolymer och metoder för avfallskonditionering. En samlad bedömning av vilken utförning som kan betraktas som lämpligast utifrån en optimeringssynpunkt och med beaktande av bästa möjliga teknik baseras därefter på en helhetsavvägning där samtliga dessa aspekter vägs in.

Av de två alternativa utförningar till SKB:s förordade utförning av 2BMA som har utvärderats, bedömer SSM att alternativet med en konstruktion av silo i betong med omgivande bentonitbarriär (alt 3) är det mest intressanta. Detta då siloalternativet bygger på en redan uppförd konstruktion medan det andra alternativet (alt 2) innefattar liknande frågeställningar som för SKB:s förordade utförning i kombination med att ytterligare osäkerheter tillkommer. De jämförelser som redovisas nedan fokuserar därför i huvudsak på SKB:s förordade utförning av 2BMA (alt 1) och den alternativa silon med kombinerad betong- och bentonitbarriär (alt 3).

Avfallsets radiotoxicitet utgör en viktig aspekt vid bestämning av utförningen av barriärsystemet. SKB illustrerar (SKB, 2015, Figur 10-7) skillnaden i radiotoxicitet i avfallet i de olika befintliga och planerade förvarsdelarna. Avfallet som avses deponeras i det befintliga siloförvaret är ungefär hundra gånger mer radiotoxiskt än det avfall som ämnas placeras i 2BMA. Jämförelsen är dock något missvisande då radiotoxiciteten i Silo domineras av alfastrålaren Am-241 i en särskild avfallstyp (typbeskrivning S.24:1 enligt SKB R-15-15). Deponering av denna avfallstyp är inte godkänd och avsikten är att detta avfall i stället ska deponeras i det kommande Slutförvaret för långlivat avfall (SFL) (SKB dokID 1689290). Mot bakgrund av detta kan SSM konstatera att för flera betydelsefulla radionuklider är skillnaden mellan inventariet i Silo och 2BMA snarare ca en faktor fem.

SSM bedömer att siloalternativet (alt 3) utgör ett mer kvalificerat barriärssystem då det erbjuder en ytterligare barriär (bentonit) som genom sin flödesbegränsande kapacitet verkar både skyddande, då bentoniten både begränsar flödet av inströmmande grundvatten (vilket medför en långsammare degradering av betongen i jämförelse med om betongen exponeras direkt mot berget) och fördröjande då uttransport blir diffusionsbegränsad och bentoniten även kan sorbera vissa nuklider. SSM har i granskningen även bedömt att den påverkan som bentonit- och betongbarriärerna har på varandra, t.ex. hur lerbarriären påverkas av pH-plymen från betongen, är begränsad (se avsnitt 6.4 del III).

Som ett led i att analysera bidraget från en ytterligare barriär har SKB utfört förenklade radionuklidtransportberäkningar (SKB dokID 1536396) för den andra alternativa utformningen (alt 2) som i princip utgörs av förordad utformning av 2BMA med en tillagd bentonitbarriär av varierad omfattning. Dessa beräkningar indikerar att en bentonitbarriär som tillägg till befintlig betongkonstruktion enligt förordad utformning skulle kunna reducera de årliga utsläppen från 2BMA för flera viktiga radionuklider med ingen eller begränsad kemisk sorption i förvarsmiljön, t.ex. Mo-93, Cl-36, C-14 (organisk) och Ca-41. Reduceringen av de beräknade doserna sker dock från en redan låg nivå. En liknande analys har inte gjorts för siloalternativet (alt 3) då placeringen av en sådan konstruktion skulle innebära en annan placering i berggrunden för vilken flödessituationen inte är kartlagd och utredd av SKB. Under förutsättning att en lämplig placering för en silo kan identifieras, bedömer SSM att även detta alternativ skulle reducera utsläppen av nämnda radionuklider på motsvarande sätt.

I ett mycket långt tidsperspektiv (i storleksordning 10 000-tals år) beräknas omgivningskonsekvenserna att domineras av långlivade radionuklider som Ni-59. I ett tidsperspektiv när betongens flödesbarriär har degraderat blir utsläppen i högre grad beroende av utvecklingen av den kemiska barriärfunktionen. SSM bedömer att siloalternativet (alt 3) leder till lägre utsläpp jämfört med den förordade utformningen av 2BMA (alt 1) dels med tanke på bentonitbarriärens ytterligare flödesbegränsande förmåga, dels med tanke på att en omgivande bentonitbarriär även ger en större tilltro till den kemiska barriärfunktionen i det mycket långa tidsperspektivet genom att betongbarriärens interaktion med omgivande grundvatten begränsas. På så sätt bedömer SSM att osäkerheter kopplade till en kombinerad degradering av den flödesbegränsande och den kemiska barriärfunktionerna kan begränsas i jämförelse med den förordade utformningen av 2BMA.

Avseende aspekten beprövad teknik konstaterar myndigheten att båda alternativen (alt 1 och 3) har element där erfarenheter från konstruktionerna i befintligt SFR har beaktats. Siloalternativet (alt 3) bygger i stort på förvarsdelen Silo i det befintliga SFR, och utgör i det avseende en beprövad konstruktion, medan den förordade utformningen av 2BMA (alt 1) är en vidareutveckling som baseras på erfarenheter från 1BMA. SKB har i utformningen av 2BMA beaktat aspekter som visat sig vara särskilt viktiga under uppförande och drift av 1BMA, såsom exempelvis risken för sprickbildning under krympning av betongen samt att utelämnande av armeringsjärn i den planerade utformningen eliminerar risk för sprickbildning till följd av armeringskorrosion under driftsperioden. Som konstateras ovan återstår det visst utvecklingsarbete av det förordade förvarsalternativet av 2BMA (alt 1).

Under vattenmättnadsperioden av betongkonstruktionerna efter förslutning bedömer SSM dessutom att siloalternativet (alt 3) genom sin cylindriska form och armerade konstruktion är mer tåligt mot de belastningar som uppstår till följd av yttre tryck från grundvatten.

Eftersom de bergundersökningar som har genomförts har syftat till uppförande av 2BMA finns det en kvarstående osäkerhet kopplad till huruvida det finns bergkroppar i anslutning till det område där utbyggnaden planeras som är lämpliga för att uppföra en silo (alt 3).

När det gäller de jämförda alternativens flexibilitet gentemot variationer i, framför allt, avfallsvolymer, avfallsemballage samt avfallens egenskaper, instämmer myndigheten med SKB om att den förordade utformningen av 2BMA (alt 1) är fördelaktig då kassunerna kan uppföras successivt, till skillnad från en ny betongsilo (alt 3) vars totala kapacitet behöver dimensioneras på förhand.

Sammanfattningsvis bedömer SSM att SKB:s underlag visar på att den föreslagna referensutformningen av 2BMA (alt 1) är robust och, även i pessimistiska fall, erbjuder en

ändamålsenlig skyddsförmåga. Utformningen utgör en vidareutveckling av det befintliga 1BMA. Kvarstående frågeställningar kopplade till uppförandet bedöms kunna hanteras genom fortsatt teknikutvecklingsarbete och monitorering i samband med uppförandet av konstruktionen.

SSM bedömer att en betongsilo omgiven av en bentonitbarriär (alt 3) har strålsäkerhetsmässiga fördelar jämfört med referensutformningen (alt 1). Det som främst talar emot siloalternativet (alt 3) är de ökade kostnaderna och i viss mån även en minskad flexibilitet.

För radionuklider med ”medellång” halveringstid som Mo-93 och C-14 (4000 respektive 5700 år) bedömer SSM att skillnaderna i de båda alternativens (alt 1 respektive alt 3) skyddsförmåga är av mindre betydelse från strålsäkerhetssynpunkt då flödesbarriärer för båda alternativen bedöms vara robusta till sin funktion. För radionuklider med extremt lång halveringstid som Ni-59 och Pu-239 (75 000 respektive 24 100 år) bedömer SSM att siloalternativet (alt 3) har fördelar i och med att den ger en högre tilltro till att såväl den flödesbegränsande som den kemiska barriärsfunktionen kan upprätthållas i ett mycket långt tidsperspektiv. Skillnaderna i förvarets skyddsförmåga bedöms dock inte vara så påtagliga att det är uppenbart att de uppskattade kostnadsökningarna för siloalternativet (alt 3) skulle vara motiverade. Däremot bedömer SSM att utnyttjandet av förvarets skyddsförmåga som helhet kan och ytterligare behöver optimeras genom att så långt som rimligen är möjligt begränsa inventariet av långlivade radioaktiva ämnen i 2BMA. SSM anser att detta också är i enlighet med SKB:s övergripande säkerhetsstrategi ”begränsad mängd långlivade radionuklider”. SSM bedömer att det finns potential för detta genom åtgärder i samband med omhändertagandet av avfallet t.ex. genom en ökad grad av dekontaminering av systemytor eller genom att avfall med ett större innehåll av t.ex. Ni-59 styrs mot den befintliga förvardsdelen Silo. Mot bakgrund av dessa argument anser därför myndigheten att ansökan kan godkännas i den del som avser att motivera SKB:s val av utformningen av förvardsdelen 2BMA.

2.4 Sammanvägd bedömning gällande val av plats och val av utformning

SSM har tagit del av de redovisningar som SKB inlämnat som en del av underlaget för att bedöma alternativredovisningen som underlag för att värdera uppfyllelse av SSM:s föreskrivna krav på strålskyddsoptimering och bästa möjliga teknik. Bedömningen utgör även ett viktigt underlag för att bedöma frågeställningarna kopplad till de krav som följer av 2 och 6 kap. miljöbalken.

Som konstateras ovan, syftar SSM:s bestämmelser till att lokalisera och utforma ett så strålsäkert slutförvar som rimligen möjligt. I rimlighetsavvägningen ligger inte bara ekonomiska och samhällliga faktorer, utan även avfallets egenskaper, t.ex. aktivitetsinnehåll.

Givet avfallets olika egenskaper, och därmed behovet av skyddsförmåga, blir bedömningen av nödvändighet mer komplex än om enbart en typ avfall eller en typ av utformning ska prövas. I SSM:s bedömning av kravuppfyllelse ingår därför inte bara att beakta hur utformningen av de olika förvardsdelarna har motiverats i förhållande till möjliga alternativ, utan även att värdera kostnads-nyttospekter på ett mer övergripande plan. Som framgår av granskningen ovan är den av SKB uppskattade kostnadsökningen för ett nytt siloförvar jämfört med 2BMA ungefär jämförbar med att förstärka varje enskilt bergrum av 2-5BLA. Enligt SSM:s bedömning står det klart att om det är någon förbättring som i första hand bör prioriteras så är det förstärkningen av skyddsförmågan

för det medelaktiva avfallet som SKB planerar att deponera i 2BMA. Detta innebär inte att förstärkningar av övriga förvarsdelars skyddsförmåga inte är möjlig, men att sådana ändringar inte är de som i första hand bör prioriteras.

För förvarsdelarna 2-5BLA har den djupare förläggningen jämfört med 1BLA inneburit en förbättring av förvarsdelens skyddsförmåga. SSM har, bl.a. genom egna beräkningar, kunnat dra slutsatsen att det inte är utspolning och utspädning i Östersjön som leder till kravuppfyllelse, utan detta sker genom den låga hydrauliska gradienten på förvardjup. I fråga om risk för intrång är det djupare förläggingsdjupet av 2-5BLA en förbättring av skyddet i jämförelse med befintlig anläggning.

För förvarsdelen för reaktortankar (BRT) har omfattande ändringar gjorts till följd av SKB:s (tillsammans med kärnkraftsbolagens) beslut att inte längre deponera dessa hela. Beslutet innebär i första hand miljömässiga fördelar, men bedöms även innebära fördelar från strålsäkerhetssynpunkt, främst genom att segmentering av reaktortankarna och den vidare hanteringen baseras på beprövad teknik.

I fråga om förvarsdelen 2BMA har utformningen utvecklats. SSM bedömer att den vidareutvecklade utformningen har förutsättningar att kunna uppfylla ställda krav. SSM kan samtidigt konstatera att det återstår utvecklings- och demonstrationsarbete för att verifiera att sprickor inte uppstår i samband med uppförande av förvaret. Även om utformningen av 2BMA har utvecklats och bedöms vara robust ur ett långsiktigt strålsäkerhetsperspektiv står det klart att en utformning med en kombinerad ler- och betongbarriär, likt befintlig silo, bör ha vissa strålsäkerhetsmässiga fördelar, inte minst genom den utökade skyddsförmåga som följer av en extra teknisk barriär och i synnerhet i ett mycket långt tidsperspektiv. I granskningen når SSM bedömningen att den förordade utformningen kan godtas, men att SKB behöver styra avfallet så att långlivade ämnen som Ni-59 och Pu-239 deponeras i förvarsdelen silo i så hög utsträckning som möjligt.

SSM godtar SKB:s val av plats för utbyggnaden. Detta mot bakgrund av att den valda platsen är lämplig i sig och har vissa fördelar jämfört med ett inlandsalternativ, att det föreligger osäkerheter i möjligheterna att genomföra platskaraktärisering och platsundersökningar på ett rimligt sätt för den alternativa platsen i havet utanför Simpevarp samt att det skulle vara fråga om betydande kostnadsökningar såväl som andra olägenheter att gå vidare med en alternativ lokalisering. SSM gör denna bedömning av platsens lämplighet kopplad till de åtgärder som behöver vidtas för att begränsa förvarsdelen 2BMA:s innehåll av långlivade ämnen.

3 Miljökonsekvensbeskrivningen

3.1 Inledning

3.1.1 Kravbild

Enligt kärntekniklagen ska en MKB ingå i en ansökan om tillstånd att uppföra, inneha eller driva en kärnteknisk anläggning (5 c § kärntekniklagen). I fråga om förfarandet för att upprätta MKB och kraven på denna gäller 6 kap. miljöbalken. Sedan tillståndsansökan lämnades in har bestämmelserna i bl.a. 6 kap. miljöbalken ändrats. SSM utgår i granskningen från de bestämmelser som gällde vid den tidpunkt som ansökan inlämnades.

3.1.2 Syftet med MKB

Syftet med en MKB är att identifiera och beskriva de direkta och indirekta effekter som den planerade verksamheten kan medföra dels på människor, djur, växter, mark, vatten, luft, klimat, landskap och kulturmiljö, dels på hushållningen med mark, vatten och den fysiska miljön i övrigt, dels på annan hushållning med material, råvaror och energi. Vidare är syftet att möjliggöra en samlad bedömning av dessa effekter på människors hälsa och miljön (6 kap. 3 § miljöbalken).

I förarbetena till miljöbalken anges att syftet med en MKB är att skapa ett bra underlag för ett beslut (prop. 1997/98:45 del 2, s. 56). En MKB utgör ett obligatoriskt och centralt dokument vid tillståndsprövning. Den ska ingå som en del i beslutsunderlaget och möjliggöra en samlad bedömning av en planerad verksamhets inverkan på miljön, hälsan och hushållningen med naturresurser (del 1, s. 272). En redovisning av alternativ är en viktig förutsättning för att syftet med en MKB ska kunna uppfyllas (del 1, s. 290).

Av praxis framgår att MKB inte får begränsas till den verksamhet som ansökan avser utan ska omfatta hela projektet och dess samlade effekter, direkt och indirekt.

3.1.3 Innehållet i en MKB

Kärntekniklagen hänvisar till miljöbalken gällande krav på innehåll i MKB. I miljöbalken reglerades detta vid tiden för ansökans upprättande genom 6 kap. 7 § miljöbalken där det ställdes krav att miljökonsekvensbeskrivningen ska innehålla:

- 1. en beskrivning av verksamheten eller åtgärden med uppgifter om lokalisering, utformning och omfattning,*
- 2. en beskrivning av de åtgärder som planeras för att skadliga verkningar ska undvikas, minskas eller avhjälpas och hur det ska undvikas att verksamheten eller åtgärden medverkar till att en miljökvalitetsnorm enligt 5 kap. inte följs,*
- 3. de uppgifter som krävs för att påvisa och bedöma den huvudsakliga inverkan på människors hälsa, miljön och hushållningen med mark och vatten samt andra resurser som verksamheten eller åtgärden kan antas medföra,*
- 4. en redovisning av alternativa platser, om sådana är möjliga, samt alternativa utformningar tillsammans med dels en motivering varför ett visst alternativ har valts, dels en beskrivning av konsekvenserna av att verksamheten eller åtgärden inte kommer till stånd, och*
- 5. en icke-teknisk sammanfattning av de uppgifter som anges i 1–4.*

Vidare framgår det av tredje stycket att länsstyrelsen, inom ramen för samrådsförfarandet, kan begära att även andra jämförbara sätt att nå samma syfte ska redovisas.

