



Rapport

Datum: 2023-03-22

Diariennr: SSM2022-4764

Dokumentnr: SSM2022-4764-4

Process: 7.3

Handläggare: Patrik Borg

Arbetsgrupp: Pål Andersson, Elena Calota, Michael Egan, Christoffer Forss Hadi, Bengt Hedberg, Elisabet Höge, Markos Koufakis, Sara Lindgren, Jinsong Liu, Maria Nordén, Carl-Henrik Pettersson, Karolina Stark, Erik Strindö, Bo Strömberg, Anders Wiebert, Biruk Woldemedhin, Åsa Zazzi

Samråd: Lisa Ranlöf, Ansi Gerhardsson, Fredrik Forsberg, Anita Hartman Persson, Per Seltborg, Anna Bergström Mörtberg, Cheuk Lau, Carl Bladh

Godkänt av: Johan Friberg

Granskning och utvärdering av Fud-program 2022



Innehåll

Sammanfattning.....	4
Inledning.....	4
SSM:s sammanfattande synpunkter på Fud-program 2022.....	4
Sammanfattade remissynpunkter på Fud-program 2022.....	9
1 Inledning.....	10
1.1 Allmänt om programmet.....	10
1.2 Förutsättningar för SSM:s granskning och utvärdering.....	11
1.3 SSM:s beredning av ärendet.....	13
1.4 Granskningsrapportens struktur.....	14
2 Övergripande synpunkter på Fud-program 2022.....	15
2.1 Struktur och innehåll i SKB:s redovisning.....	15
2.2 Remissinstanserna allmänna synpunkter.....	16
3 Verksamhet och handlingsplan.....	20
3.1 Inledning.....	20
3.2 Förutsättningar för SKB:s verksamhet.....	21
3.3 Övergripande beskrivning av SKB:s verksamheter.....	22
3.4 Plan för genomförandet.....	26
3.5 Handlingsalternativ vid förändrade förutsättningar.....	29
3.6 Fortsatt forskning och utveckling.....	29
3.7 SKB:s styrning och ledning av verksamheten.....	31
3.8 Äspölaboratoriets avslutande.....	36
3.9 Bevarande av kunskap och information genom generationer.....	38
3.10 Andra metoder för slutförvaring.....	40
3.11 Övervakning under uppförande och drift.....	41
3.12 SSM:s samlade bedömning av SKB:s verksamhet och handlingsplan.....	42
4 Omhändertagande av låg- och medelaktivt avfall.....	44
4.1 Genomförandeplan för mycket lågaktivt avfall.....	44
4.2 Genomförandeplan för omhändertagande av kortlivat låg- och medelaktivt avfall	46
5 Slutförvaret för långlivat avfall.....	47
5.1 SSM:s samlade bedömning.....	53
6 Det låg- och medelaktiva avfallet.....	54
6.1 Processförståelse.....	54
6.2 Radionuklidinventarium.....	59
6.3 Acceptanskriterier för avfall till SFL och det utbyggda SFR.....	61
6.4 Avfallsbehållare och avfallstransportbehållare.....	63
6.5 SSM:s samlade bedömning.....	64



7	Omhändertagande av använt kärnbränsle	64
7.1	Genomförandeplan för använt kärnbränsle.....	64
7.2	Använt kärnbränsle	68
7.3	Kapsel	75
7.4	SSM:s samlade bedömning avseende omhändertagande av använt kärnbränsle	90
8	Transporter.....	91
9	Kärnämneskontroll.....	93
10	Slutförvarsgemensam forskning och teknikutveckling.....	95
10.1	Cementbaserade material.....	95
10.2	Lerbarriärer, pluggar och förslutning.....	99
10.3	Berg.....	107
10.4	Ytekosystem.....	117
10.5	Klimat och klimatrelaterade processer.....	125
10.6	SSM:s samlade bedömning avseende slutförvarsgemensam forskning och teknikutveckling.....	129
11	Avveckling av kärntekniska anläggningar.....	130
11.1	Förutsättningar för avveckling av kärntekniska anläggningar	130
11.2	Planering för avveckling inom Uniper.....	133
11.3	Planering för avveckling inom Vattenfall.....	135
11.4	Planering för avveckling av SKB:s anläggningar	138
11.5	Fortsatta aktiviteter inom avveckling.....	139
11.6	SSM:s samlade bedömning avseende avveckling.....	140
	Referenser.....	141



Sammanfattning

Inledning

Enligt förordningen (1984:14) om kärnteknisk verksamhet (kärnteknikförordningen) ska Strålsäkerhetsmyndigheten (SSM) granska och utvärdera det program för forskning, utveckling och demonstration med mera (Fud-program) som reaktorinnehavarna enligt lagen (1984:3) om kärnteknisk verksamhet (kärntekniklagen) ska upprätta och vart tredje år redovisa.

Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB) har på uppdrag av reaktorinnehavarna tagit fram Fud-program 2022 och i enlighet med kärnteknikförordningen lämnat det till myndigheten i september 2022. Fud-program 2022 består av tre delar; del I, Verksamhet och handlingsplan; del II, Avfall och slutförvaring; och del III, Avveckling av kärntekniska anläggningar.

SSM har granskat och utvärderat Fud-program 2022 i fråga om planerad forsknings- och utvecklingsverksamhet, redovisade forskningsresultat, alternativa hanterings- och förvaringsmetoder samt de åtgärder som avses bli vidtagna (26 § kärnteknikförordningen). Denna rapport redogör för resultaten av granskningen och utvärderingen.

För att inhämta synpunkter har SSM skickat Fud-program 2022 på en bred remiss till ca 50 organisationer. Vid utgången av remisstiden, den 31 december 2022, hade 22 av dessa svarat, varav 6 meddelade att de valde att inte lämna synpunkter. En översikt av remissinstansernas synpunkter redovisas i anslutning till SSM:s sammanfattande synpunkter på SKB:s program. Därutöver redovisas remissinstansernas synpunkter i anslutning till relevanta granskningsavsnitt. En sammanställning av inkomna remissynpunkter biläggs myndighetens yttrande till regeringen över Fud-program 2022.

SKB:s redovisning omfattar verksamheter med hantering och slutförvaring av kärnavfall och använt kärnbränsle samt avveckling av kärntekniska anläggningar och baseras på de förutsättningar och antaganden som idag gäller för kärnkrafts- och kärnavfallsprogrammen. Redovisningen avser både verksamheter och anläggningar som har tillstånd och står under myndighetens tillsyn samt sådana som är på planeringsstadiet, under lokalisering och utveckling. SSM föregriper i granskningen av Fud-program 2022 inte myndighetens ställningstaganden i tillsynen över tillståndsgivna verksamheter. Aspekter kopplade till sådana verksamheter omhändertas inom ramen för SSM:s löpande tillsyn av dessa.

SSM:s sammanfattande synpunkter på Fud-program 2022

SKB:s redovisning i Fud-program 2022

SSM bedömer att SKB vid utarbetandet av Fud-program 2022 har hörsammat villkoren i regeringens beslut över Fud-program 2019, liksom att SKB i allt väsentligt har beaktat de synpunkter som SSM och Kärnavfallsrådet fört fram i yttranden över Fud-program 2019.

SSM bedömer att SKB:s redovisning av Fud-program 2022 är ändamålsenlig i förhållande till lagstiftarens syfte med programmet och de krav som ställs på reaktorinnehavarna.

SSM bedömer att del I av Fud-program 2022 är en bra introduktion till såväl SKB:s pågående verksamheter som planer för framtida verksamheter, i syfte att omhänderta det kärnavfall och det använda bränsle som uppstår vid drift och avveckling av reaktorinne-

havarnas och SKB:s kärntekniska anläggningar. Introduktionen i kapitel 1 tillsammans med övergripande beskrivningar av avfallssystemet i kapitel 2 samt övergripande genomförandeplaner i kapitel 3, medger en bra insikt i SKB:s verksamhet som grund för att värdera och bedöma Fud-programmet i sin helhet.

SSM finner det rimligt att SKB utgår från planerade drifttider för reaktorerna vid planeringen av omhändertagande av använt bränsle och kärnavfall. Givet de osäkerheter och den flexibilitet som krävs med de långa tider som programmet omfattar bedömer SSM att SKB:s beskrivningar av handlingsalternativ vid förändrade förutsättningar är rimligt realistiska och åskådliggörande.

SSM bedömer utifrån de förutsättningar som ligger till grund för SKB:s redovisning, att de alternativa åtgärder som redogörs för i rapporten, i syfte att vid behov åstadkomma ytterligare lagringskapacitet för använt bränsle i Centralt mellanlager för använt kärnbränsle (Clab) i Oskarshamn innebär att det kan förväntas att finnas tillräckligt utrymme för mellanlagring av använt kärnbränsle i anläggningen för överskådlig framtid. SSM bedömer likaledes att redovisningen i Fud-programmet avseende behov av mellanlagringskapaciteter för låg- och medelaktivt rivningsavfall bekräftar att reaktorinnehavarnas planering medger tillräcklig flexibilitet för att kunna hantera förändrade förutsättningar över tid.

Redovisningen i kapitel 4 om fortsatt forskning och utveckling, och i kapitel 5 om arbetssätt, kompetens och resurser, utgör en viktig länk mellan redovisningen av genomförandeplaner i del I, som översiktligt beskriver vad som återstår att genomföras för resterande delar av slutförvarsprogrammet, och det mer konkreta forsknings- och utvecklingsarbete som planeras att genomföras under kommande Fud-period, enligt redovisningen i del II. SSM bedömer därmed att Fud-program 2022 motsvarar SSM:s förväntningar med avseende på koppling mellan redovisning av de strategiska planerna och de mer konkreta insatserna som planeras att genomföras under kommande sex år.

SSM bedömer sammanfattningsvis att redovisningen i Fud-program 2022 ger en tillräcklig överblick av reaktorinnehavarnas och SKB:s program, och tillräcklig insikt i planerade insatser under kommande Fud-period för att myndigheten ska kunna bedöma att programmet uppfyller lagens krav.

Omhändertagande av kortlivat låg- och medelaktivt avfall

SSM konstaterar i granskningen av SKB:s generella forskningsverksamhet att det görs en del fördjupningar, men bedömer att det saknas en tydlighet i hur tidigare lämnade granskningskommentarer har omhändertagits t.ex. rörande gasbildning.

I fråga om återsvällning av bitumeningjutna jonbytarmassor delar SSM SKB:s bedömning att frågan är svårbedömd. SSM konstaterar att det saknas ett konkret program för det fortsatta arbetet att utreda frågan, och att detta är av betydelse både för att värdera redan deponerat avfall i Slutförvaret för kortlivat radioaktivt avfall (SFR) och för att värdera framtida produktion.

SSM har i tidigare granskningar påpekat behovet av en utvecklad metodik för hur icke-systembunden aktivitet ska fördelas och tillskrivas de olika förvarsdelarna i SFR. SSM ser därför positivt på sådana förbättringar som begränsar risken för att aktivitetsinnehållet underskattas i de förvarsdelar med enklare barriärsutformning. Utvecklade acceptanskriterier behövs som en del av underlaget inför ansökan om uppförande av utbyggnationen av SFR.

Omhändertagande av långlivat låg- och medelaktivt avfall

SSM konstaterar att SKB valt att, med undantag från arbete med att karaktärisera det historiska avfallet, prioritera ner det fortsatta arbetet med Slutförvaret för långlivat avfall (SFL) och att de tidigare planerna senareläggs med ett antal år.