Enligt förarbetena ska kraven på innehåll och omfattning av en MKB stå i proportion till verksamhetens potentiella miljöpåverkan samt vad ansökan avser (prop. 1997/98:45, del 1, s. 281). Mot denna bakgrund anser SSM att höga krav ska ställas i detta fall. Det gäller dels generella frågor som hantering av samråd och alternativ, dels i fråga om redovisningen av kärnsäkerhet och strålskydd.

3.1.4 Godkännande av en MKB

Den ställning MKB har i prövningen av en ansökan understryks av att den prövande myndigheten ska godkänna MKB, d.v.s. ta ställning till om MKB uppfyller kraven i 6 kap. miljöbalken. Detta ska ske genom ett särskilt beslut eller i samband med avgörandet av ärendet, men fristående från själva prövningen av ansökan (6 kap. 9 § miljöbalken). Ställningstagandet till MKB ska motiveras.

Vid prövningen av ansökan ska prövningsmyndigheten beakta innehållet i MKB och resultatet av samråd och yttranden från samråd inför framtagandet av MKB, såväl som yttranden efter kungörelse av ansökan.

Prövningen för godkännande avser både dokumentationen och samråd inför framtagandet av MKB. En godkänd MKB är en förutsättning för att pröva en ansökan. Om MKB inte kan godkännas ska ansökan avvisas. I fråga om slutförvar för låg- och medelaktivt kärnavfall är det regeringen som fattar beslut både om tillstånd kan lämnas och om MKB kan godkännas.

3.1.5 SSM:s roll vid bedömning av MKB

Parallellt med myndighetens beredningsansvar för regeringens beslut enligt kärntekniklagen är SSM också remissinstans åt mark- och miljödomstolen för den ansökan som lämnats in enligt miljöbalken.

Mark- och miljödomstolen ska göra en prövning enligt miljöbalken av om MKB omfattar alla de olägenheter som kan tänkas uppkomma i verksamheten. Vid SSM:s prövning av MKB enligt de krav som följer av kärntekniklagen och strålskyddslagen är det främst strålsäkerhetsaspekterna som beaktas. Myndigheten ska även ta ställning till om MKB ger underlag för samlad bedömning med tanke på allmänna krav om alternativ, process och tydlighet. I detta ingår att utvärdera ändamålen, eftersom dessa sätter ramar för MKB.

Sammanfattningsvis utgår SSM i yttrandet till regeringen dels från hur allmänna krav på MKB har bedömts, dels från en utvärdering av underlag och konsekvensbedömningar i MKB med fokus på strålsäkerhet. Mot bakgrund av detta ska SSM lämna sin rekommendation till regeringen när det gäller godkännande av MKB.

3.1.6 SSM:s granskning av MKB

SSM har deltagit i samråden inför upprättandet av MKB och framfört synpunkter som innebär att SKB bör ha en hög ambitionsnivå särskilt när det gäller hanteringen av alternativ. SSM har även begärt att SKB ska komplettera MKB, i första hand gällande frågeställningar som rör val av plats och utformning av de olika förvarsdelar som SKB planerar att uppföra för att omhänderta olika typer av avfall.

För att ta ställning till om MKB möjliggör en samlad bedömning utifrån ett strålsäkerhetsperspektiv har SSM tagit fram följande **övergripande bedömningskriterier** utifrån miljöbalkens krav.

1. Är ansökans formulering av ändamålen godtagbar och kopplad till avgränsningen av MKB?

2. Är verksamheten beskriven med uppgifter om lokalisering, utformning och omfattning?
3. Är miljöeffekterna av den planerade verksamheten, samt möjliga skadeförebyggande åtgärder, tillräckligt utredda och beskrivna med avseende på strålsäkerhet?
4. Är alternativredovisningen i MKB tillräcklig?
5. Har samråd genomförts på ett godtagbart sätt?

För bedömningen av MKB är det av relevans dels hur slutsatser tagits in i MKB och påverkat samlade slutsatser, dels tydlighet och sökbarhet i beskrivningen. Avgörande för om SSM kan tillstyrka godkännande av MKB såväl som ansökningarna är granskningen av de särskilda redovisningarna av strålsäkerhet. Dessa måste ge stöd för slutsatserna i MKB.

3.2 Beskrivning av SKB:s underlag

SKB har i sin ansökan redovisat en MKB. Motiv till valda alternativ anges vara redovisade i MKB, medan argumentation kring huruvida valda alternativ och/eller tekniska lösningar uppfyller kraven på BAT finns i en särskild bilaga till SKB:s ansökan (SKB dokID 1415420).

SSM har efterfrågat kompletterande redovisningar inom ramen för MKB gällande den närmare motiveringen av anläggningens utformning (SSM2015-725-7). SKB har inkommit med ett svar på den efterfrågade redovisningen (SKB dokID 1550443). Efter granskning efterfrågade SSM ytterligare redovisningar dels gällande utformningen av förvardsdelen 2BMA (SSM2015-725-34), dels rörande BRT (SSM2015-725-70). SKB har besvarat SSM:s kompletteringsbegäran (SSM2015-725-63) och redovisat ändringar i den valda utformningen av förvardsdelarna BRT och 2BMA (SKB dokID 1590442, SKB dokID 1578361, SKB dokID 15900441, SKB dokID 1569813). SKB har dessutom angett att man tar tillbaka den del av de verksamheter som avser mellanlagring av långlivat kärnavfall. SKB har inkommit med kompletteringar rörande BRT (SKB dokID 1611858, SKB dokID 1590552).

3.3 Avgränsning av MKB/ansökan mot bakgrund av ändamål

Krav

Hur ändamålet med verksamheten är formulerat är centralt eftersom det sätter ramar för verksamheten som ska bedömas. Ändamålet ska klargöra vad som är syftet med den sökta verksamheten, alltså klargöra vad som ska lösas och inte hur det ska lösas.

Formuleringen av ändamålet avgör därför vilka alternativ som ryms inom ramen för prövningen, eftersom det enbart är alternativ som uppfyller ändamålet med verksamheten som kan bli aktuella att redovisa inom ramen för MKB. Av praxis framgår det att ändamålsformuleringen inte kan begränsas till det som sökanden vill genomföra, utan även sådana åtgärder som ligger utanför sökandens uppdrag kan behöva redovisas (jfr. beslutsprocessen för Effektivare Nord-sydliga förbindelser och länsstyrelsens i Stockholm län beslut 2002-03-01 om betydande miljöpåverkan). Det ligger i prövande instans uppgift att ta ställning till om ändamålsformuleringen kan godtas.

Beskrivning av SKB:s underlag

SKB beskriver i MKB, avsnitt 1, det ändamål som verksamheten syftar till att lösa. Till följd av ändrade planer justerades ändamålet i maj 2017 enligt följande (SKB dokID 1590552) till "...att slutförvara låg- och medelaktivt avfall för att skydda människors hälsa och miljön mot skadlig verkan av joniserande strålning från avfallet, nu och i framtiden. Avfallet som ska slutförvaras kommer från drift, avveckling och rivning av svenska kärntekniska anläggningar samt viss övrig verksamhet i Sverige. Ytterligare förvaringsutrymme behövs för slutförvaring av låg- och medelaktivt avfall för att möjliggöra rivning av anläggningar där den kärntekniska verksamheten upphört."

SSM:s bedömning

SSM bedömer att SKB:s ändamålsformulering på ett övergripande sätt väsentligen klargör vad verksamheten syftar till. Sedan ansökan inlämnades har SKB valt att exkludera den del av ansökan som gäller mellanlagring av det långlivade kärnavfallet som avses slutförvaras i det planerade Slutförvaret för långlivat avfall (SFL). Vid en eventuell revidering av MKB behöver detta justeras.

Det är enligt 5a § kärntekniklagen förbjudet att utan särskilt tillstånd slutförvara kärnavfall som kommer från en kärnteknisk anläggning eller kärnteknisk verksamhet i annat land. Ett sådant tillstånd meddelas av regeringen. Tillstånd får enligt 5b § kärntekniklagen enbart medges om det finns synnerliga skäl och att det inte försvårar genomförandet av det program som följer av 12 § kärntekniklagen. Regeringen har vid flera tillfällen sedan bestämmelsen infördes meddelat ett sådant tillstånd för de verksamheter som bedrivs vid anläggningarna i Studsvik. Tillståndet omfattar såväl slutförvaring av begränsade mängder utländskt använt kärnbränsle som slutförvaring av begränsade mängder kärnavfall från undersökningar och behandling av låg- och medelaktivt kärnavfall.

I samband med huvudförhandlingen vid mark- och miljödomstolen (i mål nr M 7062-14) klargjorde SKB att ansökan enligt miljöbalken även omfattar de begränsade mängder utländskt kärnavfall som följer av verksamheterna vid Studsvik. SKB har även förtydligat (SSM2015-756-53) att detsamma gäller för ansökan enligt kärntekniklagen. SSM har inga invändningar mot denna tolkning av ändamålsformuleringen.

3.4 Beskrivning av verksamheten

Krav

6 kap. 7 § punkt 1 miljöbalken

En beskrivning av verksamheten med uppgifter om lokalisering, utformning och omfattning.

Beskrivning av SKB:s underlag

SKB har i sin ansökan lämnat in en MKB som innehåller beskrivningar av dels den befintliga anläggningen, lokalisering och förutsättningar på platsen, miljökonsekvenser under drift- och avvecklingskedet, lokaliseringsalternativ etc. Genom de ändringar av utformningen som har vidtagits, ger den ursprungliga MKB inte längre en korrekt beskrivning av varken ovanjordsdelen, tillträdestunnlarna eller den planerade utformningen av förvarsdelarna 2BMA och BRT. En beskrivning av dessa delar återfinns i stället i inlämnade kompletteringar. Även det återtagna yrkandet avseende mellanlagring av långlivat avfall har föranlett ändringar av ansökan och MKB och delar av dessa dokument har utgått i sin helhet.

SSM:s bedömning

SSM bedömer i stort att SKB på ett tydligt sätt har beskrivit den planerade verksamheten, så som den var planerad vid ansökanstillfället. Detta gäller såväl de lokala platsförutsättningarna, där resultaten från genomförda platsundersökning utgör en viktig del, som den pågående och planerade verksamheten som avses bedrivas i anläggningen. SKB har dock sedan ansökan inlämnades genomfört ett antal justeringar av anläggningens utformning. Detta gäller utformningen av förvarsdelarna 2BMA och BRT, samt att SKB inte längre avser att uppföra en särskild nedfartstunnel för reaktortankarna. Dessutom har SKB återtagit yrkandet om att få mellanlagra långlivat avfall. SSM bedömer att SKB i MKB med kompletteringar har inlämnat en tillräckligt tydlig beskrivning av den planerade verksamheten.

Den befintliga delen av SFR har varit i drift sedan 1988. SSM har inom ramen för tillsynen av den befintliga anläggningen, vilken omfattas av såväl ansökan som MKB, granskat och bedömt verksamheten. Detta har lett till att SSM har ställt krav på åtgärder, varav vissa frågeställningar är av mer principiell karaktär och potentiell betydelse för strålsäkerheten. Detta gäller exempelvis betydelsen av betongdegradering och behov av åtgärder, betydelsen av feldeponerat avfall i förvarsdelen 1BLA och behov av åtgärder samt krav gällande komplettering från granskningen av SKB:s senaste analys av den långsiktiga strålsäkerheten (SAR-08). SSM konstaterar att MKB, tillsammans med andra delar av underlaget, på en övergripande nivå, adresserar frågeställningar kopplade till betongdegraderingsfrågorna och det feldeponerade avfallet, men i mindre grad beskriver vilka faktiska åtgärder som planeras.

I fråga om tidigare granskningar av den långsiktiga strålsäkerhetsanalysen har SSM, utifrån redovisningar som inkom 2001 respektive 2008, begärt kompletteringar och dessutom infört vissa driftsbegränsningar gällande deponering av avfall i 1BMA framförallt från tryckvattenreaktorerna från Ringhals kärnkraftverk. Dessa begränsningar har gällt sedan 2003 (SSI 6220/3745/03). Inledningsvis medgavs inte heller deponering av liknande avfall i silo. Detta deponeringsstopp hävdades 2010 (SSM 2008/981-31).

3.5 Beskrivning av planerade åtgärder för att undvika skadliga verkningar

Krav

6 kap 7 § punkt 2 miljöbalken

En beskrivning av de åtgärder som planeras för att skadliga verkningar ska undvikas, minskas eller avhjälpas och hur det ska undvikas att verksamheten inte medverkar till att miljö kvalitetsnormen enligt 5 kap. miljöbalken inte följs.

Beskrivning av SKB:s underlag

SKB ger i kap. 13 i MKB en sammanställning av förebyggande och konsekvenslindrande åtgärder. Med något undantag diskuteras inte frågeställningar som i första hand berör strålskydd och kärnsäkerhet under drift och efter förslutning.

SSM:s bedömning

SSM bedömer att det finns vissa brister i SKB:s redovisning av planerade åtgärder för att undvika skadliga verkningar. SSM bedömer att redovisningen i kapitel 13 av vilka åtgärder som avses vidtas i syfte att förbättra strålsäkerheten under drift och efter förslutning kunde ha utvecklats. SSM konstaterar att sådana åtgärder i stället beskrivs i särskilda avsnitt i MKB där det exempelvis beskrivs att hantering av avfall inte kommer

att ske när sprängningsarbete pågår under byggskedet, att berget tätas för att minska risken för eventuellt höga vattenflöden. För driftskedet hänvisas till säkerhetsanalysen av anläggningens robusthet och till de byggnader, system och komponenter som utgör barriärer under driftskedet. För tiden efter förslutning redovisas de olika barriärerna som har betydelse på lång sikt, liksom de båda säkerhetsprinciper som tillämpas.

Utöver denna otydlighet anser SSM att redovisningen i högre grad kunde ha klargjort vilka faktiska åtgärder som planeras eller övervägs att vidtas av betydelse för strålsäkerheten under drift och efter förslutning. Ett sådant exempel gäller åtgärder som vidtas för att undvika korrosionsangrepp och andra skador på avfallet och slutförvarets barriärer till följd av klimatet i anläggningen. En diskussion om denna fråga återfinns i avsnitt 7.5 (Modernisering och teknikutveckling), men denna redovisning lämnar inget tydligt besked av vilka åtgärder som faktiskt avses vidtas. På samma sätt anser SSM att de åtgärder som vidtas för att styra avfall till olika delar av förvaret i syfte att utnyttja de olika förvarsdelarnas skyddsförmåga på ett optimalt sätt, borde ha redovisats på ett tydligare sätt. Denna styrning av avfallet är i högsta grad kopplad till SKB:s säkerhetsprincip att begränsa mängden långlivad aktivitet i de olika förvarsdelarna i SFR.

Flera av de brister som SSM har identifierat har varit och är föremål för myndighetens tillsyn av den befintliga anläggningens drift. På motsvarande sätt kan SSM ställa krav på åtgärder för de tillkommande delarna om tillstånd enligt kärntekniklagen utfärdas. Mot denna bakgrund godtar SSM den redovisning som lämnats.

3.6 Uppgifter som krävs för att påvisa och bedöma inverkan på människors hälsa och miljö

Krav

6 kap. 7 § punkt 3 miljöbalken

De uppgifter som krävs för att påvisa och bedöma den huvudsakliga inverkan på människors hälsa, miljön och hushållningen med mark och vatten samt andra resurser som verksamheten kan antas medföra.