SSM anser att den långsiktiga strålsäkerheten ska vara vägledande vid förvarets lokalisering. SSM delar SKB:s ambition att platsvalet behöver genomföras i en stegvis, öppen och transparent process. Enligt SSM:s uppfattning är det angeläget att SKB inte på förhand begränsar urvalsprocessen. Utvecklande av specifika lokaliseringsfaktorer för SFL bedöms vara en förutsättning för en från strålsäkerhetssynpunkt ändamålsenlig lokalisering. Dessa faktorer behöver skilja på vad som utgör krav på en plats och vad som är önskemål.

SSM konstaterar att SKB har identifierat ett fortsatt utvecklingsbehov av tekniska lösningar för utformning och uppförande av förvarsutrymmena i SFL, men kan samtidigt konstatera att redovisningen inte innehåller planer för hur och när detta ska genomföras. Vidare saknas en redovisning för hur bolaget avser att hantera de unika frågeställningar som följer av det långlivade avfallet och som således särskiljer SFL från SFR.

Mot denna bakgrund bedömer SSM att forsknings- och utvecklingsprogrammet behöver förtydligas och konkretiseras för att beskriva planer för återstående åtgärder som krävs för att utveckla SFL.

Omhändertagande av använt kärnbränsle

SSM bedömer att SKB:s genomförandeplan för omhändertagande av använt kärnbränsle är ändamålsenlig och på ett rimligt sätt beaktar förändringar i förutsättningar som oundvikligen ligger utanför SKB:s kontroll. Två områden för vilka planerna bör förtydligas är dock kopplingen mellan uppförande av de ingående anläggningarna och framtagande av kapseltransportbehållaren, samt strategi för fortsatt mellanlagring om befintliga bassänger av något skäl inte skulle räcka till.

Beträffande SKB:s forskning kring bränslet i sig bedömer SSM att SKB:s arbete fortlöper på ett godtagbart sätt, och dels ger underlag för att optimera och säkerställa verksamheten vid CLAB och CLINK, dels ger förståelse för bränslets egenskaper vid kontakt med grundvatten i slutförvaret efter förslutning.

SSM ser även positivt på SKB:s forskning kring kopparkapseln som bl.a. syftar till att verifiera och utveckla kunskap kring kopparhöljets beständighet och olika former av tänkbara korrosionsprocesser i slutförvarsmiljön. SKB bör med tanke på planerna på att avsluta verksamheten vid Äspölaboratoriet sammanfatta erhållna erfarenheter samt undersöka olika möjligheter att på andra platser genomföra in-situ försök i en rimligt realistisk slutförvarsmiljö.

Även SKB:s pågående och planerade forskning kring kapselmaterialens övriga egenskaper förväntas ge ett fördjupat kunskapsunderlag inför SKB:s fortsatta program. SKB bör dock etablera en tydligare koppling mellan hur resultat från krypprovning och olika typer av forskningsinsatser inriktade mot mekaniska egenskaper hos kapselmaterial, och hur kapselns funktioner i slutförvarsmiljön verifieras. Ett sådant arbete bör även belysa hur specifikation av krav på konstruktionsmaterial och tillverkning påverkas av sådana forskningsinsatser. SKB bör ta fram en principiell tidplan som på ett tydligare sätt visar en övergripande processutveckling för kapseln som innefattar kravställning av kapselmaterial och optimering av kapselns detaljutformning.



Transportsystemet och dess komponenter

SSM bedömer att SKB:s redovisning kopplat till transportsystemet och dess komponenter är av tillräcklig omfattning och detaljeringsgrad för att på ett rättvisande sätt beskriva pågående och planerade verksamheter, och därmed uppfyller syftet med Fud-programmet.

Kärnämneskontroll

SSM bedömer att SKB:s redovisning kopplat till kärnämneskontroll är av tillräcklig omfattning och detaljeringsgrad för att på ett rättvisande sätt beskriva pågående och planerade verksamheter.

Planer för fortsatt slutförvarsgemensam forskning och utveckling

SSM anser att den slutförvarsgemensamma forskning och utveckling som redovisas i Fud-program 2022 i allt väsentligt är rimlig och adekvat. SSM anser att redovisningen generellt ligger på en ändamålsenlig nivå, men konstaterar att detaljeringsgraden varierar och inom vissa områden är på en nivå som bitvis gör det svårt att tolka ändamålsenlighet för planerna för den kommande Fud-perioden. För att bättre förstå syftena med planerade forskningsprojekt och teknikutvecklingsinsatser efterfrågar SSM också i vissa fall förtydliganden avseende betydelse för analysen av strålsäkerhet efter slutlig förslutning av ett slutförvar.

SSM anser att SKB:s redovisning av utveckling och forskning inom kapselområdet som tillräckligt omfattande och detaljerad, men det bör samtidigt påtalas att betydande utvecklingsbehov kvarstår inom olika områden. SKB utesluter för närvarande inte större förändringar av insatsens utformning med anledning av svårigheter att uppnå tillräckligt goda materialegenskaper för de centrala delarna av redan tillverkade insatser. Vad gäller kopparhöljet krävs bl.a. fortsatta insatser för optimering av olika tillverkningsmoment samt för förståelsen av krypdeformation och i synnerhet kring fosforstillsatsens roll. Inom korrosionsområdet pågår ett flertal projekt och mycket forskning har redan redovisats av SKB inom ramen för kapselkompletteringen. SSM vill påtala behovet av en plan för korrosionsförsök i en representativ slutförvarsmiljö när Äspölaboratoriet inte längre kan utnyttjas. Avslutande och utvärdering av alla pågående Äspöförsök som innefattar koppar kommer dock före ett sådant arbetsmoment.

Avseende lerbarriärer kan SSM konstatera att SKB:s utförda arbete är i linje med de behov som identifierades vid SSM:s granskning av SKB:s ansökan om KBS-3-systemet. SSM bedömer att SKB:s samtliga satsningar rörande lerbarriärer är rimliga och ändamålsenliga. SSM anser att de finns ett antal frågor som i allmänhet är unika och utmanande kopplade till lerbarriären i BHA i SFL-slutförvaret. SSM är angelägen om att SKB så tidigt som möjligt börja redovisa satsningarna i dessa frågor.

SSM anser att redovisningen av cementfrågor i Fud-program 2022 är av rimlig omfattning om än i vissa avseenden något otydlig. Detta gäller i huvudsak den del som avser mera grundläggande vetenskapsfrågor och i mindre omfattning tillämpade praktiska frågor kopplade till de specifika förvarsdelarna. För exempelvis den mycket långsiktiga utvecklingen av mineralfaser inom cement och hur de kemiska förhållandena utvecklas på lång sikt redovisas endast att olika möjligheter håller på att övervägas. Äspölaboratoriet har fortfarande en stor betydelse för de studier som har utförts och avser att utföras/slutföras under förvarsliknande betingelser. SKB bör därför utreda andra möjliga försöksplatser och i kommande Fud-program redovisa hur liknande behov ska kunna tillgodoses efter att Äspölaboratoriet inte längre finns tillgängligt för försöksverksamhet.

SSM bedömer att SKB:s redovisning av området berg är ändamålsenlig och av godtagbar omfattning. I vissa delar, exempelvis inom hydrokemiområdet, är dock redovisningen stundtals otydlig med avseende på de underliggande motiven för olika forskningsprojekt. SKB:s redovisning skulle i högre grad, förutom beskrivning av ytterligare behov av forskning inom området som SKB har identifierat, kunna innefatta underliggande motiv för de prioriteringar som har gjorts. SSM bedömer att kommande redovisningar av det fortsatta arbetet med att karakterisera berggrunden för tillståndsgivna verksamheter lämpligen görs på ett övergripande sätt i Fud-programmets del I. När uppförandet inleds kommer Fud-programmets betydelse inom vissa områden att minska. SSM bedömer att karakterisering av berggrunden är ett sådant område där det kan förväntas att en dialog på årsbasis eller oftare upprättas liknande den för SKB:s arbete med kontroll och underhåll av berg och bergförstärkningar för befintliga anläggningar. Delar som i högre utsträckning berör utvecklingen efter förslutning, som modellering av berggrundens termiska, mekaniska, hydrologiska och kemiska utveckling efter förslutning kommer framgent vara av intresse att redovisa i del II

Liksom i SSM:s granskning och utvärdering av Fud-program 2019 anser SSM att det är positivt att SKB:s forskningsprogram för ytekosystem fortsätter vara baserat på en helhetssyn och syftar till att skapa underlag för beräkningar av potentiell stråldos till människa och miljö i analyserna av säkerheten efter förslutning för de olika förvararna, men också ger underlag för miljöövervakning, bedömningar av eventuell miljöförändring och för analysen av säkerheten i anläggningarna under drifttiden.

SSM noterar att SKB i Fud-program 2022 adresserar flera av SSM:s synpunkter från granskningen av den långsiktiga strålsäkerheten efter förslutning av slutförvaret för använt kärnbränsle (SSM 2018:07). Exempelvis kvantifieringen av framtida glacial erosion, valideringen av permafrostmodellen och framtagande av en alternativ islasthistorik som indata till bergspänningsmodelleringen.

Bevarande av information och kunskap genom generationer

SSM anser att bevarande av kunskap kring slutförvaren är viktigt för att bidra till att minska risken för framtida intrång. SSM bedömer att SKB:s planerade insatser för detta utgör en ändamålsenlig ansats i det avseendet.

Andra metoder för slutförvaring

SSM bedömer att SKB:s ansats att fortsätta bevaka utvecklingen av andra metoder för slutförvaring av radioaktivt avfall med syfte att ta till sig ny kunskap för att i framtiden ytterligare kunna optimera slutförvaren är rimlig.

Avveckling av kärntekniska verksamheter

SSM bedömer att redovisningen i del III av Fud-program 2022 medger en tillräcklig förståelse för planerade avvecklingsverksamheter liksom för de förutsättningar som ligger till grund för avveckling av de kärntekniska anläggningarna.

SSM bedömer också att redovisningen avseende avveckling av kärnkraftreaktorerna är adekvat och i princip överensstämmande med den redovisning som SSM erhåller från tillsynen av pågående avvecklingsprojekt.

Sammanfattade remissynpunkter på Fud-program 2022

För att inhämta synpunkter har SSM skickat Fud-program 2022 på en bred remiss till ca 50 organisationer. Av dessa har 22 inkommit med svar, varav 6 meddelat att de valt att inte lämna synpunkter.

Följande organisationer har lämnat synpunkter: Östhammars kommun, Vetenskapsrådet, Uppsala universitet, Riksarkivet, Kävlinge kommun, Stockholms universitet, Naturvårdsverket, Miljövänner för kärnkraft, Styrelsen för ackreditering och teknisk kontroll, Sveriges geologiska undersökningar, Kungl. Vetenskapsakademien, Länsstyrelsen Uppsala län, Länsstyrelsen Kalmar län, Kungliga Tekniska Högskolan, Kvalitativ Kärnavfallsinformation, Miljörelsens kärnavfallssekreteriat, Statens geotekniska institut samt Naturskyddsföreningen, Jordens Vänner och Miljöorganisationernas kärnavfallsgranskning i förening.

En sammanställning av remissinstansernas generella synpunkter på Fud-program 2022 tillsammans med myndighetens övergripande synpunkter redovisas i kapitel 2 i denna rapport. De mer detaljerade synpunkterna redovisas i berörda granskningsavsnitt. SSM har i genomförandet av utvärderingen beaktat de remissvar som inkommit. En separat remissammanställning har också tagits fram.