Beskrivning av SKB:s underlag

SKB har i ett särskilt kapitel i MKB redovisat radiologisk risk och strålsäkerhet dels under uppförande och drift, dels efter förslutning. Redovisningen för driftperioden inkluderar såväl förväntade stråldoser till personal som till omgivningen, som i samband med störningar och missöden. Redovisningen inkluderar en beskrivning av de krav som följer av det internationella regelverket för transporter. I fråga om strålsäkerhet efter förslutning beskriver SKB den metodik som tillämpats i SR-PSU för att beräkna radiologisk risk, hur osäkerheter är beaktade, vilka säkerhetsfunktioner som har tagits fram för att beskriva förvaret och omgivningen. SKB beskriver vidare de olika scenarier som har analyserats och presenterar beräknad risk för olika tider efter förslutning. I kapitlet ges även en redovisning av doser till biota och icke-radiologiska risker.

SSM:s bedömning

SSM bedömer att SKB huvudsakligen ger en godtagbar redovisning av de radiologiska risker som verksamheten är förknippad med, såväl under uppförande och drift, som efter förslutning. Sedan MKB togs fram har dock delar i anläggningens utformning och planerade verksamhet ändrats, liksom analysen av strålsäkerheten. Detta innebär att MKB inte fullt ut speglar de förväntade miljökonsekvenserna efter genomförda förändringar.

SSM baserar därför bedömningen om tillräcklighet på andra delar av SKB:s redovisning inom ramen för tillståndsansökan.

3.7 Alternativredovisningen i MKB

Frågan om alternativa utformningar och lokaliseringen i samband med prövningen av utbyggnad av slutförvaret blir av uppenbara skäl begränsad till tillkommande delar av anläggningen. Således omfattas kraven på den tillkommande anläggningens lokalisering och utformning i sin helhet t.ex. den närmare placeringen vid den valda förläggningsplatsen (t.ex. förvarsdjupet) liksom utformningen av anläggningens olika förvarsdelar och hur de konstruerade barriärerna kan förväntas samverka med avfallet i syfte att åstadkomma en så ändamålsenlig skyddsförmåga som rimligen är möjlig.

Samspelet mellan förvarets utformning och de krav som detta i sin tur ställer på avfallets behandling liksom övriga egenskaper är betydelsefull i samband med omhändertagande av låg- och medelaktivt avfall. Utgångspunkten är att omhändertagandet av avfallet behöver anpassas till förvarets utformning och barriärer. Med denna utgångspunkt har därför SSM ställt krav på att SKB ska ta fram acceptanskrav för de avfall som ska deponeras i det befintliga förvaret. I fråga om SKB:s planerade utbyggnad av SFR med ytterligare förvarsdelar ges samtidigt möjlighet att i viss utsträckning anpassa förvaret efter det avfall som avses produceras, liksom planerna för avfallets behandling. Avfallsproducenternas planer får samtidigt inte leda till att redovisningen av alternativ begränsas i allt för hög grad, utan enligt SSM utgör slutförvaret huvudsyftet med prövningen även om den påverkan som olika alternativa utformningar kan ha får beaktas i värderingen av olika alternativ.

Krav

Enligt 6 kap. 7 § punkt 4 ska en MKB innefatta en redovisning av alternativa platser, om sådana är möjliga, samt alternativa utformningar tillsammans och en motivering varför ett visst alternativ har valts, dels en beskrivning av konsekvenserna av att verksamheten inte kommer till stånd.

Beskrivning av SKB:s underlag

Struktur på redovisning av alternativa utformningar

I den ursprungliga ansökan som lämnades in berördes alternativa utformningar dels i det s.k. toppdokumentet (SKB dokID 1359931), dels i den bilagda miljökonsekvensbeskrivningen (MKB PSU), dels i bilagan Utbyggnaden av SFR ur ett BAT-perspektiv (SKB dokID 1415420). Som en följd av de kompletteringar som har efterfrågats har underlaget kompletterats dels i juli 2016 med ett antal bilagor rörande bl.a. motiv för vald utformning, dels i en komplettering gällande förvarsdelen 2BMA som inlämnades i maj 2017. Ytterligare kompletteringar inlämnades under hösten 2017 som en följd av ett antal önskemål om förtydligande från SSM (SKB dokID 1604998, SKB dokID 1604614).

Förvarsdjup

I avsnitt 11.3.1 i MKB, samt i avsnitt 6.3.1 i BAT-bilagan, beskriver SKB vilka utredningar av förvarsdjupet som gjordes inom ramen för projekteringsarbetet. I en kompletteringsbegäran efterfrågade SSM en utveckling av motiveringen av förvarsdjup med hänsyn till slutförvarets skyddsförmåga utifrån risken för oavsiktligt intrång, förekomst av horisontella sprickor med hög vattengenomsläpplighet, förekomst och djup



för permafrost, kostnader för uppförande samt andra faktorer av betydelse för skälighetsbedömningen (SSM2015-725-7). SKB kompletterade redovisningen den 1 juli 2016 (SKB dokID 1535980).

Alternativ metod/utformning för slutförvaret

Alternativa utformningar redovisas i avsnitt 11.3 i MKB och innehåller en översiktlig beskrivning av hur layouten av utbyggnaden har utvecklats under projekteringsarbetet och efterföljande steg i projektet. Beskrivningen innehåller även en redovisning av de olika försvarsdjup som övervägts, och motiv för det gjorda valet, samt en redovisning (avsnitt 11.3.2) av vilka överväganden kring hanteringen av reaktortankar som ledde till den förordade deponeringsstrategin (hela tankar) och hur en ändrad kapacitet i nedtransport-tunneln ska kunna åstadkommas. Redovisningen innehåller även en beskrivning av hanteringen av bergmassor ovan jord. MKB innehåller ingen redovisning av alternativa utformningar av försvarsutrymmena 2-5BLA, 2BMA och BRT. En sådan redovisning återfinns istället i den s.k. BAT-bilagan, vilken utgör en bilaga till ansökan. De kompletteringar gällande alternativa utformningar av försvarsutrymmena som inkom under 2016 och 2017 anges inte heller utgöra bilagor till MKB, utan till tillståndsansökan.

Alternativ för mellanlagring av långlivat avfall

SKB redovisar (avsnitt 11,2) olika alternativ för mellanlagring av långlivat avfall. Eftersom SKB har tagit tillbaka denna del av yrkandet är redovisningen inaktuell.

Alternativa platser för slutförvar

När det gäller alternativa platser för ett slutförvar innehåller MKB (avsnitt 11.1) en översiktlig beskrivning av lokaliseringsarbetet. Redovisningen innehåller en beskrivning av utgångspunkterna för lokalisering tillsammans med en kort beskrivning av lokalisering av befintligt SFR. Vidare beskrivs vilka övriga platser som har övervägts och motiven för att begränsa jämförelsen till alternativen till Forsmark (vid SFR) och Simpevarp/Laxemar. En mer ingående beskrivning görs av alternativet Simpevarp/Laxemar (avsnitt 11.1.4).

SSM har begärt kompletteringar med en tydligare motivering av lokaliseringen av anläggningen och specifikt en jämförelse med en lokalisering i bergvolym med förhållandevis få vattenförande sprickor (SSM2015-725-7 samt SSM2015-725-33).

SKB inkom med svar på dessa begäranden (SKB dokID 1590442 med bilaga SKB dokID 1578361 respektive SKB dokID 1550443 med bilaga SKB dokID 1534753).

Nollalternativ

I redovisningen beskriver SKB den mellanlagring av avfallet som skulle behöva ske om utbyggnaden inte kom till stånd och att detta skulle påverka avvecklingen av kärnkraftverken. För mellanlagring av uppkommet kortlivat låg- och medelaktivt avfall anger SKB att detta skulle ske i samma anläggningar, med undantag för Clab, som diskuteras inom ramen för alternativredovisningen i avsnitt 11.2 i MKB. De anläggningar som diskuteras är befintliga mellanlager på kärnkraftverken eller vid anläggningarna i Studsvik. Detta är dock inte en lösning på längre sikt för att mellanlagra uppkommet rivnings- och driftavfall. Även etablerandet av nya anläggningar kan bli behövliga.

SKB för också ett resonemang om hur avsaknaden av ett slutförvar för rivningsavfall skulle påverka möjligheten till avveckling av kärnkraftverken. SKB anger att avställda kärnkraftverk skulle ställas om till servicedrift, vilket innebär att bränslet avlägsnas och att driften minimeras till de processsystem som behövs för att säkerställa liten, eller begränsad, spridning av aktivitet till omgivningen och personal från joniserande strålning.

SSM:s bedömning

SSM har i samrådsprocessen efterfrågat att valda utformningar motiveras i MKB.

SSM kan konstatera att SKB valt att inte redovisa väsentliga delar av alternativredovisningen inom ramen för MKB, istället återfinns redovisningen i en särskild bilaga till tillståndsansökan. SSM har inom ramen för samrådet (Synpunkter på öppet samråd den 1 februari 2014 om utbyggnad av SFR, SSM 2010/608-53) liksom i kompletteringsyttrandet till mark- och miljödomstolen (MMD) den 16 december 2015 framfört att redovisningen av alternativa utformningar, åtminstone på en översiktlig nivå, också bör ingå i MKB. SSM kan konstatera att alternativa utformningar av förvarsdelarna, delar av redovisningen kring omhändertagande av reaktortankarna i BRT undantagen, saknas i MKB. SKB har inte tagit fasta på denna synpunkt, utan motiverar i avsnitt 5.3.3 i samrådsbilagan (SKB dokID 1430890) att MKB begränsas till frågor för vilka det finns risk för betydande miljöpåverkan. SKB hänvisar till BAT-bilagan för en redovisning av argumentation kring huruvida valda alternativ och/eller tekniska utformningar uppfyller kraven på BAT.

SSM kan konstatera att SKB:s motiv för att inte tillmötesgå SSM är ett resonemang med utgångspunkt från risken för betydande miljöpåverkan. SSM ställer sig frågande till denna motivering. Hela syftet och ändamålet med verksamheten är att slutförvara det radioaktiva avfallet för att skydda människors hälsa och miljön mot skadlig verkan av joniserande strålning. Att då exkludera de frågeställningar från MKB som i allra högsta grad kan påverka förutsättningarna att uppfylla ändamålet måste bedömas som diskutabelt och skulle kunna innebära att MKB har formella brister i jämförelse med de krav som följer av (dåvarande) 6 kap. 7 § miljöbalken. SSM bedömer dock att SKB i övriga delar av ansökan med tillhörande kompletteringar har utrett alternativen tillräckligt väl, vilket konstateras i avsnitt 2.3. SSM bedömer att övriga föreslagna alternativ som framförts av myndighetens remissinstanser inte är rimliga för det avfall som prövningen omfattar. I fråga om SKB:s alternativredovisning uppfyller miljöbalkens krav bör i första hand mark- och miljödomstolens bedömning vara vägledande för regeringens beslut.

SSM kan även konstatera att de delar som rör hanteringen av reaktortankarna är inaktuella i de delar som ingår i alternativredovisningen i MKB. De slutsatser som SKB drar i den komplettering som inlämnats når delvis andra slutsatser än de som anges i MKB. Eftersom SSM i granskningen, se Del IV, avsnitt 2.3, bedömer att de senare slutsatserna har större relevans än de som framfördes i MKB, och referenser till denna, godtar SSM redovisningen.

Detsamma gäller i viss utsträckning även SKB:s redovisning av alternativa lokaliseringar av slutförvaret. SSM bedömer att MKB med kompletteringar sammantaget ger en godtagbar redovisning av lokaliseringen och bedömer att redovisningen kan godtas. Se vidare avsnitt 2.2 i denna del av rapporten.

SSM bedömer att MKB med kompletteringar om motiv för valt förvarsdjup kan godtas. Se vidare avsnitt 2.3 i denna del av rapporten.

Genom att SKB inte längre yrkar om att få mellanlagra långlivat låg- och medelaktivt avfall i SFR blir redovisningen av nollalternativet begränsad jämfört med den redovisning som låg till grund för de kompletteringar som SSM begärde i december 2015 (SSM2015-656-5). SSM kan konstatera att SKB för resonemang om de konsekvenser som förmodas om tillstånd inte medges. SSM bedömer att redovisningen kan godtas.

3.8 Samråd

Krav

Samråd med rätt parter: 6 kap. 4 § punkt 1-2 miljöbalken

Samrådets genomförande och omfattning: Enligt 6 kap. 4 § andra stycket miljöbalken ska samrådet genomföras i god tid och i behövlig omfattning innan en ansökan om tillstånd och en miljökonsekvensbeskrivning upprättas.

Samrådets innehåll: Enligt 6 kap. 4 § andra stycket miljöbalken ska samrådet avse verksamhetens lokalisering, omfattning, utformning och miljöpåverkan samt miljökonsekvensbeskrivningens innehåll och utformning.

Beskrivning av SKB:s underlag

Samråden enligt miljöbalkens bestämmelser inleddes 2010 och avsåg såväl ansökningar enligt miljöbalken som kärntekniklagen. I kapitel 5 i MKB redovisar SKB de samråd som har hållits. Bilagt till MKB redovisas en närmare sammanställning. Till denna bilaga bifogas även särskilda redogörelser av de särskilda samrådsmöten som genomförts. Samråden avslutades i mars 2014.

Samrådsredogörelsen redovisar visar teman, tidpunkter och deltagande parter i möten. Av redogörelsen beskrivs även de förändringar som skett under samrådsprocessen, t.ex. vad gäller anläggningsutformningen, samt de frågor som föranlett åtgärder och kompletterande utredningar. I bilagorna till samrådsredogörelsen redovisas frågor och svar. SKB redovisar även övrig dialog med myndigheter och allmänhet som har hållits, t.ex. de möten som på SKB:s initiativ har hållits mellan SKB och SSM.

Remissinstansers synpunkter

Naturskyddsföreningen och Miljöorganisationernas kärnavfallsgranskning
Föreningarna yrkar på (SSM2015-1640-32) att sökanden förbättrar beskrivningen i ansökan om hur synpunkter från samrådet omhändertagits i ansökan och MKB.

SSM:s beaktande av remissynpunkter

SSM konstaterar likt remissinstanserna att de synpunkter, som även SSM lämnat, gällande ett mer omfattande samråd inte fullt ut blivit tillgodosedda. SSM delar också synpunkten att SKB inte på ett tydligt sätt har redovisat hur lämnade synpunkter har beaktats, exempelvis önskemålet om samråd kring en preliminär utgåva av MKB, samråd kring plats- och metodval. SSM har i granskningen även konstaterat att SKB inte har genomfört samrådsmöten enligt 6 kap. miljöbalken om alternativa utformningar. Särskilda möten har dock hållits mellan SKB och SSM vid vilka SKB har presenterat alternativa utformningar av de olika förvarsdelarna. SSM har lämnat till domstolen att ta ställning till hur SKB har uppfyllt kraven gällande samråd enligt miljöbalkens krav.

SSM:s bedömning

SKB har genomfört en relativt omfattande samrådsprocess. SSM kan konstatera att olika parter inom ramen för de samråd som har genomförts har getts möjlighet att lämna såväl muntliga som skriftliga kommentarer.

SSM har, liksom flera remissinstanser, efterfrågat ett mer omfattande samråd kring en preliminär utgåva av MKB, samråd kring plats- och metodval, liksom samråd om framtagande av analysen av slutförvarets långsiktiga strålskydd och säkerhet och preliminära

resultat från denna. SSM kan konstatera att myndighetens synpunkter inte fullt ut blev tillgodosedda.

SSM kan även konstatera att SKB inte har genomfört samrådsmöten om alternativa utformningar av försvarsdelarna inom ramen för den formella samrådsprocessen enligt miljöbalkens 6 kap. Frågor rörande alternativ ingick i det samråd som hölls den 1 februari 2014, men vid detta möte presenterades inte alternativa utformningar för de olika försvarsdelarna i den planerade verksamheten. Detta kommenterades av SSM vid samrådsmötet och i skriftliga synpunkter (SSM 2010/608-53). Alternativa utformningar av förvaret har dock redovisats för SSM vid de särskilda möten som har hållits på SKB:s initiativ. SSM har genom dessa möten getts möjligheter att lämna synpunkter.

I fråga om SKB:s samrådsprocess uppfyller miljöbalkens krav bör i första hand mark- och miljödomstolens bedömning vara vägledande för regeringens beslut. SSM har mot bakgrund av inkomna remissynpunkter inom ramen för ansökan enligt kärntekniklagen samt mot bakgrund av vad som framfördes under mark- och miljödomstolens huvudförhandling (i mål nr M 7062-14) inte uppfattat att samrådsprocessen utgör hinder för att kunna godkänna MKB.

3.9 Icke-teknisk sammanfattning

Krav

6 kap. 7 § punkt 5 miljöbalken

En icke-teknisk sammanfattning av de uppgifter som anges i 6 kap. 7 § punkterna 1 – 4 miljöbalken

Beskrivning av SKB:s underlag

En icke-teknisk sammanfattning av miljökonsekvensbeskrivningens innehåll finns i början av miljökonsekvensbeskrivningen. Sammanfattningen beskriver kortfattat den sökta verksamheten och dess ändamål, förutsättningarna för verksamheten samt påverkan och konsekvenser. Frågor rörande risk och strålsäkerhet presenteras kortfattat, liksom en övergripande redovisning av alternativ till den förordade lokaliseringen. Alternativa utformningar begränsas till förläggningsdjup samt var förvaret avses lokaliseras i förhållande till befintlig anläggning. Redovisningen omfattar även en sammanfattning av nollalternativet.

SSM:s bedömning

SSM bedömer att SKB ger en godtagbar beskrivning av den planerade verksamheten i den icke-tekniska sammanfattningen.

3.10 Sammanvägd bedömning MKB

SSM har granskat den MKB som har upprättats och det samråd som har genomförts. SSM bedömer att det finns tillräckliga uppgifter i MKB och andra delar av tillståndsansökan med kompletteringar för att utifrån ett strålsäkerhetsperspektiv kunna påvisa och bedöma den huvudsakliga påverkan av verksamheten på människors hälsa och miljön.

SSM konstaterar dock att MKB-dokumentet inte innehåller en redovisning av alternativa utformningar av försvarsdelarna med bäring på strålsäkerhet. Dessa har inte heller



presenterats vid de samrådsmöten som SKB har hållit inom ramen för den formella samrådsprocessen enligt miljöbalkens 6 kap. Då SKB redovisar alternativa utformningar av förvarsdelarna i den s.k. BAT-bilagan och myndigheten har getts möjligheter att ta ställning till utformningsalternativen genom särskilda möten mellan SKB och SSM ser inte myndigheten att det har försvårat SSM:s bedömning av ansökan. SSM bedömer därför att MKB kan godkännas utifrån strålsäkerhetssynpunkt men anser samtidigt att i mark- och miljödomstolens bedömning av MKB i första hand bör vara vägledande för regeringens beslut.

4 Miljökvalitetsnormer

Enligt kärntekniklagen ska 5 kap. 3 § miljöbalken tillämpas vid prövning av ärenden enligt strålsäkerhetslagstiftningen. Ett tillstånd som medverkar till att en miljö-kvalitetsnorm, som avses i 5 kap. 2 § första stycket miljöbalken inte följs, får meddelas endast om tillståndet förenas med de krav som behövs för att följa normen eller om det finns förutsättning för tillstånd som anges i 2 kap. 7 § miljöbalken. Sådana gränsvärden som avses i 5 kap. miljöbalken finns dock inte för radioaktiva ämnen. SSM kan därmed inte se att 5 kap. miljöbalken är relevant vid prövningen avseende strålsäkerhetsfrågor.

Referenser

Ahlström J, 2015. Corrosion of steel in concrete at various moisture and chloride levels, Rapport 2015:133, Energifors AB.

Andersson P, Garnier-Laplace J, Beresford N A, Copplestone D, Howard B J, Howe P, Oughton D, Whitehouse P, 2009. Protection of the environment from ionising radiation in a regulatory context (PROTECT): proposed numerical benchmark values. *Journal of Environmental Radioactivity* 100, 1100–1108.

Andrews J E, Brimblecombe P, Jickells T D, Liss P S, 1996. *An Introduction to Environmental Chemistry*, Blackwell Science, Oxford, UK.

Ansökan om tillstånd enligt Kärntekniklagen för utbyggnad och fortsatt drift av SFR, 2015, SKB dokID 1359931, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Ansökan om tillstånd enligt Kärntekniklagen för utbyggnad och fortsatt drift av SFR, 2015, Bilaga F-PSAR SFR, Första preliminär säkerhetsredovisning för ett utbyggt SFR, Allmän del 1, Driftsäkerhet för ett utbyggt SFR, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Appelgren E, Hellström P, 1986. SFR1 – Forsmark omgivningskonsekvenser av missöden. KS-60/86, Vattenfall.

Atkins P, de Paula J, 2006. *Atkins' Physical Chemistry*. 8th Edition. W H Freeman and Company.

Babaahmadi A., 2015. Durability of Cementitious Materials in Long-Term Contact with Water. Doctoral Dissertation. Department of Civil and Environmental Engineering, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden.

Babaahmadi A, Tang L, Abbas Z, Mårtensson P, 2015. Physical and Mechanical Properties of Cementitious Specimens Exposed to an Electrochemically Derived Accelerated Leaching of Calcium. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 9, 295-306.

Banwart, S A, 1999. Reduction of iron(III) minerals by natural organic matter in groundwater, *Geochimica et Cosmochimica Acta* 63, 2919-2928.

Beresford N A, Barnett C L, Howard B J, Scott W A, Brown J E, Copplestone D, (2008). Derivation of transfer parameters for use within the ERICA Tool and the default concentration ratios for terrestrial biota. *Journal of Environmental Radioactivity* 99, 1393–1407.

Berger A, Loutre M F, 2002. An exceptionally long interglacial ahead? *Science* 297, 1287–1288.

Betongföreningen, 2007. *Vägledning för livslängdsdimensionering av betongkonstruktioner*. Stockholm: Svenska betongföreningen.

Björkenstam E., 1997. Utveckling av SFR-bruket. Vattenfall Rapport UC 97:4Ö. Vattenfall Utveckling AB, Betongteknik, Älvkarleby.



- Brown J E, Alfonso B, Avila R, Beresford N A, Copplestone D, Pröhl G, Ulanovsky A, (2008). The ERICA Tool. *Journal of Environmental Radioactivity* 99, 1371–1383.
- Damidot D, Lothenbach B, Herfort D, Glasser F P, 2011. Thermodynamics and cement science. *Cement and Concrete Research*, Vol 41, 679-695.
- Dverstorp, B och Sundström B et al, 2003, SSI:s och SKI:s granskning av SKB:s uppdaterade Slutlig Säkerhetsrapport för SFR 1, SSI rapport 2003:21, SKI rapport 2003:37, Statens strålskyddsinstitut
- Dverstorp, B, Xu, S, 2017. A method for independent modelling in support of regulatory review of dose assessments. *Journal of Environmental Radioactivity*, 178-179, 446-452.
- Dueck A., 2004. Hydro-mechanical properties of a water unsaturated sodium bentonite. Laboratory study and theoretical interpretation. Doctoral Dissertation. Division of Soil Mechanics and Foundation Engineering, Lund Institute of Technology, Lund University. Clay Technology AB.
- EU, 2005. ECOCLAY II. Effects of Cement on Clay Barrier Performance – Phase II. Final Report. EUR 21921. European Commission.
- Fenton C, Adams J, Halchuk S, 2006. Seismic hazards assessment for radioactive waste disposal sites in regions of low seismic activity, *Geotechnical and Geological Engineering* 24, 579–592.
- Fernández R., Cuevas J., Mäder U. K., 2009. Modelling concrete interaction with a bentonite barrier. *European Journal of Mineralogy*, 21, pp. 177–191.
- Fredlund D.G. och Rahardjo H., 1993. *Soil Mechanics for Unsaturated Soils*. John Wiley and Sons Inc.
- Fujiwara A., Takegahara T., Chiba T., Ikeda T., Takase H., Savage D., Metcalfe R., 2003. Kinetic controls on cement porefluid–bentonite interactions in engineered barrier: new insights from experimental and numerical simulations. *Clays In natural and engineered barriers for radioactive waste confinement*. International Meeting. Reims, France, 9-12 December, 2002.
- Ganopolski A, Winkelmann R, Schellnhuber, H J, 2016. *Nature* 529, 200–203.
- Gaucher E. C., Blanc P., 2006. Cement/clay interaction – A review: Experiments, natural analogues, and modelling. *Waste Management*, 26, pp. 776-788.
- Giaccio B. et al, 2015. Duration and dynamics of the best orbital analogue to the present interglacial, *Geology* 43, 603–606.
- Glaus M A, Van Loon L R, 2004. Cellulose degradation at alkaline conditions: long-term experiments at elevated temperatures. PSI Bericht 04-01, Paul Scherrer Institute, Switzerland.
- Guldbrand L., Jönsson B., Wennerström H., Linse P., 1984. Electrical double-layer forces. A Monte Carlo study. *Journal of Chemical Physics*, 80, pp. 2221–2228.



- Hakanen M, Ervanne H, 2006. The Influence of Organic Cement Additives on Radionuclide Mobility. Posiva Working Report 2006-06. Posiva Oy.
- Helmens K F, 2014. The Last Interglacial - Glacial cycle (MIS 5-2) re-examined based on long proxy records from central and northern Europe. *Quaternary Science Reviews* 86, 115-143.
- Hokari T., Okihara M., Ishii T., Ikuse H., 1997. Experimental study on scale effects of bentonite/sand mixtures on gas migration. *Materials Research Society Symposia Proceedings*, vol. 465, pp. 1019-1026.
- Huertas F. J., Caballero E., Jiménez de Cisneros C., Huertas F., Linares J., 2001. Kinetics of montmorillonite dissolution in granitic solutions. *Applied Geochemistry*, 16, pp. 397–407.
- Höglund L O, 1992. Some notes on ettringite formation in cementitious materials; Influence of hydration and thermodynamic constraints for durability. *Cement and Concrete Research* 22, 217-228.
- IAEA (2001). *Generic Models for Use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substances to the Environment*. Safety Reports Series No. 19, International Atomic Energy Agency.
- IAEA (2003). “Reference Biospheres” for Solid Radioactive Waste Disposal. Report of BIOMASS Theme 1 of the BIOSphere Modelling and ASSessment Programme, IAEA BIOMASS-International Atomic Energy Agency, Vienna.
- IAEA (2004). *Sediment Distribution Coefficients and Concentration Factors for Biota in the Marine Environment*. Technical Reports Series No. 422, International Atomic Energy Agency.
- IAEA (2009). *Safety Standard Series TS-R-1, ”Regulations for the safe transport of radioactive material, 2009 edition”* IAEA 2009
- IAEA (2011). *Disposal of radioactive waste*. Vienna: International Atomic Energy Agency. (IAEA Safety Standards Series SSR 5).
- ICRP, 2008. *Environmental Protection - the Concept and Use of Reference Animals and Plants*. ICRP Publication 108. *Ann. ICRP* 38 (4-6).
- ICRP, 2013. *Radiological protection in geological disposal of long-lived solid radioactive waste*. ICRP Publication 122. *Ann. ICRP* 42 (3).
- Kjellander R., Marčelja S., 1984. Correlation and image charge effects in electric double layers. *Chemical Physical Letters*, 112, pp. 49–53.
- Kjellander R., Marčelja S., Quirk J. P., 1988. Attractive double-layer interactions between calcium clay particles. *Journal of Colloid and Interface Science*, 126, pp. 194–211.
- La Pointe P R, Cladouhos T, Follin S, 2002. Development, application, and evaluation of a methodology to estimate distributed slip on fractures due to future earthquakes for nuclear waste repository performance assessment. *Bulletin of the Seismological Society of America* 92, 923–944.



- Larsson A., Karlsson L. G., 1996. Hantering av radioaktivt avfall i Sverige före år 1980 samt radium och radiumavfall fram till år 1996, SKI rapport 96:78, SSI rapport 96-18. Statens Kärnkraftinspektion, Statens Strålskyddsinstitut.
- Li C Q, Lawanwisut W, Zheng J J, Kijawatworawet W, 2005. Crack width due to corroded bar in reinforced concrete structures. *International Journal of Materials & Structural Reliability*, 3, 87-94.
- Lund B, Zoback M D, 1999. Orientation and magnitude of in situ stress to 6.5 km depth in the Baltic Shield. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Geomechanics Abstracts* 36 (2), 169–190.
- Matsuda M, Nishi T, Chino K, Kikuchi M, 1992. Solidification of spent ion exchange resin using new cementitious material, (I). Swelling pressure of ion exchange resin. *Journal of Nuclear Science and Technology* 29, 883–889.
- Motsi T., Rowson N.A., Simmons M. J. H., 2011. Kinetic studies of the removal of heavy metals from acid mine drainage by natural zeolite. *International Journal of Mineral Processing*, 101, pp. 42-49.
- Myers D., 1999. *Surfaces, Interfaces, and Colloids: Principles and Applications*, 2nd Edition. John Wiley & Sons, Inc.
- Möller G, Petersons N, Samuelsson P (eds), 1980. *Betonghandbok. Material*. 2nd ed. Stockholm, Svensk byggtjänst.
- Näslund J-O, Brandefelt J, Claesson Liljedahl L, 2013. Climate considerations in long-term safety assessments for nuclear waste repositories. *AMBIO*.
- NEA (1995), *The Environmental and Ethical Basis of Geological Disposal: A Collective Opinion of the Radioactive Waste Management Committee of the OECD Nuclear Energy Agency*, OECD/NEA, Paris, France.
- NEA (2005). *International peer review for radioactive waste management: general information and guidelines*, NEA Report No. 6082, OECD/NEA, Paris, France. Nuclear Energy Agency, Organisation for Economic Co-operation and Development.
- NEA (2012). *Methods for safety assessment of geological disposal facilities for radioactive waste*, OECD/NEA, Paris, France. Nuclear Energy Agency, Organisation for Economic Co-operation and Development.
- Nilsson A-C, Högfeldt E, Muhammed M, Wingefors S, 1988, SKI TR 1988:1, Statens Kärnkraftinspektion.
- Ochs M., Vielle-Petit L., Wang L., Mallants D., Leterme B., 2011. Additional sorption parameters for the cementitious barriers of a near-surface repository. NIRON-TR 2010-06 E, ONDRAF/NIRAS, Belgium.
- Odén M, Andersson E, Brandefeldt J, Werner K, 2016. *Motiv till förvarsdjup*.
- Parkhurst D L, Kipp K L, Charlton S R, 2010. *Phast version 2: a program for simulating ground-water flow, solute transport, and multicomponent geochemical reactions. Techniques and Methods 6-A43*. U.S. Geological Survey, Denver, Colorado.



- Pusch R., Hökmark H., 1987. Megapermeometerstudie av gas transport genom SFR-buffertar. SKB PR SFR 87-06. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Rozalén L., Brady P. V., Huertas F. J., 2009. Surface chemistry of K-montmorillonite: ionic strength, temperature dependence and dissolution kinetics. *Journal of Colloid and Interface Science*, 333, pp. 474–484.
- Sandberg P, 1999. Studies of chloride binding in concrete exposed in a marine environment, *J Cement and Concrete Research*, Vol 29, 473–477.
- Sato T., Kuroda M., Yokoyama S., Fukushi K., Tanaka T., Nakayama S., 2003. Mechanism and kinetics of smectite dissolution under alkaline conditions. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 67, A415.
- Savage D, Arthur R C, Saito S, 1999a. Geochemical factors in the selection and assessment of sites for the deep disposal of radioactive wastes. *In Chemical Containment of Wastes*, Geological Society London Special Publications 157, 27-45.
- Savage D, Arthur R C, Saito S, Morooka K, 1999b. Water-rock buffering of pH and redox and consequences for the performance of the far-field barrier. *In Radioactive Waste Management and Environmental Radiation*. Nagoya, Japan.
- Savage, D Bateman K, Milodowski A E, Hughes C R, 1993. An experimental evaluation of the reaction of granite with streamwater, seawater and NaCl solutions at 200°C. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 57, 167-191.
- Sayles F L, 1979. The composition and diagenesis of interstitial solutions: I. Fluxes across the seawater-sediment interface in the Atlantic Ocean. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 43, 527-545.
- SGU, 2011. Brunnsarkivet.
- SKB, 2011. Redovisning av säkerhet efter förslutning av slutförvaret för använt kärnbränsle – Huvudrapport från projekt SR-Site. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB, 2015. Redovisning av säkerhet efter förslutning för SFR. Huvudrapport för säkerhetsanalysen SR-PSU. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB, Miljökonsekvensbeskrivning – Utbyggnad och fortsatt drift av SFR, 2014, ISBN 978-91-980362-3-7, Svensk Kärnbränslehantering AB
- SKB Arbetsrapport SFR 85-08. Pusch R., 1985. Buffertar av bentonitbaserade material i siloförvaret. Funktion och utförande. Svensk Kärnbränsleförsörjning AB/Avdelning för Kärnkraftsavfallets behandling och slutförvaring (SKBF/KBS).
- SKB Djupförvar Projektrapport PR D-95-017, Ljunggren C, Persson M, 1995. Beskrivning av databas – Bergspänningsmätningar i Sverige, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB dokID 1071943, v. 5.0, 2016. SFR 1 SAR. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB dokID 1094769, Wahlund F, 2008. SFR 1 SAR Långsiktig säkerhet, Kapitel 7 – Val av scenarier, Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB).