En sammanfattning av de generella synpunkter på Fud-program 2022 som lyfts av remissinstanser redovisas här nedan.

Östhammars kommun anser att Fud-programmet är en värdefull del av det svenska kärnkraftsprogrammet och en viktig del i arbetet med öppenhet och insyn. Kommunen uttrycker förhoppningar om att den genom ändrade regler för finansiering kan genomföra mer omfattande granskningar av kommande Fud-program.

Uppsala universitet framhåller att det är viktigt att Fud-program inte alltför ensidigt fokuserar på naturvetenskapliga och tekniska frågor. Universitetet pekar också på att de senaste årens förändringar i omvärlden ökat betydelsen av SKB:s förmåga att bevaka, följa upp och anpassa verksamheten till ändrade förutsättningar.

Miljövänner för kärnkraft anser att Fud-programmet skulle kunna kompletteras med innehåll som pedagogiskt sätter riskerna med joniserande strålning från kärnavfall i relation till andra miljöfaktorer.

Kungl. Vetenskapsakademien anser att Fud-program 2022 i stor utsträckning är välstrukturerat, detaljerat och en bra beskrivning av nuläget.

Länsstyrelsen i Kalmar län framför att det för förståelsen är en styrka om forskning och utvecklingsinsatser för de anläggningar som nyligen beviljats tillstånd enligt kärntekniklagen beskrivs även om det sker i annan form.

Kungliga Tekniska Högskolan anser att Fud-program 2022 är tydligt formulerat och i fas med såväl SKB:s verksamhet och aktuella kunskapsnivån inom berörda områden.

Kvalitativ Kärnavfallsinformation föreslår att Fud-programmet anpassas till att fokusera på att uppföra anläggningarna inom slutförvarssystemet så snabbt och effektivt som möjligt.

Statens geotekniska institut anser att Fud-program 2022 överlag är välunderbyggt och att strukturen förtydligats vid jämförelse med föregående Fud-program.

1 Inledning

1.1 Allmänt om programmet

1.1.1 Kärntekniklagens krav på redovisning av Fud-program

Enligt 12 § kärntekniklagen ska den som har tillstånd att inneha eller driva en kärnkraftsreaktor i samråd med övriga reaktorinnehavare upprätta eller låta upprätta ett program för den allsidiga forsknings- och utvecklingsverksamhet och de övriga åtgärder som behövs för säker hantering av kärnavfall och använt kärnbränsle samt säker avveckling och rivning av kärntekniska anläggningar (Fud-program). Programmet ska dels innehålla en översikt över samtliga åtgärder som kan bli behövliga, dels närmare ange de åtgärder som avses bli vidtagna inom en tidrymd om minst sex år. Programmet ska vart tredje år lämnas in till regeringen eller den myndighet som regeringen bestämmer för att granskas och utvärderas. I samband med granskningen och utvärderingen får regeringen ställa de villkor som behövs avseende den fortsatta forsknings- och utvecklingsverksamheten.

Reaktorinnehavarna har uppdragit åt SKB att i samarbete med dem upprätta Fud-programmen. Dessa ska i enlighet med kärnteknikförordningen lämnas in till Strålsäkerhetsmyndigheten (SSM) för granskning och utvärdering i september vart tredje år. SSM ska enligt samma förordning genomföra en granskning och utvärdering av programmet i fråga om planerad forsknings- och utvecklingsverksamhet, redovisade forskningsresultat, alternativa hanterings- och förvaringsmetoder samt de åtgärder som avses bli vidtagna. Myndigheten ska lämna sitt yttrande över programmet och handlingarna i ärendet till regeringen.

1.1.2 Regeringens beslut över Fud-program 2019

Myndighetens yttrande över Fud-program 2019 överlämnades till regeringen i mars 2020 och regeringen fattade beslut över programmet i december 2020. I linje med SSM:s yttrande uttryckte regeringen i sitt beslut den 10 december 2020 att Fud-program 2019 uppfyllde kärntekniklagens krav. Regeringen ställde också följande villkor för den fortsatta forsknings- och utvecklingsverksamheten;

- Reaktorinnehavarna och Svensk Kärnbränslehantering AB ska i kommande redovisning av Fud-program översiktligt redovisa planerade verksamheter, motsvarande den genomförandeplan för verksamheter som Svensk Kärnbränslehantering AB ansvarar för. Redovisningen ska omfatta en principiell beskrivning av hanteringen av olika avfallsströmmar samt erforderlig och tillgänglig kapacitet för systemets olika delar i relation till den mängd eller volym använt kärnbränslebränsle eller radioaktivt avfall som avses att hanteras och omhändertas.
- Redovisningen av Fud-programmet ska fortsättningsvis omfatta samtliga avfallskategorier som förväntas omhändertas i respektive anläggning.
- Reaktorinnehavarna och Svensk Kärnbränslehantering AB ska beakta hur Fud-programmet bättre kan bidra till öppenhet och insyn i hur arbetet med forskning, utveckling och demonstration av metoder för hantering och slutförvaring av kärnavfall bedrivs.
- Kommande Fud-program ska omfatta en redovisning avseende informationsbevarande i enlighet med Strålsäkerhetsmyndighetens och Kärnavfallsrådets rekommendationer.

- Reaktorinnehavarna och Svensk Kärnbränslehantering AB ska noga överväga de övriga påpekanden som Strålsäkerhetsmyndigheten, Kärnavfallsrådet och andra instanser gjort vid granskningen av Fud-program 2019.

1.2 Förutsättningar för SSM:s granskning och utvärdering

1.2.1 Fud-programmets övergripande syfte

SKB:s program för forskning, utveckling och demonstration och de övriga åtgärder som behövs för säker hantering av kärnavfall och använt kärnbränsle samt säker avveckling och rivning av kärntekniska anläggningar har pågått sedan slutet av 1970-talet. Fud-processen etablerades genom riksdagens beslut 1984 att anta lagen (1984:3) om kärnteknisk verksamhet (kärntekniklagen). Beslutet innebar att tydliga förutsättningar och ansvarsförhållanden etablerades för genomförandet av verksamheter för att hantera och slutförvara använt kärnbränsle och kärnavfall som uppstår som en konsekvens av drift och avveckling av kärnkraftsreaktorer.

Enligt 10 § kärntekniklagen ska den som bedriver kärnteknisk verksamhet svara för de åtgärder som behövs för att på ett säkert sätt avveckla och riva anläggningar samt hantera och slutförvara använt kärnbränsle och kärnavfall. 11 § föreskriver att den som har tillstånd att driva en kärnkraftsreaktor ska svara för den allsidiga forsknings- och utvecklingsverksamhet som behövs för att fullgöra skyldigheterna i 10 §. Enligt 12 § ska den som har tillstånd att inneha eller driva en kärnkraftsreaktor i samråd med övriga reaktorinnehavare upprätta eller låta upprätta ett program för den allsidiga forsknings- och utvecklingsverksamhet och de övriga åtgärder som behövs för säker hantering av kärnavfall och använt kärnbränsle samt säker avveckling och rivning av kärntekniska anläggningar (Fud-program). Programmet ska vart tredje år granskas och utvärderas av SSM som med eget yttrande överlämnar programmet till regeringen för beslut. Förfarandet medger en möjlighet för regeringen att ställa de villkor som behövs med avseende på programmets fortsatta inriktning i en robust men samtidigt flexibel process.

1.2.2 Avgränsning mot tillsyn av kärnteknisk verksamhet

För att bedriva kärnteknisk verksamhet krävs tillstånd enligt 5 § kärntekniklagen. Frågor om tillstånd prövas av regeringen eller den myndighet som regeringen bestämmer. Vidare gäller enligt 8 § kärntekniklagen att regeringen eller den myndighet som regeringen bestämmer får, när ett tillstånd meddelas eller under dess giltighetstid, besluta om de villkor som behövs med hänsyn till säkerheten. Dessutom föreskrivs i 4 § kärntekniklagen att regeringen eller den myndighet som regeringen bestämmer får meddela närmare föreskrifter om åtgärder för att upprätthålla säkerheten i den kärntekniska verksamheten.

Motsvarande mandat att utfärda föreskrifter och villkor avseende strålskyddet ges i strålskyddslagen (2018:396) med tillhörande förordning (2018:506).

SSM har till stöd för tillsynen av säkerheten och strålskyddet vid kärnteknisk verksamhet utfärdat föreskrifter. De mest centrala föreskrifterna för kärnteknisk verksamhet återfinns i Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter och allmänna råd om säkerhet i kärntekniska anläggningar (SSMFS 2008:1) och grundläggande bestämmelser för tillståndspliktig verksamhet med joniserande strålning (SSMFS 2018:1). Andra relevanta föreskrifter är Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter om mekaniska anordningar i vissa kärntekniska anläggningar (SSMFS 2008:13), Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter och allmänna råd om säkerhet vid slutförvaring av kärnämne och kärnavfall (SSMFS 2008:21),

Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter och allmänna råd om skydd av människors hälsa och miljön vid slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle och kärnavfall (SSMFS 2008:37) och Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter om omhändertagande av kärntekniskt avfall (SSMFS 2021:7).

I praktiken innebär regelverket att den myndighetstillsyn som behövs av verksamheter, efter att tillstånd medgivits, bedrivs genom tillsyn av efterlevnad av relevanta tillståndsvillkor och föreskrifter inom ramen för givet tillstånd. Detta gäller också eventuella villkor om att genomföra erforderlig forsknings- och utvecklingsverksamhet utöver vad som följer av Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter och allmänna råd om säkerhet i kärntekniska anläggningar (SSMFS 2008:1).

En särskild aspekt som bör betonas i detta sammanhang är att processen för att etablera en kärnteknisk anläggning efter att tillstånd erhållits följer ett strikt formaliserat och kontrollerat förfarande, som är reglerat i SSM:s föreskrifter. Förfarandet innebär att etablerandet sker i en stegvis beslutsprocess, där faktisk kravuppfyllnad i olika avseenden verifieras utifrån det underlag som underbyggt myndighetens beredning av ansökan och regeringens medgivande att bevilja tillstånd för verksamheten. I SSM:s föreskrifter SSMFS 2008:1 finns t.ex. föreskrivet flera tydliga hållpunkter där tillståndshavaren måste få ett formellt medgivande från myndigheten innan nästa fas i verksamheten får inledas. Till exempel krävs myndighetens godkännande innan själva uppförandet inleds, innan provdrift får påbörjas och innan anläggningen får tas i rutinemässig drift. Regeringen kan om det anses behövt ställa krav på ytterligare hållpunkter när tillstånd för verksamheten medges.

Som framgår ovan är huvudsyftet med granskning och utvärdering av successivt uppdaterade Fud-program att bedöma om reaktorinnehavarnas program för planerade åtgärder gör troligt att de kommer att uppfylla sina allmänna skyldigheter enligt 10 § kärntekniklagen. Processen är i första hand avsedd att fungera som ett strategiskt verktyg för att övergripande successivt granska och utvärdera planerade verksamheter under utvecklingsfasen. I Fud-programmet redovisas översiktligt reaktorinnehavarnas övergripande strategier och planerade åtgärder för att uppnå det långsiktiga målet, det vill säga ett säkert slutligt omhändertagande av allt kärnavfall och använt kärnbränsle och en säker avveckling av anläggningar.

Tillståndsgivna kärntekniska verksamheter är föremål för myndighetstillsyn av efterlevnaden av tillståndsvillkor och tillämpliga föreskrifter. Av det följer att verksamheter som bedrivs inom ramen för ett givet tillstånd redovisas i ett mer övergripande systemperspektiv i Fud-programmet jämfört med verksamheter som ännu inte medgivits tillstånd och för vilka lösningar för omhändertagande och slutförvar ska utvecklas.