SKB dokID 1095589, Gordon A, Lindgren M, 2008. SFR 1 SAR Långsiktig säkerhet, Kapitel 10 – Redovisning av risk, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB dokID 1212968, Ericsson U, 2009, SFR – Säkerhetsredovisning System 764 - Bergdränage, Svensk Kärnbränslehantering AB (Strålsäkerhetsmyndighetens diarium: SSM 2009/4787-1).

SKB dokID 1214110, 2007. Möller J. Referensrapport till Kapitel 8 i SFR 1 SAR delen för Anläggningsutformning och drift - Missöde i SFR –Stråldosberäkningar, version 1.0. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB dokID 1220377, 2015. F-PSAR-drift PSU. Kapitel 3 Konstruktionsregler. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB dokID 1221857 v. 2.0, 2015. F-PSAR-drift PSU. Kapitel 2 Förläggingsplats. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB dokID 1233694, 2015. F-PSAR-drift PSU. Kapitel 1 Inledning. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB dokID 1245480 v. 2.0, 2015. F-PSAR-drift PSU. Kapitel 5 Anläggnings- och funktionsbeskrivning. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB dokID 1247361, 2015. F-PSAR-drift PSU. Kapitel 6 Radioaktiva ämnen. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB dokID 1254180 v. 2.0, 2015. F-PSAR-drift PSU. Kapitel 7 Strålskydd. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB dokID 1254181 v. 2.0, 2015. F-PSAR-drift PSU. Kapitel 4 Anläggningens drift. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB dokID 12555984 v. 2.0, 2015. Tolkning och tillämpning av krav i SSMFS. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB dokID 1261979 v. 2.0, 2015. F-PSAR-drift PSU. Kapitel 8 Säkerhetsanalys för driftskede. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB dokID 1264335, Rosenqvist M, Hejll A, 2011, Åldringsprogram – SFR 60 år – Instruktion för översyn och inspektion av byggnader och betongkonstruktioner under mark i SFR 1, Rapport U10:218, Vattenfall (Strålsäkerhetsmyndighetens diarium: SSM2013-45-13).

SKB dokID 1271418, 1986. Appelgren E och Hellström P. SFR1 Forsmark – Omgivningskonsekvenser av missöden. Rapport KS-60/86, Vattenfall, 1986-05-22, Arbetsrapport SFR 87-14.

SKB dokID 1273308, 2012. Hallberg B och Houtiniemi T. Individdos i omgivningen – dimensionerande fall för beredskapen efter utbyggd SFR.

SKB dokID 1279878, 2014. Bilaga VOLS- Ansökan PSU, Verksamhet, organisation, ledning och styrning för utbyggnad av SFR – Ansökans och systemhandlingskede. Svensk Kärnbränslehantering AB.



SKB dokID 1280983, 2014. Bilaga VOLS-Bygg-PSU, Verksamhet, organisation, ledning och styrning för utbyggnad av SFR – Tillståndsprövnings- och detaljprojekteringskedet samt byggskedet. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB dokID 1336074 version 0.12, 2012. Acceptanskriterier för avfall i SFR. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB dokID 1355856, 2014. Bilaga AV PSU, Avvecklingsplan för ett utbyggt SFR slutförvaret för kortlivat radioaktivt avfall. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB dokID 1358612. Luterkort D., Nyblad B., Wimelius H., Pettersson A. Aghili B., 2014. SFR förslutningsplan. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB dokID 1359931, 2014. Ansökan om tillstånd enligt lagen (1984:3) om kärnteknisk verksamhet till utökad verksamhet vid anläggning för slutförvaring av låg- och medelaktivt radioaktivt avfall (SFR) med mera i Forsmark, Östhammars kommun, Uppsala län. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB dokID 1368638, 2014. Eriksson Örtengren M, Eriksson A. Acceptanskriterier för avfall, PSU. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB dokID 1370971, 2013. Möller E, 2013. SFR-Säkerhetsanalys för driftskedet, version 2.0. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB dokID 1371903, 2014. Logistikutredning för avfallstransporter till utbyggt SFR. Version 1.0. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB dokID 1386216, 2013. Buhr Blixt Maria Anna, Andgren Karin. Dosprognos vid drift av utbyggt SFR, Vattenfall AE-NN12-117 Rev. 3, version 1.0. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB dokID 1392758, 2013. Zellbi I, SFR - Driftsammanträde nr 15/13, den 25 april. Säkerhetsvärdering av status på BMA, Svensk Kärnbränslehantering AB (Strålsäkerhetsmyndighetens diarium: SSM2015-2432-10).

SKB dokID 1394873, 2013. Zellbi I, Österman A. SFR- Degradering av fackverk i BMA, Rapportnummer: SFR-RO-2013-006, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB dokID 1395215, 2013. ver 1.0 TD10 – SFR 3 adaptation to hydrogeological conditions. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB dokID 1398066 v. 1.0, 2015. Preliminär plan för fysiskt skydd (Sekretessbelagt dokument). Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB dokID 1405182 v. 2.0, 2015. Principer och metodik för säkerhetsklassning. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB dokID 1411639, 2014. Säkerhetsklassning för Projekt SFR-Utbyggnad. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB dokID 1415420, 2014. Bilaga BAT – Utbyggnaden av SFR ur ett BAT-perspektiv. Svensk Kärnbränslehantering AB.



SKB dokID 1427105 v. 4.0. Radionuclide inventory for application of extension of the SFR repository – Treatment of uncertainties. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB dokID 1429738, 2014. Metod och strategi för informations- och IT-säkerhet, PSU. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB dokID 1430853, 2012. Hejll A, Hassanzadeh M, Hed G. Sprickor i BMA:s betongbarriär - Inspektion och orsak, Rapport AE-NCC 12-004, Vattenfall (Strålsäkerhetsmyndighetens diarium: SSM2013-45-21).

SKB dokID 1434594, 2014. Svar på Föreläggande om redovisning rörande betydelsen av jordströmmar vid SFR. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB dokID 1440857, 2015. Elfving M. Huvudrapport – handlingsalternativ och åtgärder i 1BMA i SFR1, Svensk Kärnbränslehantering AB (Strålsäkerhetsmyndighetens diarium: SSM2015-2432-10).

SKB dokID 1440864, 2015. Elfving M. Krav och konstruktionsstyrande förutsättningar för 1BMA i SFR1, Svensk Kärnbränslehantering AB (Strålsäkerhetsmyndighetens diarium: SSM2015-2432-10).

SKB dokID 1440875, 2015. Elfving M, Mårtensson P, Pettersson A. Rapport över aktuell status för 1BMA i SFR1, Svensk Kärnbränslehantering AB (Strålsäkerhetsmyndighetens diarium: SSM2015-2432-10).

SKB dokID 1447843 version 1.0., 2014. Orsaksanalys för SSM:s föreläggande om genomförande av åtgärder avseende driften av SKB:s kärntekniska anläggningar Clab och SFR. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB dokID 1466364, 2015. Westerberg B. 1BMA Kontrollberäkning med avseende på 6 m överfyllnad (internt dokument), Svensk Kärnbränslehantering AB (hänvisning i SSM2015-725-61).

SKB dokID 1466752, 1987. Sprickkartering BMA 1987-06-05. Svensk Kärnbränslehantering AB (opublicerat).

SKB dokID 1467828, Mårtensson M, Pettersson A, 2015. Reparations- och förstärkningsåtgärder för 1BMA, Svensk Kärnbränslehantering AB (Strålsäkerhetsmyndighetens diarium: SSM2015-2432-10).

SKB dokID 1476551 sida 33, bilaga SFR-U K:1 frågor och svar per remissinstans. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB dokID 1480977, von Schenck H, Åstrand P-G, Abarca E, Sampietro D, 2015, Analys av föreslagna åtgärder för 1BMA genom modellering av närzonshydrologi och radionuklidtransport, Svensk Kärnbränslehantering.

SKB dokID 1530071, 2016. PM Förtydliganden från SKB relaterat till konsultrapporter från den inledande granskningen av SR-PSU. Svensk Kärnbränslehantering AB. (SSM2015-4192-1)

SKB dokID 1534701, Elfving M, Mårtensson P, Pettersson A, von Schenck H, 2016, Fördjupad redovisning av förstärkningsmetod för betongkonstruktionen i 1BMA i SFR1,



Svensk Kärnbränslehantering AB (Strålsäkerhetsmyndighetens diarium: SSM2015-2432-25).

SKB dokID 1534753, 2016. Bilaga SFR-U K:9 Jämförelse mellan sökt placering och en alternativ placering i den tektoniska linsen i Forsmark. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB dokID 1535980. Bilaga SFR-U K:4 Motiv till förvarsdjup. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB dokID 1536396, 2017, Radionuklidtransportberäkningar för alternativ utformning av 2BMA med bentonitbarriär, Svensk Kärnbränslehantering AB

SKB dokID 1541029, 2016. Elfving M, Uppdateringsbehov av säkerhetsredovisningen SFR med avseende på initialtillstånd för 1BMA, Svensk Kärnbränslehantering AB (Strålsäkerhetsmyndighetens diarium: SSM2015-2432-25).

SKB dokID 1544661, 2016. Zellbi I. FSG-liknande granskning av svar på SSM föreläggande SSM2015-2432-18 ”Föreläggande rörande fortsatt drift av 1BMA i SFR”, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB dokID 1548610, 2016. Bilaga SFR-U K:6 Motivering av vald utformning för 2-5BLA. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB dokID 1550443, 2016. Svar till SSM på begäran om komplettering avseende MKB och uppfyllande av allmänna hänsynsregler. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB dokID 1554499, 2016. Drainage of runoff water from 157_2 into 157_1 via a stream – Biosphere complementary information for SR-PSU. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB dokID 1555970, 2016. Guide to the implementation of the SR-PSU Kd and CR parameterisation in two databases. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB dokID 1556279, 2016. Manual reproduction of parameter values in SR-PSU. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB dokID 1557502, 2016. Svar på SSM om begäran om förtydligande gällande personstrålskydd. Svensk Kärnbränslehantering AB. (SSM2015-725-15).

SKB dokID 1557768, 2016. Svar till SSM på begäran om förtydligande komplettering av data för konsekvensanalysberäkningar. Svenska Kärnbränslehantering AB.

SKB dokID 1559801, 2016. Svar till SSM på begäran om förtydligande information om utsläpp till omgivningen. Svensk Kärnbränslehantering AB. (SSM2015-725-17).

SKB dokID 1564134, 2017. Vattenflöde genom 2BMA - känslighet för parametrisering av bergets egenskaper, bilaga till SKB dokID 1572244. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB dokID 1564154, 2017. Svar till SSM på begäran om komplettering av ansökan om utökad verksamhet vid SFR – säkerhetsanalytisk metodik SR-PSU. Svensk Kärnbränslehantering AB.



SKB dokID 1564242, 2016. Svar till SSM på begäran om komplettering av ansökan om utökad verksamhet vid SFR – effekter av tidig permafrostpåverkan. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB dokID 1568423, von Schenck H, 2017. Långtidsutveckling av materialegenskaper för grundläggning och återfyllnad i 1-2BMA, ver 1.0, Svensk Kärnbränslehantering AB (Strålsäkerhetsmyndighetens diarium: SSM2015-725-61).

SKB dokID 1569813, Elfving M, Lundin M, von Schenck, 2017. Vidareutvecklad utformning av förvarsutrymmet 2BMA i utbyggd del av SFR, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB dokID 1571075, Elfving M, 2016, Komplettering av ansökan om utökad verksamhet vid SFR - avfallskollin och kringgjutning i 1BMA och 2BMA, Svensk Kärnbränslehantering AB (Strålsäkerhetsmyndighetens diarium: SSM2015-725-57).

SKB dokID 1571087, 2017. Kompletterande beräkningar om biosfärsobjekt. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB dokID 1571181, 2017. Svar till SSM på begäran om komplettering om biosfärsobjekt, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB dokID 1572152, 2017. Svar till SSM på begäran om komplettering av ansökan om utökad verksamhet vid SFR - dos till biota. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB dokID 1572230. Svar till SSM på begäran om komplettering av ansökan om utökad verksamhet vid SFR – data och förtydligande av radionuklidtransportberäkningar. Svenska Kärnbränslehantering AB.

SKB dokID 1572244, 2017. Svar till SSM på begäran om komplettering av ansökan om utökad verksamhet vid SFR – hydrogeologi, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB dokID 1572377 ver 1.0, 2016. Information om klimat och effekter på SFR till följd av frysning. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB dokID 1577237, 2017. Mårtensson P. Hållfasthetsegenskaper hos betongkonstruktionerna i 1-2BMA under de första 20 000 åren efter förslutning, Svensk Kärnbränslehantering AB (Strålsäkerhetsmyndighetens diarium: SSM2015-725-61).

SKB dokID 1581608, 2017. Konvergens av probabilistiska beräkningar. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB dokID 1578211, 2017. Wessely O. Säkerhetsfunktionsindikatorn hydraulisk kontrast och BMA salarnas hydrauliska funktion, Svensk Kärnbränslehantering AB (Strålsäkerhetsmyndighetens diarium: SSM2015-725-61).

SKB dokID 1578361, 2016. Bilaga SFR-U K:12 Kompletterande jämförelse mellan sökt lokalisering och en alternativ lokalisering. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB dokID 1578373, 2017. TD15 Complementary simulation cases in support of SR-PSU, Svensk Kärnbränslehantering AB. (hänvisas till från SKB dokID 1572244, 2017)



SKB dokID 1580501, 2017. Bilaga SFR-U K:14 Övergång från hela till segmenterade reaktortankar. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB dokID 1583182, 2017. Westerberg B. 1BMA – Beräkningar för 85 m vattentryck, jordtryck m.m. (internt dokument), Svensk Kärnbränslehantering AB (hänvisning i SSM2015-725-61).

SKB dokID 1585173. Corrected implementation of fracture model used for 1BMA and 2BMA in SR-PSU. Svenska Kärnbränslehantering AB.

SKB dokID 1585177. Corrected waste volumes in radionuclide transport models used in SR-PSU. Svenska Kärnbränslehantering AB.

SKB dokID 1586755 version 1.0, 2017. Redovisning av SKB:s förbättringsarbete, augusti 2017, 2017-07-07. Svensk Kärnbränslehantering AB. SSM2015-2864-30.

SKB dokID 1590441, 2017. Svar till SSM på begäran om komplettering av ansökan om utökad verksamhet vid SFR – Alternativa utformningar av 2BMA. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB dokID 1590442, 2017. Svar till SSM på begäran om komplettering av ansökan om utökad verksamhet vid SFR – Alternativ lokalisering. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB dokID 1590552, 2017. Komplettering av ansökan om utökad verksamhet vid SFR – tillbakadragande av mellanlagring och övergång till segmentering. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB dokID 1595131, 2017. Svar till SSM på begäran om komplettering av ansökan om utökad verksamhet vid SFR angående kod för transportmodeller. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB dokID 1597353, 2017. Svar till SSM på begäran om komplettering av ansökan om utökad verksamhet vid SFR angående data för biosfärsmodellering. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB dokID1599504, 2017. SFR-avfall från rivning av kärntekniska anläggningar i Studsvik. Svensk Kärnbränslehantering AB. SSM2017-725-73.

SKB dokID 1601415, 2017. Svar till SSM på begäran om komplettering av ansökan om utökad verksamhet vid SFR angående konsekvensanalys. Svenska Kärnbränslehantering AB.