Sammanfattningsvis kan konstateras att krav på forskning och utveckling för verksamheten vid en anläggning som behövs för slutförvaring av använt kärnbränsle eller kärnavfall finns etablerade i två olika avseenden. Dels som ett allmänt krav i 2 kap. 10 § SSMFS 2008:1¹ riktat mot tillståndshavaren för anläggningen i syfte att upprätthålla strålskyddet och säkerheten i verksamheten, kompletterad av kraven i SSMFS 2008:21² som avser strålsäkerheten efter förslutning. Dels som ett krav i 11 § kärntekniklagen i form av en allmän skyldighet för en reaktorinnehavare att svara för den allsidiga forsknings- och utvecklingsverksamhet som behövs för att utveckla och implementera de återstående verksamheter som behövs för att omhänderta allt kärnavfall och använt kärnbränsle som

¹ Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter om säkerheten i kärntekniska anläggningar, SSMFS 2008:1

² Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter om säkerhet vid slutförvaring av kärnämne och kärnavfall, SSMFS 2008:21

uppstår vid drift av kärnkraftreaktorerna. Redovisningen i Fud-program 2022 syftar alltså till att svara upp mot det senare kravet.

1.2.3 Avgränsning mot slutförvaring av annat radioaktivt avfall

De allmänna skyldigheterna i kärntekniklagen ålägger reaktorägare att bedriva den forskning och utveckling som behövs för att omhänderta kärnavfall och använt kärnbränsle från drift och avveckling av kärnkraftsreaktorer. Omfattningen av reaktorinnehavarnas skyldigheter är alltså i praktisk omsättning begränsat till radioaktivt avfall från de verksamheter som bedrivs av reaktorägarna på respektive förläggningsplats och de verksamheter som bedrivs av SKB. Reaktorägarnas skyldigheter omfattar i formell mening därmed inte kärnavfall från övrig kärnteknisk verksamhet och inte heller radioaktivt avfall från icke kärnteknisk verksamhet.

SSM konstaterar samtidigt att reaktorägarna i praktiken, genom SKB och baserat på civilrättsliga avtal, åtagit sig att slutförvara även övrigt kärnavfall och radioaktivt avfall från icke kärnteknisk verksamhet i de slutförvarsanläggningar som etablerats för omhändertagandet av kärnkraftens drift- och rivningsavfall. I Fud-programmet redovisas att sådant avfall redan har deponerats i slutförvaret för kortlivat avfall, SFR, liksom planer som omfattar ett motsvarande förfarande för det planerade slutförvaret för långlivat avfall.

SSM:s granskning och utvärdering av Fud-program 2022 tar avstamp i vad som är föreskrivet i 10-12 §§ i kärntekniklagen. SSM:s granskning och utvärdering avser alltså redovisning av forskning och utveckling avseende avveckling, nedmontering och rivning samt hantering och slutförvaring av kärnkraftens avfall. Slutförvaring av kärnavfall från andra avfallsproducenter än kärnkraftverken samt icke kärnkraftsanknutet avfall i de anläggningar som etableras för slutförvaring av kärnavfall, behöver beaktas i de säkerhetsanalyser och underlag i övrigt som redovisas i en ansökan om tillstånd för uppförande, innehav, och drift enligt 5 § kärntekniklagen, och vid regeringens prövning av en sådan ansökan. En formell ansökan om tillstånd för en slutförvarsanläggning enligt kärntekniklagen behöver baseras på det faktiska avfallsinventarium som planeras för att slutförvaras i anläggningen, oavsett dess ursprung.

SSM noterar i anslutning till detta att regelverket som ligger till grund för omhändertagande av icke-kärnkraftsanknutet avfall liksom kärnavfall från andra verksamheter än från drift och avveckling av kärnkraftverken inte omfattar motsvarande krav på forskning och utveckling för att åstadkomma detta.

1.3 SSM:s beredning av ärendet

SKB lämnade den 29 september 2022 till SSM Fud-program 2022, program för forskning, utveckling och demonstration av metoder för hantering och slutförvaring av kärnavfall.

Utgångspunkter för granskningen har varit tillämpliga krav i kärntekniklagen och kärnteknikförordningen, regeringens beslut över Fud-program 2019, SSM:s synpunkter på tidigare Fud-program samt SSM:s erfarenheter av tillsyn och prövning av berörda verksamheter.

För att inhämta synpunkter som är av betydelse för myndighetens granskning och utvärdering av Fud-program 2022 har SSM gått ut med en riktad inbjudan till ett 50-tal remissinstanser om att lämna synpunkter på programmet. Av dessa har 22 remissinstanser inkommit med svar varav 6 har avstått från att lämna synpunkter på programmet. SSM har i granskningen av Fud-program 2022 beaktat de remissvar som inkommit och refererar i



denna rapport till de remissynpunkter som ansetts tillföra relevant information. SSM har därutöver sammanställt samtliga inkomna remissynpunkter i en särskild bilaga som bifogas SSM:s yttrande till regeringen.

1.4 Granskningsrapportens struktur

SSM:s granskningsrapport följer till del den övergripande strukturen i Fud-program 2022, men avviker i vissa avseenden. För att förenkla för läsaren och underlätta förståelsen för sammanhanget har SSM valt att redovisa integrerade bedömningar utifrån granskning och utvärdering av genomförandeplaner för programmets olika delar i del I i Fud-programmet med bedömningar utifrån granskning och utvärdering av den mer detaljerade, sak-inriktade, redovisningen för programmets olika delar i del II.

Redovisningen är i tillämplig omfattning strukturerad enligt underrubriker i SKB:s redovisning, remissinstansernas synpunkter och SSM:s bedömning.

Kapitel 2 innehåller SSM:s övergripande synpunkter på Fud-program 2022 och utgör en inledning till myndighetens mer detaljerade bedömningar och synpunkter som redovisas i efterföljande kapitel.

Kapitel 3 innehåller myndighetens bedömningar av SKB:s övergripande verksamhet och handlingsplan, för att utveckla och implementera de verksamheter som behövs för omhändertagande och slutförvaring av kärnkraftsprogrammet restprodukter. Kapitlet innehåller också myndighetens bedömningar av SKB:s redovisning avseende bevarande av kunskap och information och redovisning av andra metoder för slutförvaring av använt bränsle.

I kapitel 4 redovisas myndighetens övergripande bedömningar av SKB:s redovisning avseende genomförandeplaner för omhändertagande och slutförvaring av låg- och medelaktivt avfall.

Kapitel 5 innehåller myndighetens samlade bedömningar av SKB:s redovisning av slutförvaret för långlivat avfall (SFL) och i kapitel 6 redovisas myndighetens bedömningar av SKB:s fördjupade redovisning avseende det låg- och medelaktiva avfallet.

I kapitel 7 redovisas myndighetens samlade bedömningar av SKB:s redovisning avseende omhändertagande och slutförvaring av använt kärnbränsle.

Kapitel 8 innehåller myndighetens bedömningar av SKB:s redovisning av transport-systemet och i kapitel 9 redovisas myndighetens bedömningar av SKB:s redovisning kopplat till kärnämneskontroll.

Kapitel 10 innehåller myndighetens bedömningar av SKB:s redovisning avseende den slutförvarsövergripande forskning och teknikutveckling som behövs för att lösa förvarens utformnings- och konstruktionsfrågor, samt den forskning som behövs för att genomföra analys av förvarens säkerhet efter förslutning.

I kapitel 11 redovisas avslutningsvis myndighetens bedömningar av SKB:s redovisning avseende avveckling av kärntekniska anläggningar.

2 Övergripande synpunkter på Fud-program 2022

2.1 Struktur och innehåll i SKB:s redovisning

SKB:s redovisning

Fud-program 2022 är indelat i tre delar: del I Verksamhet och handlingsplan, del II Avfall och slutförvaring, och del III Avveckling av kärntekniska anläggningar.

I del I redogör SKB bl.a. för den utveckling som skett sedan redovisningen av Fud-program 2019. SKB lyfter fram följande milstolpar som särskilt viktiga:

- Att statens ansvar för ett slutligt förslutet geologiskt slutförvar och det avfall som finns i anläggningen tydliggjordes i en lagändring som trädde i kraft i november 2020.
- Att regeringen i december 2021 beslutade om tillåtlighet enligt miljöbalken och tillstånd enligt kärntekniklagen för utbyggnaden av SFR.
- Att regeringen i augusti 2021 beslutade om tillåtlighet enligt miljöbalken och tillstånd enligt kärntekniklagen att öka mängden kärnbränsle för mellanlagring i Clab.
- Att regeringen i januari 2022 beslutade om tillåtlighet enligt miljöbalken och tillstånd enligt kärntekniklagen för inkapslingsanläggningen och Kärnbränsleförvaret.

Därefter följer redovisning av SKB:s verksamhet och handlingsplan för att ta hand om och slutförvara radioaktivt avfall och använt kärnbränsle från driften och avvecklingen av de svenska kärnkraftsreaktorerna. Dessutom redovisas en översikt av handlingsalternativ vid eventuella framtida förändrade förutsättningar. Utgående från handlingsplanen motiveras och sammanfattas de planerade insatserna inom forskning och teknikutveckling som behövs för att genomföra de återstående delarna av systemet och för att avveckla kärnkraftsreaktorerna och andra kärntekniska anläggningar. Där beskrivs också det systematiska arbetssätt som SKB har utvecklat för att genomföra den forskning, utveckling och demonstration som behövs för att kunna realisera planen och ta hand om radioaktivt avfall och använt kärnbränsle på ett säkert och kostnadseffektivt sätt. Här redovisar SKB också information om bevarande av information och kunskap över generationer liksom SKB:s planer för att fortsätta att bevaka utvecklingen av andra metoder för slutförvaring av använt kärnbränsle.

I del II beskrivs planerade forsknings- och teknikutvecklingsinsatser under kommande Fud-period. Fokus ligger på de frågor som SKB identifierat som prioriterade för den fortsatta hanteringen och slutförvaringen av radioaktivt avfall respektive använt kärnbränsle. Beskrivningen av planerade insatser presenteras för det låg- och medelaktiva avfallet, det använda kärnbränslet och slutförvarssystemens olika delar, vilket innebär att forskningen och teknikutvecklingen beskrivs integrerat för de tre slutförvarerna. Nulägesbeskrivningen av kunskapsläget redovisas översiktligt och hänvisar till mer detaljerad resultatredovisning i underlagsrapporter.

I del III presenteras planeringen för avvecklingen av kärnkraftsreaktorerna och SKB:s anläggningar liksom de beroenden och den flexibilitet som finns i systemet samt planering för fortsatt utvecklingsarbete.

SSM:s bedömning

SSM konstaterar att SKB i redovisningen av Fud-program 2022 bibehållit den struktur och indelning som använts och utvecklats sedan Fud-program 2016, med hänsyn till de övriga

villkor som regeringen ställt, och med avseende på de övriga synpunkter som SSM och Kärnavfallsrådet fört fram i sina respektive yttranden över Fud-program 2019.