SKB dokID 1603691. Radionuklidtransportberäkningar för SFR med uppdaterat inventarium från Studsvik. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB dokID 1604614. Redovisning av teknisk barriär vid övergång till segmenterade reaktortankar. Svensk Kärnbränslehantering AB. (SSM2015-725-76).

SKB dokID 1604998. Svar till SSM på begäran om komplettering om utökad verksamhet vid SFR avseende BRT och segmentering. Svensk Kärnbränslehantering AB. (SSM2015-725-76).



SKB dokID 1610560, 2017. Kompletterande beräkningar för gasavgång. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB dokID 1611858, 2017, Precisering av yrkande gällande volymer i ansökan om utökad verksamhet vid SFR, Svensk Kärnbränslehantering AB

SKB dokID 1679452 version 3.0, 2018. Planeringsrapport – Organisationsanpassning inom ramen för förberedelseprogrammet. Svensk Kärnbränslehantering AB. SSM2018-4843-1.

SKB dokID 1686798, 2018. Uppdaterad analys av strålsäkerheten efter förslutning för 1BMA i SFR1. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB dokID 1689290, 2018, Deponeringsstrategi för brandvarnare till slutförvar hos SKB, Svensk Kärnbränslehantering AB

SKB dokID 1689320. Svar till SSM på begäran om komplettering gällande data för radionuklidtransportberäkningar. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB Erratablad 2017-04, 2017. SKB SR-PSU - Redovisning av säkerhet efter förslutning för SFR Huvudrapport för säkerhetsanalysen SR-PSU, Svensk Kärnbränslehantering AB (SSM2015-725-76).

SKB Fud-program 2016, Program för forskning, utveckling och demonstration av metoder för hantering och slutförvaring av kärnavfall, SKB Art823, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB IPR-99-23. Johannesson L-E, Börgesson L, Sandén T, 1999. Backfill materials based on crushed rock (part 2), Geotechnical properties determined in laboratory. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB P-09-16, Nielsen U T, Ringgaard J, 2009. Site investigation SFR. Geophysical borehole logging in the boreholes KFR27 (0–500 m), KFR102A, KFR102B, KFR103, KFR104 and HFM07, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB P-09-74, Berglund J, 2008. Site investigation SFR. Geological mapping and laser scanning of the lower construction tunnel, Svensk Kärnbränslehantering AB

SKB P-11-01, Sandström, B, and Tullborg, E-L, 2011. Site investigation. SFR Fracture mineralogy and geochemistry of borehole sections sampled for groundwater chemistry and Eh. Results from boreholes KFR01, KFR08, KFR10, KFR19, KFR7A and KFR105. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB P-11-25, Gimeno, M J, Auqué, L F, Gomez, J B, and Acero, P, 2011. Site investigation SFR - Water-rock interaction and mixing modelling in the SFR. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB P-11-41, Sandström B, Nilsson K, Tullborg E-L, 2011. Site Investigation SFR. Fracture Mineralogy including identification of uranium phases and hydrochemical characterisation of groundwater in borehole KFR106. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB P-13-01, 2013. Plats för slutförvaring av kortlivat rivningsavfall. Svensk Kärnbränslehantering AB



- SKB P-13-07. Thorsell P-E, 2013. Studier av frysningsegenskaper hos betong från 1 BMA. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB P-13-40. Moreno L., Neretnieks I., 2013. Impact of gas generation on radionuclide release – comparison between results for new and old data. Swedish Nuclear Fuel and Management Co.
- SKB P-14-06, Vidstrand P, Follin S, Öhman J, 2014. SR-PSU hydrogeological modelling TD13 – periglacial climate conditions. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB P-14-09, Wallin A, Qvarfordt S, Borgiel M, 2016. Bottensubstratkartering i undersökningsområde 157_2 norr om SFR, Forsmark. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB P-16-13, 2016. Lagerblad B, Golubeva M, Rui J C, Lämplighet för krossberg från Forsmark och SFR att användas som betongballast. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB SFR 85-08. Pusch R., 1985. Buffertar av bentonitbaserade material i siloförvaret, funktion och utförande. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB R-01-02. Holmén J. G., Stigsson M., 2001. Modelling of future hydrogeological conditions at SFR. Swedish Nuclear Fuel and Management Co.
- SKB R-01-08, 2001. Höglund L O. Project SAFE. Modelling of long-term concrete degradation processes in the Swedish SFR repository. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB R-01-11. Moreno L., Skagius K., Södergren S., Wiborgh M., 2001. Project SAFE. Gas related processes in SFR. Swedish Nuclear Fuel and Management Co.
- SKB R-03-30. Pusch R., 2003. Design, construction and performance of the clay-based isolation of the SFR silo. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB R-04-08, Lundin L, Lode E, Stendahl J, Melkerud P-A, Björkvald L, Thorstenson A, 2004. Soils and site types in the Forsmark area. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB R-05-35, Sjöberg J, Lindfors U, Perman F, Ask D, 2005. Evaluation of the state of stress at the Forsmark site. Preliminary site investigation Forsmark area – version 1.2, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB R-05-80. Gaucher E., Tournassat C., Nowak C., 2005. Modelling the geochemical evolution of the multi-barrier system of the Silo of the SFR repository. Final report. Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co.
- SKB R-06-67, Bödvarsson R, Lund B, Roberts R, Slunga R, 2006. Earthquake activity in Sweden. Study in connection with a proposed nuclear waste repository in Forsmark or Oskarshamn, Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB).
- SKB R-07-10, Carlsson A, Christiansson R, 2007. Construction experiences from underground works at Forsmark. Compilation Report, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB R-07-26, Martin C D, 2007. Quantifying in situ stress magnitudes and orientations for Forsmark. Forsmark stage 2.2, Svensk Kärnbränslehantering AB.



SKB R-07-51, 2007. Cronstrand P. Modelling of long-term stability of the engineered barriers of SFR with respect to climate changes. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB R-08-13 . Thomson G, Herben M, Lloyd P, Rose D, Smith C, Barraclough I, 2008. Implementation of project Safe in AMBER. Verification study for SFR 1 SAR-08. SKB R-08-13, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB R-08-34, Wersin P., Birgersson M., Olsson S., Karnland O., Snellman M., 2008. Impact of corrosion-derived iron on the bentonite buffer within the KBS-3H disposal concept. The Olkiluoto site as case study. Swedish Nuclear Fuel and Management Co.

SKB R-08-47. Laaksoharju M, Smellie J, Tullborg E-L, Gimeno M, Hallbeck L, Molinero J, Waber N, 2008. Bedrock hydrogeochemistry Forsmark. Site descriptive modelling, SDM-Site Forsmark. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB R-08-66, Glamheden R, Lanaro F, Karlsson J, Lindberg U, Wrafter J, Hakami H, Johansson M, 2008. Rock mechanics Forsmark. Modelling stage 2.3. Complementary analysis and verification of the rock mechanics model. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB R-08-67, Geovetenskapligt undersökningsprogram för utbyggnad av SFR, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB R-08-105, Waber H N, Gimmi T. Porewater in the rock matrix. Site descriptive modelling SDM-Site Forsmark. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB R-08-130. Safety analysis SFR 1. Long-term safety. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB R-09-52. Keto P, Dixon D, Jonsson E, Gunnarsson D, Börgesson L, Hansen J, 2009. Assessment of backfill design for KBS-3V repository. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB R-10-03, Öhman J, Follin S, 2010. Site investigation SFR, hydrogeological modelling of SFR, model version 0.2. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB R-11-03, Öhman J, Bockgård N, Follin S, 2012. Bedrock hydrogeology, site investigation SFR. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB R-11-06, Nilsson A-C, Tullborg E-L, Smelli, J A T, Gimeno M, Gomez J, Auqué L F, Sandström B, Pedersen A K, 2011. SFR site investigation Bedrock Hydrogeochemistry. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB R-11-10, Öhman J, Follin S, Magnus O, 2013. Bedrock hydrogeology – groundwater flow modelling, site investigation SFR. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB R-12-03, Strömgren M, Brydsten L, 2013. Digital elevation model of Forsmark. Site-descriptive modelling. SR-PSU Biosphere. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB R-13-01. Tröjbom M, Grolander S, Rensfeldt V, Nordén S, 2013. Kd and CR used for transport calculations in the biosphere in SR-PSU. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB R-13-12, von Schenk H, Bultmark F, 2014. Effekt av bitumensvällning i silo och BMA. Svensk Kärnbränslehantering AB.



SKB R-13-16. Auqué L F, Gimeno M, Acero P, Gómez J, 2013. Composition of groundwater for SFR and its extension, during different climatic cases, SR- PSU, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB R-13-18. Grolander, S, 2013. Biosphere parameters used in radionuclide transport modelling and dose calculations in SR-PSU. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB R-13-22, Sohlenius H, Strömgren M, Hartz F, 2013. Depth and stratigraphy of regolith at Forsmark. SR-PSU Biosphere. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB R-13-25, Odén M, Follin S, Öhman J, Vidstrand P, 2014. SR-PSU bedrock hydrogeology, groundwater flow modelling methodology, setup and results, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB R-13-27. Brydsten L, Strömgren M, 2013. Landscape development in the Forsmark area from the past into the future (8500 BC–40,000 AD), Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB R-13-30, Román-Ross G, Trincherro P, Maia F, Molinero J, 2014. Hydrogeochemical modelling and evolution of the groundwater types and processes in geosphere of SFR, SR-PSU. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB R-13-37. Låg- och medelaktivt avfall I SFR. Referensinventarium för avfall 2013. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB R-13-40, Höglund L O, 2014, The impact of concrete degradation on the BMA barrier functions, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB R-13-43, Components, features, processes and interactions in the biosphere. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB R-13-46. The Biosphere model for radionuclide transport and dose assessment in SR-PSU. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB R-13-52, Georgiev G, 2013. A seismic evaluation of SFR. Analysis of the Silo structure for earthquake load Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB R-14-01, Cronstrand P, 2014. Evolution of pH in SFR 1. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB R-14-02. Handling of biosphere FEPs and recommendations for model development in SR-PSU. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB R-14-14, Abarca E, Silva O, Idiart A, Nardi A, Font J, Molinero J, 2014. Flow and transport modelling on the vault scale. Supporting calculations for the safety assessment SR-PSU, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB R-14-29. Birgersson M, Andersson L, 2014. Freezing of bentonite components in SFR. Modeling and laboratory testing. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB R-17-21, 2017. Lagerblad B, Rogers P, Vogt C, Mårtensson P, Utveckling av konstruktionsbetong till kassunerna i 2BMA. Svensk Kärnbränslehantering AB.



SKB SFR 85-05, Stille H, Fredriksson A, Widing E, Åhrling G, 1985. Bergmekaniska beräkningar – FEM-analys av silo med anslutande tunnlar, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB SFR 85-08. Pusch R, 1985. Buffertar av bentonitbaserade material i siloförvaret, funktion och utförande. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB SFR 87-03, Christiansson R, Bolvede P, 1987. Byggnadsgeologisk uppföljning. Slutrapport, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB TR-00-06. Arcos D., Bruno J., Benbow S., Takase H., 2000. Behaviour of bentonite accessory minerals during the thermal stage. Swedish Nuclear Fuel and Management Co.

SKB TR-00-08, La Pointe P R, Cladouhos T T, Outters N, Follin S, 2000. Evaluation of the conservativeness of the methodology for estimating earthquake-induced movements of fractures intersecting canisters, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB TR-02-24, Bäckblom G, Munier R, 2002. Effects of earthquakes on the deep repository for spent fuel in Sweden based on case studies and preliminary model results, Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB).

SKB TR-03-02. Harrington J. F., Horseman S. T., 2003. Gas migration in KBS-3 buffer bentonite. Sensitivity of test parameters to experimental boundary conditions. Swedish Nuclear Fuel and Management Co.

SKB TR-04-18. Ochs M., Talerico C., 2004. SR-Can. Data and uncertainty assessment. Migration parameters for the bentonite buffer in the KBS-3 concept. Swedish Nuclear Fuel and Management Co.

SKB TR-05-13. Rodwell W. R., 2005. Summary of a GAMBIT Club Workshop on Gas Migration in Bentonite, Madrid 29–30 October, 2003. A Report produced for the GAMBIT Club. Swedish Nuclear Fuel and Management Co.

SKB TR-06-09, Long-term safety for KBS-3 repositories at Forsmark and Laxemar – a first evaluation. Main report of the SR-Can project. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB TR-06-27, M3 version 3: Concepts, methods and mathematical formulation. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB TR-06-30, Karnland O., Olsson S., Nilsson U., 2006. Mineralogy and sealing properties of various bentonites and smectite-rich clay materials. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB TR-08-05, 2008. Site description of Forsmark at completion of the site investigation phase, SDM-Site Forsmark, updated 2013-08. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB TR-09-29. Karnland O., Olsson S., Dueck A., Birgersson M., Nilsson U., Hernan-Håkansson T., Pedersen K., Nilsson S., Eriksen T. E., Rosborg B., 2009. Long term test of buffer material at the Äspö Hard Rock Laboratory, LOT project. Final report on the A2 test parcel. Swedish Nuclear Fuel and Management Co.

SKB TR-09-34. Birgersson M., Börgesson L., Hedström M., Karnland O., Nilsson U., 2009. Bentonite erosion. Final report. Swedish Nuclear Fuel and Management Co.



- SKB TR-09-35. Neretnieks I., Liu L., Moreno L., 2009. Mechanisms and models for bentonite erosion. Swedish Nuclear Fuel and Management Co.
- SKB TR-10-01. The terrestrial ecosystems at Forsmark and Laxemar-Simpevarp. SR-Site Biosphere. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB TR-10-02. The limnic ecosystems at Forsmark and Laxemar-Simpevarp. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB TR-10-11. Åkesson M., Kristensson O., Börgesson L., Dueck A., Hernelind J., 2010. THM modelling of buffer, backfill and other system components. Critical processes and scenarios. Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co.
- SKB TR-10-16. SKB, 2010. Design, production and initial state of the backfill and plug in deposition tunnels. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB TR-10-25, 2010. Quantitative modelling of degradation of processes of cement grout. Project CEMMOD. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB TR-10-38. Cuss R. J., Harrington J. F., Noy D. J., 2010. Large scale gas injection test (Lasgit) performed at the Äspö Hard Rock Laboratory. Summary report 2008. Swedish Nuclear Fuel and Management Co.
- SKB TR-10-40. Birgersson M, Karnland O, Nilsson U, 2010. Freezing of bentonite. Experimental and theoretical studies and theoretical considerations. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB TR-10-41. Dueck A., 2010. Thermo-mechanical cementation effects in bentonite investigated by unconfined compression tests. Swedish Nuclear Fuel and Management Co.
- SKB TR-10-47. 2010. Buffer, backfill and closure process report for the safety assessment SR-Site. Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co.
- SKB TR-10-49. Climate and climate-related issues for the safety assessment SR-Site. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB TR-11-01, Long-term safety for the final repository for spent nuclear fuel at Forsmark. Main report of the SR-Site project. SKB TR-11-01. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB TR-11-04, Site description of the SFR area at Forsmark at completion of the site investigation phase. SDM-PSU Forsmark, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB TR-13-02. Helmens K F, 2013. The last interglacial-glacial cycle (MIS5–2) re-examined based on long proxy records from central and northern Europe. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB TR-13-03. Wohlfarth B, 2013. A review of Early Weichselian climate (MIS 5d–a) in Europe. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB TR-13-04. Brandefelt J, Näslund J-O, Zhang Q, Hartikainen J, 2013. The potential for cold climate conditions and permafrost in Forsmark in the next 60,000 years. Svensk Kärnbränslehantering AB.



SKB TR-13-05, Climate and climate related issues for the safety assessment SR-PSU. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB TR-13-08, Abarca E, Idiart A, de Vires L M, Silva O, Molinero J, von Schench H, 2013. Flow modelling on the repository scale for the safety assessment SR-PSU. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB TR-13-23. Assessment of risk to non-human biota from a repository for the disposal of spent nuclear fuel at Forsmark. Supplementary information. Updated 2016-05. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB TR-14-01, Safety analysis for SFR Long-term safety. Main report for the safety assessment SR-PSU. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB TR-14-02, Initial state report for the safety assessment SR-PSU. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB TR-14-03, Waste form and packaging process report for the safety assessment SR-PSU, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB TR-14-04, Engineered Barrier Process Report for the Safety Assessment SR-PSU. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB TR-14-05, Geosphere process report for the safety assessment SR-PSU. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB TR-14-06, Biosphere synthesis report for the safety assessment SR-PSU. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB TR-14-07, FEP report for the safety assessment SR-PSU. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB TR-14-08, Handling of future human actions in the safety assessment SR-PSU. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB TR-14-09, Radionuclide transport and dose calculations for the safety assessment SR-PSU. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB TR-14-10, Data report for the safety assessment SR-PSU. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB TR-14-11, Model summary report for the safety assessment SR-PSU. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB TR-14-12, Input data report for the safety assessment SR-PSU. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB TR-14-27, Modelling of critical H-M processes in the engineered barriers of SFR. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB TR-14-28. Birgersson M., Karnland O., 2015. Flow and pressure response in compacted bentonite due to external fluid pressure. Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co.



SKB TR-15-05. Dueck A., Johannesson L.-E., Andersson L., Jensen V., 2015. Investigation of hydraulic and mechanical processes of the barriers embedding the silo in SFR. Laboratory tests. Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co.

SKB TR-15-08. Cronstrand P., 2016. Long-term performance of the bentonite barrier in the SFR silo. Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co.

SKB TR-88-26. Pusch R., Karnland O., 1988. Geological evidence of smectite longevity The Sardinian and Gotland cases. Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co.

SKB TR-90-01. Norman, S., Kjellbert, N., 1990. FARF31 - A far field radionuclide migration code for use with the PROPER package. Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co.

SKB TR-92-37. Wanner H., Wersin P., Sierro N., 1992. Thermodynamic modelling of bentonite-groundwater interaction and implications for near field chemistry in a repository for spent fuel. Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co.

SKB TR-98-25. Pusch R., Takase H., Benbow S., 1998. Chemical processes causing cementation in heat-affected bentonite – the Kinnekulle bentonite. Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co.

SKB TR-99-29. Bruno J., Arcos D., Duro L., 1999. Processes and features affecting the near field hydrochemistry. Groundwater-bentonite interaction. Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co.

SKBF/KBS SFR 81-13, Hagkonsult, 1982. Geologiska undersökningar och utvärderingar för lokalisering av SFR till Forsmark, Svensk Kärnbränsleförsörjning AB.

SKI Report 92:3, 1992. Project Seismic Safety. Characterization of seismic ground motions for probabilistic safety analyses of nuclear facilities in Sweden. Summary report, Swedish Nuclear Power Inspectorate (SKI).

SKI TR 89:15, 1989. Biosphere Scenario Development: An Interim Report of an SKI/SSI/SKB Working Group. Statens Kärnkraftinspektion.

SOU 2011:18. Strålsäkerhet – gällande rätt i ny form. Slutbetänkande av Utredningen om en samordnad reglering på kärnteknik- och strålskyddsområdet. Statens offentliga utredningar.

SSI dnr 6220/3745/03, 2003, Beslut om begränsad drift för SFR 1 samt begäran om redovisning av uppfyllelse av strålskyddsvillkor för SFR 1, Statens strålskyddsinstitut

SSI rapport 2003:21, 2003. SSI:s och SKI:s granskning av SKB:s uppdaterade Slutlig Säkerhetsrapport för SFR 1 (SKI 2003:37). Granskningsrapport. Statens strålskyddsinstitut och Statens Kärnkraftinspektion.

SSI rapport 2005:20, Hora S, Jensen M, 2005. Expert panel elicitation of seismicity following glaciation in Sweden, Statens strålskyddsinstitut (SSI).

SS EN 206-1, Svensk standard Betong – Del 1: Fordringar, egenskaper, tillverkning och överensstämmelse, SIS förlag, 2001-03-16.



SS 13 70 10, Svensk standard Betongkonstruktioner – Täckande betongskikt, SIS förlag, 2002-03-22.

SSM (2016). Granskningsrapport långsiktig strålsäkerhet inför yttrandet till Mark- och miljödomstolen vid Nacka tingsrätt. SSM2011-1135-15. Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSM 2008/981-28. 2009. Beslut rörande säkerhetsredovisningen för SFR-1. Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSM 2008/981-30, Wiebert A, Lindgren G, Strömberg B, Xu S, 2009. Granskning av SFR-1 SAR-08, Granskningsrapport, Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSM, 2008/981-31, 2010, Beslut rörande driften av SFR-1, Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSM 2010/608-53, Synpunkter på öppet samråd den 1 februari 2014 om utbyggnad av SFR, Strålsäkerhetsmyndigheten

SSM2012-5934-2, Verksamhetsbevakning Strålskydd vid SFR 15-16 januari 2013. Strålsäkerhetsmyndighetens diarium.

SSM2012-4914-7, 2015. Föreläggande om utvecklad redovisning rörande acceptanskriterier för avfall i SFR. Strålsäkerhetsmyndighetens ärende.

SSM2012-2658-6, 2014. Föreläggande om redovisning rörande betydelsen av jordströmmar vid SFR Strålsäkerhetsmyndighetens ärende.

SSM2013-45-24, Lanaro F, 2013, Verksamhetsbevakning vid SFR inom området berg, betong och kontrollprogram, Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSM2013-2073, 2013. Misstänkta avvikelser i avfallstyp S.14 vid SFR. Strålsäkerhetsmyndighetens ärende.

SSM2013-2073-18, 2015. Föreläggande om åtgärder för feladokumenterat avfall i SFR Strålsäkerhetsmyndighetens ärende.

SSM2014-54-23, 2014. Begäran om ytterligare kompletterande information rörande vatten i silo. Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSM2014-643-8, 2015. Strålsäkerhetsmyndighetens beslut: Klassificering av anläggningen SFR1. Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSM2015-2432-26, 2018. Begäran av analys av strålsäkerheten för 1BMA. Strålsäkerhetsmyndighetens ärende.

SSM2015-2864, Uppföljning av SKB:s åtgärdsprogram, Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSM2015-3622-5, 2016, SKB – Inspektion kompetens och bemanning. Strålsäkerhetsmyndighetens ärende.

SSM2015-656-5, Yttrande till Mark- och miljödomstolen vid Nacka tingsrätt angående kompletteringar av ansökan enligt miljöbalken om utökad verksamhet vid SFR, Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSM2015-725-7, Begäran om komplettering av ansökan om utökad verksamhet vid SFR. Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSM2015-725-17. Begäran om förtydligande av ansökan om utökad verksamhet vid SFR angående utsläpp till omgivningen. Strålsäkerhetsmyndighetens diarium.

SSM2015-725-20. Begäran om komplettering av ansökan om utökad verksamhet vid SFR – data för konsekvensanalysberäkningar. Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSM2015-725-33, SFR-U Begäran om kompletteringar – Alternativ lokalisering. Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSM2015-725-34, 2016, Begäran om komplettering av ansökan om utökad verksamhet vid SFR – Alternativa utformningar 2BMA, Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSM2015-725-36, 2016. Begäran om komplettering av ansökan om utökad verksamhet vid SFR – Utveckling av betongegenskaper i 1-2BMA. Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSM2015-725-37. Begäran om komplettering av ansökan om utökad verksamhet vid SFR angående biosfärsobjekt. Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSM2015-725-39. Begäran om komplettering avseende ansökan om utökad verksamhet vid SFR – data och förtydligande av radionuklidtransportberäkningar. Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSM2015-725-40. Begäran om komplettering av ansökan om utökad verksamhet vid SFR hydrogeologi. Strålsäkerhetsmyndighetens.

SSM2015-725-43, 2016. Begäran om komplettering av ansökan om utökad verksamhet vid SFR – säkerhetsanalysmetodik SR-PSU. Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSM2015-725-44, 2016. Begäran om komplettering av ansökan om utökad verksamhet vid SFR – effekter av tidig permafrostpåverkan. Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSM2015-725-47, 2016. Begäran om komplettering av ansökan om utökad verksamhet vid SFR angående dos till biota. Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSM2015-725-55. Begäran om komplettering av ansökan om utökad verksamhet vid SFR angående konsekvensanalys. Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSM2015-725-70, 2017, Begäran om komplettering av ansökan om utökad verksamhet vid SFR, Strålsäkerhetsmyndigheten

SSM2015-756-18. Notes from a meeting regarding questions from SSM's consultants on SKB's consequence analysis calculations – licence application for extension of SFR. Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSM2015-756-27. Anteckningar möte om konsekvensanalys och Ecologomodellering – ansökan om utbyggnad av SFR. Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSM2015-1640-29. Yttrande om "Ansökan om tillstånd enligt kärntekniklagen – utbyggnad och fortsatt drift av SFR". från Kungl. Vetenskapsakademien.



SSM2015-2432-18, Wiebert A, 2016. Föreläggande rörande fortsatt drift av 1BMA i SFR, Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSM2015-2432-23, Höge E, 2016, Information om driften av 1BMA – 2016-03-18, Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSM2015-2432-26. Wiebert A, 2018. Begäran av analys av strålsäkerheten för 1BMA. Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSM2015-2864. Ärende: Uppföljning av SKB:s åtgärdsprogram. Strålsäkerhetsmyndighetens ärende. Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSM 2016:08 del 1, Geier J E, 2016. Review of hydrogeological site-descriptive model SDM-PSU – 1, del 1 i: SSM's external experts' review of SKB's safety assessment SR-PSU – hydrogeology and chemical aspects, initial review phase. Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSM 2016:08 del 2, Herbert A, Clark A, Harding W, 2016. Review of hydrogeological site-descriptive model SDM-PSU – 2. del 2 i: SSM's external experts' review of SKB's safety assessment SR-PSU – hydrogeology and chemical aspects, initial review phase. Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSM 2016:08 del 3, Geier J E, 2016. Hydrogeological analysis in the safety assessment SR-PSU, del 3 i: SSM's external experts' review of SKB's safety assessment SR-PSU – hydrogeology and chemical aspects, initial review phase. Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSM 2016:08 del 4. Savage D, 2016. Review of chemical evolution in rock and engineered barrier systems in SFR according to the safety assessment SR-PSU, del 4 i: SSM's external experts' review of SKB's safety assessment SR-PSU – hydrogeology and chemical aspects, initial review phase, Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSM 2016:09 del 1, Towler G, Robinson P, Watson C, Penfold J, 2016. Review of radionuclide transport methodology in SR-PSU, del 1 i: SSM's external experts' review of SKB's safety assessment SR-PSU – radionuclide transport, dose assessment, and safety assessment methodology, initial review phase, Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSM 2016:09 del 2, Klos R, Wörman A, Shaw G, 2016. SR-PSU Review of dose assessment landscape models, del 2 i: SSM's external experts' review of SKB's safety assessment SR-PSU – radionuclide transport, dose assessment, and safety assessment methodology, initial review phase, Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSM 2016:09 del 3, Walke R, Limer L, Shaw G, 2016. Review of dose assessment – biosphere models for specific radionuclides, del 3 i: SSM's external experts' review of SKB's safety assessment SR-PSU – radionuclide transport, dose assessment, and safety assessment methodology, initial review phase, Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSM 2016:09 del 4, Hick T W, 2016. Review of quality assurance in SKB's safety assessment SR-PSU, del 4 i: SSM's external experts' review of SKB's safety assessment SR-PSU – radionuclide transport, dose assessment, and safety assessment methodology, initial review phase, Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSM 2016:09 del 5, Wilmot R D, 2016. Review of Safety Analysis Methodology in SKB's Safety Assessment SR-PSU, del 5 i: SSM's external experts' review of SKB's



safety assessment SR-PSU – radionuclide transport, dose assessment, and safety assessment methodology, initial review phase, Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSM 2016:12 del 1, Bennett D G, Sällfors G, 2016. Bentonite in geological disposal of low and intermediate level radioactive waste, del 1 i: SSM's external experts' reviews of SKB's safety assessment SR-PSU – Engineered barriers, engineering geology and chemical inventory, Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSM 2016:12 del 2, Chowdhury A H, Dasgupta B, 2016. Preparatory review of the integrity of reinforced and non-reinforced concrete structures in the extension of SFR, del 2 i: SSM's external experts' reviews of SKB's safety assessment SR-PSU – Engineered barriers, engineering geology and chemical inventory, Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSM 2016:12 del 3, Min K-B, Stephansson O, 2016. Preparatory review of the rock engineering and engineering geology issues related to the safety of the extension of SFR, del 3 i: SSM's external experts' reviews of SKB's safety assessment SR-PSU – Engineered barriers, engineering geology and chemical inventory, Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSM 2016:12 del 4, Abrahamsen L, Small J, 2016. Review of the inventory of chemical substances in the waste and waste packaging, del 4 i: SSM's external experts' reviews of SKB's safety assessment SR-PSU – Engineered barriers, engineering geology and chemical inventory, Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSM2017-2053-1, 2017. Hantering av säkerhetsfrågor i projekt, Strålsäkerhetsmyndighetens ärende.

SSM 2017:17, Granskning och utvärdering av SKB:s redovisning av Fud-program 2016, Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSM 2017:28 del 1, Geier J, 2017. Review of hydrogeological aspects of the safety assessment SR-PSU, del 1 i: SSM's external experts' review of SKB's safety assessment SR-PSU – hydrogeology, geochemistry and bentonite. Main review phase. Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSM 2017:28 del 2, Geier J, 2017. Hydrogeological assessment and calculations to support the review of SR-PSU, del 2 i: SSM's external experts' review of SKB's safety assessment SR-PSU – hydrogeology, geochemistry and bentonite. Main review phase. Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSM 2017:28 del 3, Metcalfe R, Benbow S J, Wilson J C, Savage D, 2017. Review of geochemical aspects of SR-PSU, del 3 i: SSM's external experts' review of SKB's safety assessment SR-PSU – hydrogeology, geochemistry and bentonite. Main review phase. Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSM 2017:28 del 4, Sällfors G, 2017. Review of physical and mechanical properties of bentonite, del 4 i: SSM's external experts' review of SKB's safety assessment SR-PSU – hydrogeology, geochemistry and bentonite. Main review phase. Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSM 2017:28 del 5, Apted M, Arthur R, 2017. Review of chemical properties of bentonite, del 5 i: SSM's external experts' review of SKB's safety assessment SR-PSU –



hydrogeology, geochemistry and bentonite. Main review phase. Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSM 2017:30 del 1, Towler G, Penfold J, 2017. Radionuclide transport modelling, del 1 i: SSM's external experts review of SKB's safety assessment SR-PSU – consequence analysis. Main review phase. Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSM 2017:30 del 2, Metcalfe R, 2017. Eview of Initial State and Process Reports for Waste, Barriers and Geosphere, del 2 i: SSM's external experts review of SKB's safety assessment SR-PSU – consequence analysis. Main review phase. Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSM 2017:30 del 3, Towler G, Penfold J, 2017. Consequence analysis review: importance of caissons in 2BMA, del 3 i: SSM's external experts review of SKB's safety assessment SR-PSU – consequence analysis. Main review phase. Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSM 2017:30 del 4, Walke R, Limer L, Shaw G, 2017. Review of specific topics relating to the biosphere dose assessment for key radionuclides, del 4 i: SSM's external experts review of SKB's safety assessment SR-PSU – consequence analysis. Main review phase. Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSM 2017:31 del 1. Eberhardt E, Diederichs M, 2017. Review of the evolution of the mechanical stability and hydraulic conductivity around the rock vaults of SFR, del 1 i: SSM's external experts review of SKB's safety assessment SR-PSU – rock engineering and concrete barriers. Main review Phase. Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSM 2017:31 del 2. Dasgupta B, 2017. Review of the hydraulic conductivity, sorption and mechanical properties of concrete barriers of SFR, del 2 i: SSM's external experts review of SKB's safety assessment SR-PSU – rock engineering and concrete barriers. Main review Phase. Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSM 2017:33 del 1. Klos R, Wörman A, 2017. Review of dose assessment landscape models, del 1 i: SSM's external experts review of SKB's safety assessment SR-PSU – dose assessment, K_d -values and safety analysis methodology. Main review Phase. Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSM 2017:33 del 2. Walke R, Limer L, Shaw G, 2017. In-depth review of key issues regarding biosphere models for specific radionuclides in SR-PSU, del 2 i: SSM's external experts review of SKB's safety assessment SR-PSU – dose assessment, K_d -values and safety analysis methodology. Main review Phase. Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSM 2017:33 del 3. Stark K, 2017. Review of analysis of dose to non-human biota in SR-PSU, del 3 i: SSM's external experts review of SKB's safety assessment SR-PSU – dose assessment, K_d -values and safety analysis methodology. Main review Phase. Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSM 2017:33 del 4. Bertetti F P, 2017. Review of handling of K_d -values used for near- and far-field analyses in the safet assessment SR-PSU, del 4 i: SSM's external experts review of SKB's safety assessment SR-PSU – dose assessment, K_d -values and safety analysis methodology. Main review Phase. Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSM 2017:33 del 5. Wilmot R D, 2017. Workshop on interdisciplinary aspects of barrier degradation and consequence analysis in SR-PSU, del 5 i: SSM's external experts review

of SKB's safety assessment SR-PSU – dose assessment, K_d -values and safety analysis methodology. Main review Phase. Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSM 2017:33 del 6. Wilmot R D, 2017. Review of safety analysis methodology in SKB's safety assessment SR-PSU, del 6 i: SSM's external experts review of SKB's safety assessment SR-PSU – dose assessment, K_d -values and safety analysis methodology. Main review Phase. Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSM 2018:03, 2018. Remissammanställning. Beredning inför regeringens prövning. Slutförvaring av använt kärnbränsle. Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSM 2018:07. Strålsäkerhet efter slutförvarets förslutning. Beredning inför regeringens prövning Slutförvaring av använt kärnbränsle. Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSM 2019:16 del 1. Newson R., Towler G., 2019. Further review of 1BMA and updated 2BMA design, del 1 i: SSM's external experts review of SKB's safety assessment SR-PSU – Consequence analysis and hydrogeological aspects. Main Review Phase. Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSM 2019:16 del 2. Geier, J. 2019. Assessment of transport parameters and hydrogeological aspects of future human actions, del 2 i: SSM's external experts review of SKB's safety assessment SR-PSU – Consequence analysis and hydrogeological aspects. Main Review Phase. Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSM 2019:16 del 3. Geier, J. 2019. Evaluation of hydrogeological risks associated with water-supply wells in a future warmer climate, del 3 i: SSM's external experts review of SKB's safety assessment SR-PSU – Consequence analysis and hydrogeological aspects. Main Review Phase. Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSM PM Stark 2018. Reproducing calculations of radiation dose rates to animals and plants in the environment in support of regulatory review of the SR-PSU.