SSM bedömer att redovisningen i Fud-program 2022 är tydlig och väl strukturerad samt klargör hur forsknings- och utvecklingsåtgärder planeras, motiveras och utvärderas. Redovisningen av hur framtida aktiviteter relaterar till olika milstolpar i den stegvisa process för uppförande och driftsättning av en kärnteknisk anläggning bedöms som särskilt värdefull med avseende på utomståendes förståelse dels för projektets genomförande i ett övergripande och längre perspektiv, dels för kopplingar till den konkreta tillsyn av uppfyllande av tillstånds- och föreskriftskrav som kommer att bedrivas inom ramen för SSM:s tillsyn av verksamheter som bedrivs under ett tillstånd. SSM bedömer att redovisningen i det avseendet bidrar till att uppfylla regeringens villkor om hur Fud-programmet bättre kan bidra till öppenhet och insyn i hur arbetet med forskning, utveckling och demonstration av metoder för hantering och slutförvaring av kärnavfall bedrivs.

SSM bedömer avslutningsvis att reaktorinnehavarna och SKB i allt väsentligt och i erforderlig omfattning har beaktat övriga påpekanden från såväl Strålsäkerhetsmyndigheten och Kärnavfallsrådet som andra instanser.

2.2 Remissinstanserna allmänna synpunkter

I detta avsnitt redogörs för remissinstansernas mer allmänna synpunkter på Fud-program 2022. Mer tekniska och detaljerade synpunkter redovisas i anslutning till respektive avsnitt i rapporten i anslutning till SSM:s bedömningar.

Östhammars kommun anser att Fud-programmet är en värdefull del av det svenska kärnkraftsprogrammet samt en viktig del i arbetet med öppenhet och insyn. Kommunen noterar att den under åren lagt ner tid och arbete på att granska Fud-programmen och varit mån om att föra fram genomtänkta synpunkter på programmets innehåll. Kommunen uppger att den i och med att kommunens möjlighet till ersättning från Kärnavfallsfonden för arbete med Fud-programmet upphörde 2019 inte längre har möjlighet att lägga lika mycket tid och arbete på granskning och beredning av yttranden. Kommunen understryker att den hoppas att de ändringar som föreslagits i promemorian ”Långsiktig finansiering av kommuners och ideella föreningars medverkan i frågor om slutförvar” antas så att det därmed åter blir möjligt för kommunen att göra en mer omfattande granskning av kommande Fud-program.

Vetenskapsrådet noterar att forskningsinfrastrukturen European Spallation Source (ESS) är en ny producent av radioaktivt avfall som inte omnämns i Fud-program 2022.

Uppsala universitet anser att det, med tanke på att Kärnavfallsrådet läggs ned, är det mycket viktigt att SKB:s Fud-program inte alltför ensidigt fokuserar på de tekniska dimensionerna av slutförvaret, även om de naturligtvis är av central betydelse. Tekniken utvecklas och tillämpas av människor, och beslut och förankring är beroende av komplexa sociala strukturer. Enligt universitetet är det därför välkommet att Fud-programmet adresserar frågor som kunskapsförsörjning, bevarande och förmedling av kunskap under projektets långa genomförandeperiod, liksom frågor om hur information om slutförvaret ska kunna bevaras och förmedlas på lång sikt, dvs. till människor långt in i framtiden. Likväl, om man ser på såväl utrymmet som dessa frågor ges i programmet som de resurser som satsas på forskning och utveckling inom dessa områden framgår det enligt universitetet att de naturvetenskapliga och tekniska perspektiven är dominerande. Det är därför enligt universitetet viktigt att understryka att ingen teknisk lösning kan fungera



bättre än vad den sociala, institutionella och kunskapsmässiga kontext i vilken den ska tillämpas möjliggör.

En fråga som enligt Uppsala universitet behandlas förvånansvärt kortfattat med tanke på dess betydelse, är organisationens förmåga att fortsatt bevaka, följa upp och anpassa sig till ändrade förutsättningar både vad gäller kunskap och samhällsfaktorer så som prioriteringar och värderingar. De senaste årens ökade spänningar mellan olika politiska grupperingar, internationellt såväl som i Sverige, krig i Sveriges närområde, energikris med mera visar enligt universitetet att olika typer av omvärldsfaktorer som kan påverka slutförvarsprojektets förutsättningar både på kort och längre sikt kan förändras hastigt och på oförutsebara sätt. Universitetet menar att det understryker det fundamentala behovet av en organisation som har förmåga att inte bara följa och förstå förändringar av kunskaper, värderingar och andra förutsättningar utan också har möjlighet att anpassa verksamheten så att det övergripande målet om säker förvaring av kärnavfall kan uppnås också under väldigt skilda omständigheter från de som råder idag. Det förutsätter enligt universitetet att organisationen prioriterar att bygga och upprätthålla förmågor till omvärldsanalys och reflektion över hur förändringar i omvärlden påverkar den egna verksamheten samt hur man bäst förhåller sig till dessa. Universitetet menar att sådan kunskapsinhämtning och reflektion också förutsätter långsiktiga och transparenta samarbeten med såväl den akademiska världen som civilsamhället och de lokala samhällen där SKB bedriver verksamhet.

Kävlinge kommun saknar en analys av hur kärnavfall och använt kärnbränsle från nya typer av reaktorer, till exempel från små modulära reaktorer (SMR), ska kunna inrymmas i de beslutade anläggningar som nu projekteras. Kommunstyrelsen anser att SKB bör genomföra en sådan analys under kommande Fud-period.

Miljövänner för kärnkraft (MFK) noterar att SKB:s metod KBS-3 vilar på inhämtning och kommunikation av allsidig kunskap där öppenhet är avgörande för att nå bästa möjliga resultat. MFK anser att arbetet med KBS-3 genom åren med rätta har blivit någon av en internationell referens. MFK noterar samtidigt att svensk byråkrati och lagstiftning kan utgöra hinder för metodens implementering här hemma, allt medan Finland beslutat om och börjat genomföra en metod som liknar KBS-3.

MFK har inga invändningar mot det vetenskapliga innehållet i SKB:s Fud-program 2022. Men inför framtiden anser föreningen att man kan ställa sig frågande till formuleringar som i del III på sidan 10 vilka bygger på ett slut för svensk kärnkraft i en tid när det råder öppenhet för ny kärnkraft. MFK anser att vetenskap lämpligen evolveras utan framtidshorisont. Fud-programmet bekostas via Kärnavfallsfonden helt av kärnkraftindustrin, som åtagit sig att hantera inte enbart sitt eget ”avfall” utan också liknande material från annan industri, hälso- och sjukvård m.m. Detta är, enligt MFK ett unikt stort ansvar för miljön, jämförbart med att fossilindustrin hypotetiskt skulle ta på sig ekonomiskt totalansvar för mänsklig klimatpåverkan.

Enligt MFK skulle programmet kunna kompletteras med ett rejält pedagogiskt inslag av folkupplysning som sätter rimliga proportioner på riskerna med restprodukterna. Föreningen menar att man bör betona att radioaktivitet och den därav följande joniserande strålningen är helt naturliga miljöfaktorer som funnits sedan universum bildades. Föreningen anser också att man bör sätta de stråldoser som det radioaktiva avfallet kan orsaka människor i relation till den naturliga stråldos vi får, stråldosens variation med olika platser på jorden och med aktiviteter, exempelvis flyg, som vi ägnar oss åt utan tanke på strålnings effekter.

Kungl. Vetenskapsakademien (KVA) konstaterar att Fud-program 2022 kan ses som en fortsättning och uppföljning av Fud-program 2019 liksom tidigare Fud-program, med samma struktur och i huvudsak samma identifierade frågor och teman. Programrapporten är omfattande och detaljrik och åberopar totalt 524 referenser varav endast 8 är från perioden före år 2000. Enligt KVA är det uppenbart att betydande delar av den forskning och det utvecklingsarbete som föreslogs i Fud-program 2019 har initierats eller genomförts under den efterföljande 3-årsperioden, dokumenterade genom den omfattande publiceringen under perioden. KVA anser att det även bör påpekas, vilket indirekt kan utläsas i Fud-program 2022, att det finns en betydande kunskapsbas inom de flesta centrala och angränsande forskningsområdena efter snart 50 års forskning och utvecklingsarbete, vilket ej specifikt refereras. Antalet publicerade rapporter och artiklar fram till år 2000 bör enligt KVA rimligen överstiga 1000. KVA konstaterar att KBS/SKB dessutom har delfinansierat över 100 doktorsarbeten sedan starten på 1970-talet.

Enligt KVA har två principer och förhållningssätt i forsknings- och utvecklingsarbetet konsekvent följts sedan starten, vilket KVA anser också genomsyrar de senaste Fud-programmen:

- (1) Analyser av tänkbara händelser och utvecklingar liksom risk- och konsekvensanalys ska inte baseras på antagna sannolikheter utan på detaljerad processförståelse. Det innebär förståelse av vilka konsekvenser olika antagna förutsättningar eller omständigheter leder till, och därmed en förståelse hur dessa förutsättningar kan undvikas eller elimineras ("performance assessment"-strategi).
- (2) Varje ny frågeställning eller nytt problem som uppdraget måste analyseras till dess att full förståelse och kunskap har uppnåtts. Ett exempel på detta är den omfattande satsningen på temat kopparkorrosion under olika betingelser, dokumenterad i Fud-program 2019 med totalt 93 referenser, varav 71 från 2017-19.

Enligt KVA är det naturligt att fokus successivt riktas mot aktuella och i tiden närliggande frågor, vilket för Fud-program 2022 bland annat är utbyggnad av mellanlagret Clab och inkapslingsanläggningen Clink, utformningen av slutförvaren för långlivat respektive kortlivat radioaktivt avfall, SFL och SFR, avslutning och nedläggning av Äspölaboratoriet, samt givetvis nedläggningen av kärntekniska anläggningar inom ramen för tidigare beslutad avveckling av det svenska kärnkraftsprogrammet. Den förändrade nationella strategin för energiförsörjning i landet omfattar dock även möjlig utbyggnad av ny kärnkraft vilket enligt KVA på sikt kan komma att förändra förutsättningarna för kärnavfallsprogrammet i framtiden, och också komma att präglade kommande Fud-program.

KVA anser sammanfattningsvis att Fud-program 2022 i stora delar är välstrukturerat och detaljerat. KVA anser vidare att avsnitten om pågående och planerade forsknings- och teknikutvecklingsinsatser ger en god nulägesbeskrivning som leder till logiska och välmotiverade programförslag för framtiden. Enligt KVA vilar programmet på en omfattande dokumentation.

KVA noterar dock, att ingenting nämns om alternativa strategier utöver slutförvaring av kärnavfall och kärnbränsle, men konstaterar att andra alternativ än slutförvaring är oförenliga med gällande politiska beslut och ligger utanför uppdraget till SKB. KVA noterar vidare att ej heller säkerhetsfrågor såsom risker för sabotage och krigsaktiviteter berörs, vilket enligt KVA kan ses som en ny realitet i Sveriges närområde.

Länsstyrelsen i Uppsala län avgränsar sitt yttrande till behovet av åtgärder för att minska klimatpåverkan, dvs. hur verksamheter kan anpassas och drivas för att den ska medföra så små utsläpp som möjligt av växthusgasar.



Länsstyrelsen konstaterar att Fud-program endast avhandlar klimatpåverkan som något som verksamheter ska anpassa sig till. Den ensidiga inriktningen på programmet bedöms av Länsstyrelsen vara en brist.

Länsstyrelsen konstaterar att de samlade utsläppen från hanteringen av kärnavfall kan framstå som små relativt de globala utsläppen från andra verksamheter. Enligt Länsstyrelsen minskar detta dock inte behovet av att även i dessa sammanhang utveckla lösningar för hantering av kärnavfall med låg klimatpåverkan mot bakgrund av Sveriges åtaganden för att minska utsläppen av klimatgaser.

Länsstyrelsen anser att det mot ovanstående bakgrund är motiverat att kommande Fud-program beaktar innehållet i de åtaganden som Sverige har gjort med avseende på minskade utsläpp av klimatgaser och nettonollutsläpp. Enligt Länsstyrelsens uppfattning behöver SSM i sitt kommande yttrande till regeringen lyfta fram att regeringen bör ge uttryck för klimatlagens innehåll i de villkor som brukar inkluderas i regeringens beslut gällande nästkommande Fud-program.

Länsstyrelsen i Kalmar län anser det relevant och angeläget med i Fud-program 2022 föreslagen forskning. Detta för att finna säkra och robusta barriärer som tillsammans med fortsatta kartläggningar av avfallet har som syfte att avgöra de lämpligaste metoderna för slutförvaring av avfallet.

Länsstyrelsen anser att SKB, tillsammans med elproducenterna i nästa Fud-program, utförligare beskriver och förklarar hela avfallshanteringssystemet och samtidigt ger en lägesbeskrivning utifrån forskningen. Dessutom anser Länsstyrelsen att SKB, som en grund för bättre förståelse bland den intresserade allmänheten och beslutsfattare, beskriver prognoser för olika utvecklingsscenario i en realistisk kontext.

Länsstyrelsen anser det vara av stor betydelse att forskning och kartläggning kring kärnavfallens egenskaper på kort och lång sikt genomförs i syfte att minska volymerna och på ett tidigare stadium om möjligt kunna oskadliggöra vissa avfallskategorier. Forskningsresultaten påvisar och skapar enligt Länsstyrelsen en tydligare strategi för detta som också kan medföra större marginal för framtida förändringar och krav.

Länsstyrelsen vill framhålla vikten av att forskning i anslutning till verksamheterna vid Simpevarp bibehålls. Det möjliggör enligt Länsstyrelsen en lokal förankring, flexibilitet och att ett intresse och kunskap bibehålls inom regionen.

Kungliga Tekniska Högskolans (KTH) generella omdöme är att SKB:s Fud-program 2022 är tydligt formulerat och i fas med både SKB:s verksamhet och den globala kunskapsnivån inom de berörda områdena. KTH anser att det tydliga fokus på processförståelse som genomsyrar planerad och pågående forskning i programmet är glädjande att se.

Kvalitativ Kärnavfallsinformation (KKI) anser att SKB i Fud-program 2022 genomgående har en god struktur med en tydlig redovisning av övergripande planer, prioriteringar, forskningsportfölj, ställningstaganden och aktiviteter.

Statens geotekniska institut (SGI) väljer att i sitt remissvar fokusera på bergtekniska frågor, både gällande undersökningar av berget och dess egenskaper samt bergproduktion, teknik och utveckling.

SGI anser överlag att SKB har ett välunderbyggt Fud-program, och att strukturen förtydligats jämfört med Fud-program 2019, då det tydligare framträder vilken forskning

som har bedrivits, vilka resultat som har publicerats samt vilka frågeställningar som forskningen ska fokusera på de kommande tre åren.

SIG ser positivt på SKB:s grundprincip att forskningsresultaten ska vara öppna men önskar se en större tydlighet för hur företaget kan bidra till de nationella målsättningarna gällande öppen tillgång till forskningsresultat.

3 Verksamhet och handlingsplan

3.1 Inledning

SKB:s redovisning

SKB redogör i de fem inledande kapitlen (del I) av Fud-program 2022 för bolagets verksamhet och handlingsplan.

Kapitel 1 innehåller en övergripande redogörelse för förutsättningarna för SKB:s verksamhet i form av gällande regelverk, SKB:s uppdrag, grundläggande principer i lagstiftningen och för utformningen av SKB:s slutförvar, reaktorens planerade drifttider, principerna för indelning av kärnkraftens restprodukter i avfallskategorier samt processen för tillståndsprovning för kärntekniska anläggningar. I kapitlet redogörs också kortfattat för föregående Fud-program, milstolpar och utveckling sedan Fud-program 2019 samt vald inriktning för Fud-program 2022.

Kapitel 2 innehåller en övergripande beskrivning av det svenska systemet för omhändertagande av använt kärnbränsle och låg- och medelaktivt avfall.

Kapitel 3 innehåller en övergripande redovisning av planerna för genomförandet av kärnavfallsprogrammet.

Kapitel 4 omfattar en översikt av det forsknings- och utvecklingsbehov som identifierats för att genomföra de återstående delarna av kärnavfallsprogrammet. Redovisningen i avsnitt 4.13.1 innehåller information som syftar till att besvara regeringens villkor om att Fud-program 2022 ska omfatta en redovisning avseende informationsbevarande i enlighet med Strålsäkerhetsmyndighetens och Kärnavfallsrådets rekommendationer.

Kapitel 5 beskriver det systematiska arbetssätt som SKB har utvecklat för att genomföra den forskning, utveckling och demonstration som behövs. Redovisningen kan beskrivas som information rörande hur SKB avser att genomföra de aktiviteter som redovisas i kapitel 4. Redovisningen i avsnitt 5.1 innehåller information som syftar till att besvara regeringens villkor om att Fud-program 2022 ska beakta hur Fud-programmet bättre kan bidra till öppenhet och insyn i hur arbetet med forskning, utveckling och demonstration av metoder för hantering och slutförvaring av kärnavfall bedrivs.

SSM lämnar i detta kapitel huvudsakligen synpunkter avseende strategiska överväganden och planeringsfrågor. Bedömningar utöver det kommenteras under respektive kapitel i de efterföljande delarna av granskningsrapporten.

3.2 Förutsättningar för SKB:s verksamhet

SKB:s redovisning

Kapitel 1 redogör övergripande för kärnavfallsprogrammet, det vill säga SKB:s program för omhändertagande och slutförvaring av radioaktivt avfall och använt kärnbränsle, och sätter det i ett större sammanhang.

Inledningsvis redogör SKB i avsnitt 1.1 för viktiga förutsättningar för att på ett säkert sätt ta hand om kärnavfallet och det använda kärnbränslet från de svenska kärnkraftsreaktorerna. De utgörs av gällande regelverk, grundläggande principer för genomförandet samt politiska inriktningsbeslut, reaktorernas planerade driftstider samt principerna för indelning av kärnkraftens restprodukter i olika avfallskategorier.

Av redovisningen i avsnitt 1.1.1 framgår att SKB på uppdrag av sina ägare, reaktorinnehavarna och dess ägare, svarar för hantering och slutförvaring av kärnavfallet och det använda kärnbränslet från de svenska kärnkraftreaktorerna samt att bolaget för detta ändamål äger och drivet ett transportsystem och anläggningar för avfallshantering. Av redovisningen framgår också att SKB, förutom det kärnavfall som bolaget tar emot från reaktorinnehavarna, tar emot radioaktivt avfall från sjukvård, forskning och industrier.

SKB redovisar i avsnitt 1.1.2 de grundläggande principer för ansvar och omhändertagande av radioaktivt avfall och använt kärnbränsle som följer av lagstiftningen samt de principer som ligger till grund för utformningen av SKB:s slutförvar.

Kärnkraftreaktorernas planerade drifttider är en viktig planeringsförutsättning för kärnavfallsprogrammet. I avsnitt 1.1.3 anger SKB att den planerade drifttiden för de sex reaktorer som är i drift – Forsmark 1-3, Oskarshamn 3 och Ringhals 3-4 – är 60 år. Det innebär att Forsmark 3 och Oskarshamn 3 kommer att vara i drift till 2045.

I avsnitt 1.1.4 redovisar SKB hur radioaktivt avfall använt kärnbränsle delas in i kategorier efter aktivitetsinnehåll och de radioaktiva ämnenas halveringstid. I avsnittet redogör SKB också övergripande för hur olika avfallskategorier hanteras och slutförvaras.

SKB redogör i avsnitt 1.1.5 för tillståndsprövning av kärntekniska anläggningar (slutförvar) under hela livsrytten, det vill säga från och med att ansökningar om tillstånd enligt kärntekniklagen bereds av SSM och ansökningar om tillåtlighet enligt miljöbalken bereds av mark- och miljödomstolen inför regeringens beslut om tillstånd respektive tillåtlighet ända till och med att regeringen enligt kärntekniklagen beslutar om slutlig förslutning av slutförvar.

SKB konstaterar i avsnitt 1.2 att Fud-programmets fokus har varierat genom åren beroende på var tyngdpunkten i SKB:s respektive reaktorinnehavarnas verksamhet har legat. I avsnitt 1.2.1 gör SKB en tillbakablick på den återkoppling regeringen, SSM och Kärnavfallsrådet gav efter granskning och utvärdering av innehållet i Fud-program 2019, och i avsnitt 1.2.2 redogör SKB för händelser under den senaste Fud-perioden som påverkar förutsättningarna för kärnavfallsprogrammet.

SKB anger i avsnitt 1.2.3 att redovisningen i Fud-program 2022 syftar till att svara upp mot kravet på den allsidiga forsknings- och utvecklingsverksamhet som behövs för att utveckla och implementera återstående verksamheter som anges i 12 § i kärntekniklagen, och att det innebär att programmet redovisar planerna för konkreta insatser inom forskning, teknikutveckling och demonstration för återstående verksamhet. SKB understryker att verksamheter som bedrivs inom ramen för ett givet tillstånd redovisas ur ett övergripande systemperspektiv.



SKB anger vidare i avsnitt 1.2.3 att bolaget i syfte att motivera de planer och aktiviteter som planeras redovisar innehållet i Fud-program 2022 ur ett mer strategiskt perspektiv i jämförelse med innehållet tidigare Fud-program. SKB har valt att presentera sina planer för kärnavfallsprogrammet i form av aktivitets- och milstolpeplaner för de olika anläggningarna för att fokusera på relationer mellan aktiviteter och milstolpar istället för på exakta tidpunkter då aktiviteter förväntas vara genomförda och milstolpar vara passerade.

I avsnitt 1.2.3 redogör SKB också för hur redovisningen i Fud-program förhåller sig till den redovisning som bolaget lämnar till SSM inom ramen för den stegvisa processen för godkännande av säkerhetsredovisning inför uppförande, provdrift och rutinmässig drift av kärntekniska anläggningar. SKB anger att man inom ramen för den stegvisa processen mer detaljrikt kommer att redovisa den forskning och teknikutveckling som är kopplad till en anläggning som av regeringen beviljats tillstånd enligt kärntekniklagen.