SSM PM, Xu S, 2019. Oberoende modellering av radionuklidtransport för 1BLA och 2-5BLA. Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSM Technical Note 2012:60. Holmlund P, 2012. Handling of climate related issues in the safety assessment SR-Site. Swedish Radiation Safety Authority.

SSM Technical Note 2015:45. Stark K, 2015. Parallel assessment of effects on non-human biota using RESRAD-BIOTA. Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSMFS 2008:1 Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter och allmänna råd om säkerhet i kärntekniska anläggningar. Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSMFS 2008:12 Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter och allmänna råd om fysiskt skydd av kärntekniska anläggningar. Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSMFS 2008:13 Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter om mekaniska anordningar i vissa kärntekniska anläggningar. Strålsäkerhetsmyndigheten.



SSMFS 2008:21 Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter och allmänna råd om säkerhet vid slutförvaring av kärnämne och kärnavfall. Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSMFS 2008:23 Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter om skydd av människors hälsa och miljön vid utsläpp av radioaktiva ämnen från vissa kärntekniska anläggningar. Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSMFS 2008:24 Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter om strålskyddsövervakare vid kärntekniska anläggningar. Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSMFS 2008:26 Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter om personstrålskydd i verksamhet med joniserande strålning vid kärntekniska anläggningar. Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSMFS 2008:37 Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter och allmänna råd om skydd av människors hälsa och miljön vid slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle och kärnavfall. Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSMFS 2008:38 Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter om arkivering vid kärntekniska anläggningar. Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSMFS 2008:51 Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter om grundläggande bestämmelser för skydd av arbetstagare och allmänhet vid verksamhet med joniserande strålning. Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSMFS 2014:2 Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter om beredskap vid kärntekniska anläggningar. Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSPB, 1982. Characterization of deep-seated rock masses by means of borehole investigations. In-situ rock stress measurements, hydraulic testing and core-logging. Final report. Research and Development Report 5:1, The Swedish State Power Board.

Stark K., Andersson P., Beresford N.A., Yankovich T.L., Wood M.D., Johansen M.P., Vives i Batlle J., Twining J., Keum D.-K., Bollhöfer A., Doering C., Ryan B., Grzechnik M., Vandenhove, H. 2015. Predicting exposure of wildlife in radionuclide contaminated wetland ecosystems. *Environmental Pollution*. 196: 201-213.

Stephansson O, Ljunggren C, Jing L, 1991. Stress measurements and tectonic implications for Fennoscandia. *Tectonophysics* 189 (1-4), 317-322.

Szymkiewicz A., 2013. Chapter 2, Modelling water flow in unsaturated porous media. In: Rowiński P. (ed.), *GeoPlanet: Earth and Planetary Sciences*. Springer-Verlag.

Truesdell A H, Jones B F, 1974. WATEQ, a computer program for calculating chemical equilibria of natural waters. *Journal of Research, U.S. Geological Survey* 2, 233-274.

UNSCEAR 2000, 2000. Sources and effects of ionizing radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. United Nations.

van Bekkum H., Flanigen E. M., Jacobs P. A., Jansen J. C., (editors), 2001. Introduction to zeolite science and practice. 2nd completely revised and expanded edition. Elsevier Science B. V.



VRD, Rosenqvist M, Hejll A, 2010, Statusbedömning av betongkonstruktioner i SFR – Analys av borrhärdar från traversfundament i BMA, skiljevägg vid Torget samt referensbetong, Rapport U10:03, Vattenfall Research and Development (Strålsäkerhetsmyndighetens diarium: SSM2013-45-13).

VRD, Rosenqvist M, Stojanović B, 2011. Fördjupad provtagning och analys av betongkonstruktioner i SFR1 – Bottenplatta och väggar i BMA, bottenplattor i BLA, 1 & 2 BTF, samt betongtankar i 1 & 2 BTF, Rapport U11:92, Vattenfall Research and Development (Strålsäkerhetsmyndighetens diarium: SSM2013-45-13).

Wang L., Martens E., Jacques D., de Cannière P., Berry J., Mallants D., 2009. Review of the sorption values for the cementitious near field of a near surface radioactive waste disposal facility. NIROND TR 2008-23E, ONDRAF/NIRAS, Belgium.

Bilaga

Övriga remissynpunkter

Denna bilaga redovisar de remissynpunkter som inkommit till SSM under myndighetens beredning av SKB:s tillståndsansökan enligt kärntekniklagen och som inte uppenbart har kunnat kategoriseras inom de områden som innefattas i granskningsrapportens disposition. De inkomna synpunkterna kan exempelvis beröra aspekter som ligger utanför SSM:s uppdrag.

Synpunkterna listas i alfabetisk ordning utifrån remissinstansernas namn under de olika delområden som kapitlet innefattar. Diarienumret för det inkomna remissvaret i vilket remisskommentaren står att läsa redovisas i kommentarsrubriken inom parentes.

Kungliga vetenskapsakademien

Remisskommentar (SSM2015-1640-29)

Ansökan om utbyggnad och utökad slutförvaring skall enligt ansökan granskas av två myndigheter och bedömas enligt tre olika lagsystem (lagen om kärnteknisk verksamhet, KTL, strålskyddslagen, SSL, och miljöbalken, MB). Härefter ligger en möjlig svaghet i lagsystemet i sin helhet. En förutsättning för trovärdig granskning är rimligen, att granskningen utgående från krav som ställs av tre olika lagsystem sker parallellt och samtidigt och i långtgående samråd mellan myndigheterna och ej i sekvens.

SSM:s beaktande av remissynpunkt

Vid granskningen av ansökan enligt kärntekniklagen sker en granskning mot strålskyddslagens bestämmelser samt vissa bestämmelser i miljöbalken. SSM deltar även i mark- och miljödomstolens huvudförhandling innan myndigheten yttrar sig till regeringen om tillstånd enligt kärntekniklagen. Hur lagstiftningssystemet är utformat som helhet är dock en fråga som går utöver myndighetens granskning av SKB:s ansökan om utbyggnad av SFR.

Naturskyddsföreningens och Miljöorganisationernas kärnavfallsgranskning

Remisskommentar (SSM2015-1640-32)

Föreningarna yrkar på att sökanden ska redovisa hur finansiering kan säkerställas och hur slutförvarsprojektet ska finansieras om det blir en brist på medel i finansieringssystemet. Sökanden måste även redovisa fördelningen av det ekonomiska ansvaret mellan sökanden och de företag som innehar drifttillstånd för kärnkraftsreaktorerna.

Föreningarna yrkar på att sökanden klargör de juridiska ansvarsförhållandena som gäller för sökande, tillståndshavare, och de som har ansvar för rivning och slutförvar (ägarbolagen) samt även dem emellan.

SSM:s beaktande av remissynpunkt

SSM kan konstatera att det finns ett finansieringssystem som bidrar till att säkerställa SKB:s ekonomiska förutsättningar för den del av verksamheten (rivningsavfallet) som är finansierad av kärnavfallsfonden. För kostnader för omhändertagandet av driftavfallet sker detta genom direktfinansiering från kärnkraftsbolagen.

Swedac

Remisskommentar (SSM2015-1640-28)

Av bilagan till Svensk Kärnbränslehantering AB:s (SKB) svar nummer två om komplettering rörande information och IT-säkerhet framgår att IT-säkerheten ska struktureras efter standarden ISO/IEC 27002:2013 - Informationsteknik - Säkerhetstekniker - Riktlinjer för informationssäkerhetsåtgärder. Swedac ackrediterar organ som certifierar ledningssystem för informationssäkerhet. Genom detta har SKB möjlighet att få en oberoende tredjepartsgranskning av systemen. Möjligtvis kan SSM också ställa villkor om sådan certifiering.

SKB:s ansökan innehåller också många punkter om kvalitetssäkring av processer och provtagning samt om laboratorieanalyser av utsläpp i luft och vatten. Det framgår också att produkter och komponenter ska godkännas, verifieras eller kontrolleras. För många av dessa uppgifter finns det redan ackrediterade organ. Det går att söka efter ackrediterade organ för respektive uppgift i ackrediteringsregistret på Swedacs websida. Swedac är givetvis också behjälplig med information om vilka ackrediterade verksamheter som finns, eller om organ skulle kunna etableras om SSM ställer sådana krav. Exempelvis kan en sådan ordning innebära att produkter godkänns genom att ackrediterade produktcertifieringsorgan verifierar teknisk dokumentation för produkterna och tillverkningsprocessen.

Enligt punkten EXT-48 i dokumentet Tolkning och tillämpning av krav i SSMFS ska SKB:s verksamhet styras av ett ledningssystem enligt ISO 9001 - Ledningssystem för kvalitet - Krav, och ISO 14001:2004 - Miljöledningssystem - Krav och vägledning som är certifieringsbart. Swedac vill framföra att Swedac har ackrediterat organ för att certifiera ledningssystem enligt just dessa standarder. Dessa ackrediterade certifieringsorgan kan därför certifiera SKB:s ledningssystem för detta. Vid en granskning av SKB:s ansökan är det ärt att notera att 2004års version av 14001 snart ersätts av ISO 14001:2015.

Swedac vill särskilt framföra vikten av att mätningar ska vara metrologiskt spårbara enligt definitionen i ISO Guide 99:2012 - International vocabulary of metrology - Basic and general concepts and associated terms. Mätutrustning bör vara kalibrerad av ackrediterade kalibreringslaboratorier för att säkerställa metrologisk spårbarhet till SI-enheterna. Ackrediteringen innebär också att kalibreringen är utförd med rätt kompetens och med lämpliga referenser (normaler). Provningslaboratorier bör vara ackrediterade på samma sätt som ansökan redan anger att dosimetri ska vara.

Den nuvarande standarden ISO 9001:2008 innehåller krav på mätutrustning och metrologisk spårbarhet. Den kommande ISO 9001:2015 som fastställs av ISO under hösten 2015 är dock tydligare på de punkterna. Det kan vara värdefullt att ta vara på de förbättringarna vid granskningen av SKB:s ansökan.

Swedac noterar att de kontroller och bedömningar av att de program som nämns under punkten EXT-79 i dokumentet Tolkning och tillämpning av krav i SSMFS ska utföras av ackrediterade organ. Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter (SSMFS 2008:13) om mekaniska anordningar i vissa kärntekniska anläggningar innebär att organ som utför certifierings- eller kontrolluppgifter samt laboratorier som utför provningsuppgifter ska vara ackrediterade. Föreskrifterna är något föråldrade och innehåller en hänvisning till den numer upphävda lagen (1992:1119) om teknisk kontroll. Ackreditering sker numer enligt Europaparlamentets och Rådets förordning (EG) nr 765/2008 av den 9 juli 2008 om krav för ackreditering och marknadskontroll i samband med saluföring av produkter och upphävande av förordning (EEG) nr 339/93.

**SSM:s beaktande av remissynpunkt**

SSM noterar remissinstansens synpunkt.

Östhammars kommun

Remisskommentar (SSM2015-1640-33)

Avser SKB att så fort tillstånd erhållits för ansökt utbyggnation börja deponera kortlivat låg- och medelaktivt rivningsavfall i den befintliga delen av SFR, dvs. innan utbyggnationen är färdigställd?

Inom ramen för den ansökta utbyggnationen finns ett visst utrymme för att kunna slutförvara ytterligare avfall. Kan detta utrymme komma att utnyttjas för avfall från anläggningar som idag inte finns med i ansökan, exempelvis avfall från ESS-anläggningen?

Remisskommentar (SSM2017-5439-4)

En översyn av lagen om kärnteknisk verksamhet pågår och en del av uppdraget gäller regleringen av sistahandsansvaret efter förslutning av ett slutförvar. Östhammars kommun ser positivt på att initiativ tagits till denna utredning men anser det för den fortsatta processen är nödvändigt att ansvaret klargörs.

SSM:s beaktande av remissynpunkter

Avseende deponering har SKB uppgett att det kommer att råda deponeringsstopp i befintlig anläggning under hela byggtiden för utbyggnaden som planeras till sju år.

För det utbyggda förvaret finns det planer på att slutförvara avfall från den Europeiska spallationsanläggningen (ESS) i Lund. Se (Del I, avsnitt 3.3) för SSM:s förslag till tillståndsvillkor som berör avfall från icke-kärntekniska anläggningar.

Avseende frågan om sistahandsansvaret delar SSM remissinstansens synpunkt.



2019:18

Strålsäkerhetsmyndigheten har ett samlat ansvar för att samhället är strålsäkert. Vi arbetar för att uppnå strålsäkerhet inom en rad områden: kärnkraft, sjukvård samt kommersiella produkter och tjänster. Dessutom arbetar vi med skydd mot naturlig strålning och för att höja strålsäkerheten internationellt.

Myndigheten verkar pådrivande och förebyggande för att skydda människor och miljö från oönskade effekter av strålning, nu och i framtiden. Vi ger ut föreskrifter och kontrollerar genom tillsyn att de efterlevs, vi stödjer forskning, utbildar, informerar och ger råd. Verksamheter med strålning kräver i många fall tillstånd från myndigheten. Vi har krisberedskap dygnet runt för att kunna begränsa effekterna av olyckor med strålning och av avsiktlig spridning av radioaktiva ämnen. Vi deltar i internationella samarbeten för att öka strålsäkerheten och finansierar projekt som syftar till att höja strålsäkerheten i vissa östeuropeiska länder.

Strålsäkerhetsmyndigheten sorterar under Miljödepartementet. Hos oss arbetar drygt 300 personer med kompetens inom teknik, naturvetenskap, beteendevetenskap, juridik, ekonomi och kommunikation. Myndigheten är certifierad inom kvalitet, miljö och arbetsmiljö.

Strålsäkerhetsmyndigheten
Swedish Radiation Safety Authority

SE-171 16 Stockholm
Solna strandväg 96

Tel: +46 8 799 40 00
Fax: +46 8 799 40 10

E-mail: registrator@ssm.se
Web: stralsakerhetsmyndigheten.se