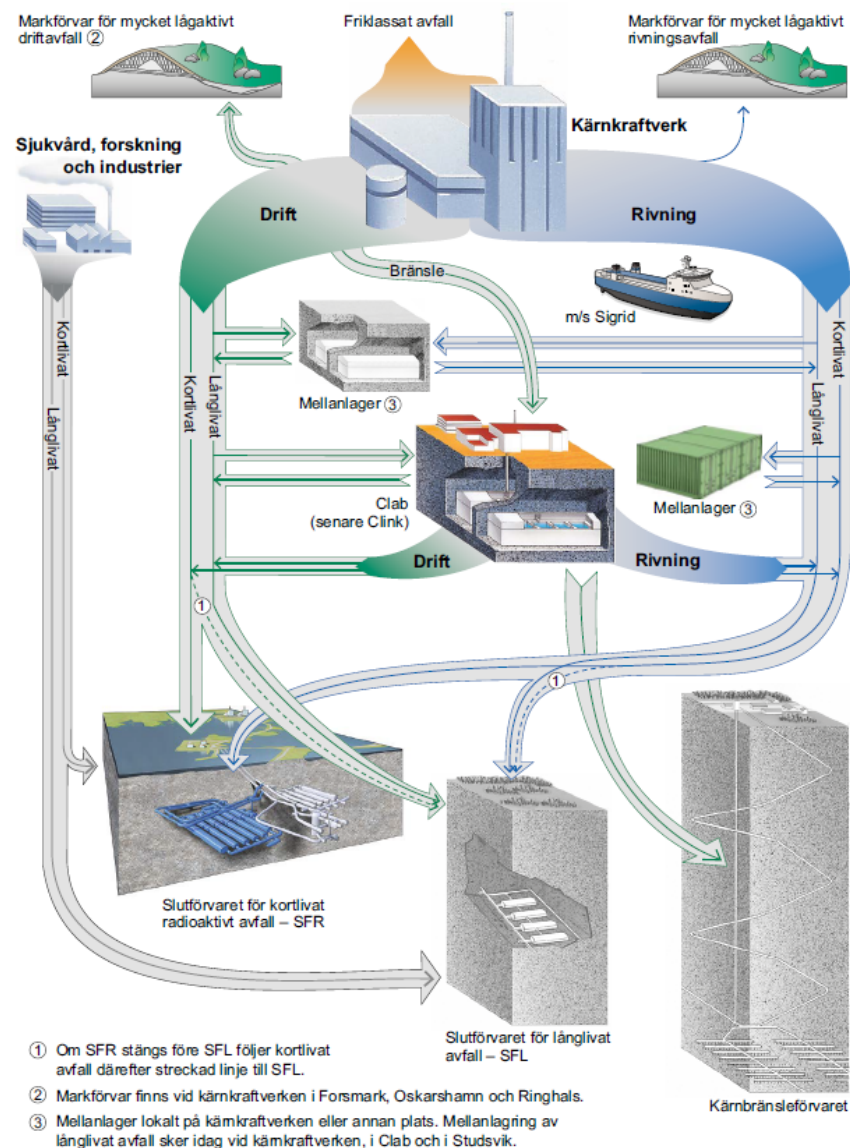
SKB redogör i avsnitt 1.3 översiktligt för principerna för beräkning av framtida kostnader och fondering av medel för kärnavfallsprogrammets genomförande.

3.3 Övergripande beskrivning av SKB:s verksamheter

3.3.1 Allmänt

SKB:s redovisning

SKB redovisar inledningsvis i kapitel 2 systemet för att ta hand om Sveriges radioaktiva avfall och använda kärnbränsle. Avfallssystemet består av tre delar; systemet för låg- och medelaktivt avfall, systemet för det använda kärnbränslet (KBS-3-systemet) och transport-systemet. Figur 1 visar nuvarande och tillkommande anläggningar inom systemen med alternativa hanteringsvägar.



Figur 2-1. Systemet för att ta hand om det radioaktiva avfall och använda kärnbränsle som uppkommer i Sverige. Helderagna linjer representerar transportflöden till befintliga eller planerade anläggningar. Streckade linjer representerar alternativa hanteringsvägar.

Figur 1: Systemet för att ta hand om radioaktivt avfall och använt kärnbränsle (SKB: Fud-program 2022).

SKB beskriver i kapitel 2 att de tre systemen är, när de färdigställts, utformade för omhändertagande av använt kärnbränsle och radioaktivt avfall från reaktorinnehavarna och SKB:s kärntekniska anläggningar.

3.3.2 Anläggningar inom systemet för låg- och medelaktivt avfall

Hantering av kortlivat avfall

SKB redogör inledningsvis för att behandlingsanläggningar för kortlivat avfall finns vid kärnkraftverken, i Studsvik och på Clab. Vid anläggningarna behandlas avfallet och förpackas så att det uppfyller krav för friklassning, deponering i SFR eller i markförvar. SKB anger att syftet med behandlingen kan vara att friklassa materialet, reducera volymen, koncentrera aktiviteten, solidifiera eller konditionera materialet.

SKB redogör också översiktligt för förutsättningarna för mellanlagring av kortlivat avfall vid anläggningar vid kärnkraftverken. Eftersom nedmontering och rivning av de första sju reaktorerna planeras starta innan SFR-utbyggnaden kan ta emot rivningsavfall har befintliga mellanlagringskapaciteter utökats.

Deponering av mycket lågaktivt avfall

SKB redogör vidare för att avfall som innehåller mycket låg aktivitet deponeras i de befintliga markförvarerna på industriområdena vid kärnkraftverken i Forsmark, Oskarshamn och Ringhals. Av redovisningen framgår att det planeras för en utökning av kapaciteten för markförvaring vid de tre kärnkraftverken.

SSM:s bedömning avseende redovisning kopplat till genomförandeplanen för mycket lågaktivt avfall återfinns i avsnitt 4.1 i denna granskningsrapport.

Slutförvaret för kortlivat låg- och medelaktivt avfall (SFR)

SFR är lokaliserat vid Forsmarks kärnkraftverk. Förvaret är placerat under Östersjön med cirka 60 meter bergtäckning. Tillståndet för SFR omfattar endast driftavfall, för att kunna slutförvara allt tillkommande kortlivat driftavfall samt avfall från nedmontering och rivning kommer SKB att bygga ut SFR. SKB redogör i avsnitt 3.2.2 av Fud-program 2022 mer i detalj för aktivitets- och milstolpeplanen för utbyggnaden av SFR.

Hantering av långlivat avfall

SKB redogör för att det vid kärnkraftverken finns förutsättningar för segmentering av förbrukade hårdkomponenter för placering i ståltankar för lokal mellanlagring. SKB redogör vidare för att segmentering för närvarande främst görs som en del av avvecklingsprojekten. SKB redovisar också att AB SVAFO för närvarande utreder möjligheter för att hantera och slutförvara de olika avfallsfraktionerna av historiskt avfall från forskning och utveckling inom de svenska kärnforskningsprogrammen.

SKB redogör för att det långlivade avfallet mellanlagras fram till att SFL har tagits i drift. Det långlivade avfallet mellanlagras för närvarande i anslutning till kärnkraftverken, i Clab och i Studsvik. SKB redovisar att det långlivade avfall som uppkommer från avveckling av reaktorer mellanlagras vid kärnkraftverket där avfallet uppstår alternativt på annan plats och redovisar översiktligt förutsättningarna för mellanlagring vid de svenska kärnkraftverken samt vid AB SVAFO.

Slutförvaret för långlivat avfall (SFL)

SKB planerar att lämna in en ansökan för att etablera SFL och enligt planen påbörjas uppförandet av anläggningen i mitten av 2040-talet. Anläggningen, med uppskattad total lagringsvolymen om ca 16 000 kubikmeter, blir förhållandevis liten jämfört med SKB:s övriga slutförvar. SKB redogör vidare för att utvecklingen av förvaret är i ett tidigt skede och baseras på ett förvarskoncept som rymmer två förvarsdelar; en del för hårdkomponenter och segmenterade PWR-reaktortankar från kärnkraftverken (BHK) och en del för historiskt avfall (BHA).

SKB redogör i avsnitt 3.2.3 av Fud-program 2022 mer i detalj för aktivitets- och milstolpeplanen för utbyggnaden av SFR.

SSM bedömning av avseende redovisning kopplat till genomförandeplanen för kortlivat låg- och medelaktivt avfall återfinns i avsnitt 4.2 i denna granskningsrapport.

3.3.3 Anläggningar inom KBS-3-systemet för använt kärnbränsle

Centralt mellanlager för använt kärnbränsle – Clab

SKB redogör för att det centrala mellanlagret för använt kärnbränsle, Clab, är lokaliserat vid kärnkraftverket i Oskarshamn. Vid anläggningen som varit i drift sedan 1985 mellanlagras det använda kärnbränslet i vattenbassänger drygt 30 meter under markytan. I mottagningsdelen tas transportbehållarna med det använda kärnbränslet emot och lastas ur under vatten. Bränslet placeras därefter i lagringskassetter. Två typer av kassetter, normalkassetter och kompaktkassetter, används.

SKB redogör vidare för att regeringen gett SKB tillstånd enligt kärntekniklagen att öka den maximalt tillåtna mängden kärnbränsle för mellanlagring i Clab från 8 000 till 11 000 ton och enligt nuvarande prognos överskrider mängden 8 000 ton under 2024.

Central anläggning för mellanlagring och inkapsling av använt kärnbränsle – Clink

SKB redogör för att det i anslutning till Clab kommer att uppföras en ny anläggningsdel där det använda kärnbränslet kommer att kapslas in i kopparkapslar innan kapseln placeras i en kapseltransportbehållare (KTB) för att transporteras till, och deponeras i, Kärnbränsleförvaret. SKB redogör vidare för att komponenterna till kapsel och insats kommer att produceras av underleverantörer och efter leverans kommer att kontrolleras, monteras och bearbetas innan det använda bränslet kapslas in.

Kärnbränsleförvaret

SKB redogör för att Kärnbränsleförvaret kommer att uppföras i Forsmark i Östhammars kommun. SKB redogör vidare för att förvarsdjupet kommer att ligga 450-500 meter under marknivån. Undermarksdelen utgörs av ett centralområde och ett flertal deponeringsområden samt förbindelser till ovanmarksdelen i form av en ramp för fordonstransporter samt schakt för hissar och ventilation. Anläggningen ovan mark omfattas av driftområde, bergupplag och förråd.

SKB redogör för att efter att kapslarna har förts ner till deponeringsnivån via rampen med ett transportfordon lastas de om till en deponeringsmaskin, transporteras till deponeringsområdet och placeras i deponeringshålen omgivna av bentonitlera varefter deponeringstunneln fylls igen med lera som kommer att svälla vid kontakt med vatten. Slutligen försluts deponeringstunneln med en betongplugg. När allt bränsle har deponerats fylls även övriga utrymmen igen och anläggningarna ovan mark avvecklas.

SSM:s bedömning avseende redovisning kopplad till genomförandeplanen för använt kärnbränsle återfinns i avsnitt 7.1 i denna granskningsrapport.

3.3.4 Transportsystemet

SKB:s redovisning

SKB redogör i avsnitt 2.3 övergripande för transportsystemet och de olika huvudkomponenterna som systemet består av. Dessa komponenter är hamnar, ett fartyg, ett antal olika transportbehållare för radioaktivt material (kärnbränsle, kärnavfall och radioaktivt avfall) samt terminalfordon för kortare landtransporter. SKB redogör vidare för de olika transportbehållarna som ingår, deras användning med hänsyn taget till vilken typen av radioaktivt material som transporteras och slutligen behovet av att underhålla och utveckla de befintliga transportbehållarna för att kunna transportera fler typer av radioaktivt avfall. För att tillgodose behovet av framtida transporter av nya avfallsposter, t.ex. inkapslat kärnbränsle från Clink till Kärnbränsleförvaret, måste nya transportbehållare utvecklas. SKB uppger också att transportsystemet är gemensamt för systemet för omhändertagande av det låg- och medelaktiva avfallet och KBS-3-systemet.

SSM:s bedömning avseende redovisning kopplad till transportsystemet återfinns i kapitel 8 i denna granskningsrapport.

3.3.5 Kärnämneskontroll

SKB:s redovisning

I avsnitt 2.4 redovisar SKB en övergripande sammanfattning av kärnämneskontrollen. Mer detaljerad information gällande pågående och planerat arbete inom området kärnämneskontroll för använt kärnbränsle i inkapslingsanläggningen och kärnbränsleförvaret finns i avsnitt 7.6, samt viss information om projekt med bäring på kärnämneskontrollen finns i avsnitt 7.2. och 7.3. I avsnitt 4.3.2 beskrivs utvecklingen som genomförts för metoder för märkning och identifiering av kopparkapslar.

SKB beskriver att aspekterna för kärnämneskontroll ska beaktas redan i konstruktionskedet för nya kärntekniska anläggningar, och att det är viktigt att tekniska utformningen i anläggningarna och transportsystemet görs parallellt med utvecklingen av principer och metoder för kärnämneskontroll, så att anläggning och transportsystem anpassas för en säker och effektiv kärnämneskontroll under driftskedet. Utvecklingen av kärnämneskontroll är ett område där SKB:s utveckling sker i nära samarbete med internationella organ.

SSM:s bedömning avseende redovisning kopplad till kärnämneskontroll återfinns i kapitel 9 i denna granskningsrapport.

3.4 Plan för genomförandet

SKB:s redovisning

SKB redovisar i inledningen till kapitel 3 planeringen för att uppföra och ta i drift nya och utbyggda anläggningar samt handlingsplaner avseende avveckling av de kärntekniska anläggningar som ingår i kärnkraftsprogrammet. Kapitlet avslutas med en redovisning av handlingsalternativ och åtgärder för att hantera förändrade planeringsförutsättningar.

SKB beskriver översiktligt utgångspunkterna för verksamhetens långsiktiga planering och att SKB:s anläggningar i drift har högsta prioritet vid eventuella resurskonflikter. Av beskrivningen framgår att Fud-program 2022 utgår från regeringsbesluten för utökad mellanlagringskapacitet i Clab, utbyggnaden av SFR samt KBS-3-systemet.

SKB anger att bolaget utifrån beskrivna förutsättningar har antagit nedanstående övergripande strategiska inriktning för planeringen:

- Ansökan om tillstånd för utökad mellanlagring i Clab, upp till 11 000 ton prioriteras före KBS-3-systemet och SFR-utbyggnaden.
- Utbyggnaden av SFR prioriteras före KBS-3-systemet.

SKB anger vidare att det fortsatta arbetet med SFL har fått lägre prioritet vilket innebär att byggstarten flyttas fram.

SKB redovisar i avsnitt 3.1 den övergripande aktivitets- och milstolpeplanen för kärnavfallsprogrammet. Figur 3-1, på sidan 41 i Fud-program 2022, återges i denna granskningsrapport som figur 2 nedan.



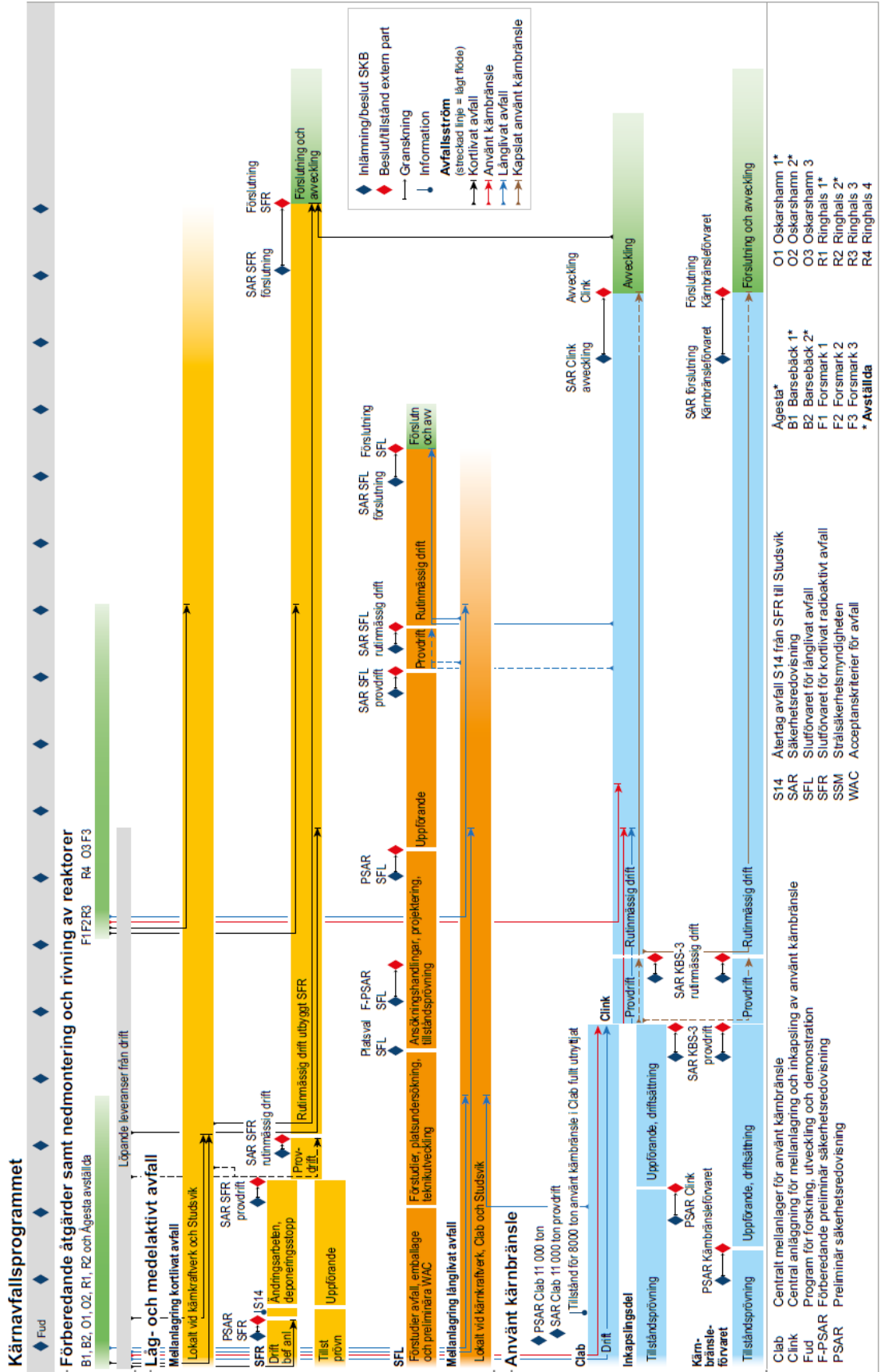
SSM kommenterar den mer detaljerade genomförandeplanerna för låg- och medelaktivt avfall som redovisas i avsnitt 3.2 i Fud-program 2022 som en del av SSM:s samlade synpunkter på SKB:s redovisning av omhändertagande av låg- och medelaktivt avfall i avsnitt 4.2 i denna rapport.

SSM kommenterar den mer detaljerade genomförandeplanen för använt kärnbränsle som redovisas i avsnitt 3.3 i Fud-program 2022 som en del av SSM:s samlade synpunkter på SKB:s redovisning av omhändertagande av använt kärnbränsle i kapitel 7 i denna rapport.

SSM kommenterar genomförandeplanen för mycket lågaktivt avfall som redovisas i avsnitt 3.4 i Fud-program 2022 som en del av SSM:s samlade synpunkter på SKB:s redovisning av omhändertagande av låg- och medelaktivt avfall i avsnitt 4.1 i denna rapport

SKB presenterar i avsnitt 3.5 översiktligt genomförandeplan för avveckling av kärntekniska anläggningar. SSM bedömer redovisningen i avsnittet tillsammans med den samlade bedömningen av avveckling av kärntekniska anläggningar som redovisas i del III i Fud-program 2022. SSM:s bedömningar återfinns i kapitel 11 i föreliggande rapport.

SSM:s bedömning avseende SKB:s redovisning av genomförandeplanen för transportverksamheten, vilken SKB översiktligt presenterar i avsnitt 3.6 i Fud-program 2022, redovisas i kapitel 8 i denna granskningsrapport.



Figur 2: Övergripande aktivitets- och milstolpeplan för SKB:s kärnavfallsprogram (SKB: Fud-program 2022).

3.5 Handlingsalternativ vid förändrade förutsättningar

SKB:s redovisning

SKB redogör i avsnitt 3.7 för programmets flexibilitet vid förändrade förutsättningar. SKB:s och reaktorinnehavarnas planering för omhändertagande av avfallet baseras på de förutsättningar och antaganden som idag gäller för kärnkrafts- och kärnavfallsprogrammen. SKB anger att planeringen omfattar osäkerheter av olika slag men att verksamheten medger en förhållandevis stor flexibilitet.

SKB:s redovisning i avsnitt 3.7.1 omfattar såväl förlängning som förkortning av planerade driftstider för de sex reaktorer som är i drift. SKB för ett resonemang kring effekter i form av ändrade tidsplaner för inlagring av använt kärnbränsle i Clab. SKB beskriver också hur tidigarelagd respektive senarelagd rivning av reaktorerna på ett övergripande plan påverkar planeringen för slutförvaren för avfallet, det vill säga SFR och SFL.

SKB resonerar i avsnitt 3.7.2 – 3.7.4 kring effekterna av en tidigarelagd eller senarelagd idrifttagning av slutförvarsanläggningarna för det låg- och medelaktiva avfallet, framför allt med koppling till behov av mellanlagring av avfallet. Situationen är annorlunda för det lågaktiva avfallet som utgör större volymer men som också kan hanteras på fler sätt. Utöver deponering i SFR så kan visst avfall slutförvaras i markförvar på förläggingsplatserna eller friklassas och hanteras som konventionellt avfall. SKB redovisar i ett särskilt avsnitt resonemang kring alternativ för hantering av mycket lågaktiva rivningsavfall.

SKB resonerar i avsnitt 3.7.5 kring effekter av senareläggning respektive tidigareläggning för idrifttagande av Kärnbränsleförvaret och Clink och för de åtgärder som kan vidtas för att hantera ett behov av ytterligare mellanlagringskapacitet. Åtgärder som redovisas är att sluthärdar lagras i kraftverkens bassänger och att hårdkomponenter flyttas från Clab till lokala mellanlager. Om det blir nödvändigt kan Clab byggas ut med ytterligare ett bergtrum med förvaringsbassänger. Alternativt kan torrlagring av använt kärnbränsle bli aktuellt.

Remissinstansernas synpunkter

Östhammars kommun noterar att SKB i avsnitt 3.7.1 skriver ”Skulle reaktorernas drifttid förlängas, ytterligare bedöms kapaciteten i Kärnbränsleförvaret kunna ökas och drifttiden förlängas, efter vederbörlig tillståndsprövsprocess, genom att utnyttjade områden på det valda förvarsdjupet tas i anspråk”. Kommunen påminner om att den genom hela prövningen har varit tydlig med att den förutsätter att den maximala volymen använt kärnbränsle som ska slutförvaras i anläggningen är de cirka 12 000 ton som angetts i ansökan, vilket utgjorde en viktig grund för kommunfullmäktiges tillstyrkan av verksamheten. Kommunen understryker att om det i framtiden blir aktuellt att pröva en utökning av slutförvaret så är det kommunens uppfattning att det skulle innebära en sådan större ändring av verksamheten att det krävs en förnyad tillåtlighetsprövning.

3.6 Fortsatt forskning och utveckling

SKB:s redovisning

Kapitel 4 i Fud-program 2022 innehåller en översikt av de forsknings- och utvecklingsbehov som SKB identifierat för att utveckla, etablera och genomföra återstående delar av kärnavfallsprogrammet enligt genomförandeplanen i kapitel 3. Redovisningen i kapitel 4 utgör i den meningen en översiktlig introduktion till mer detaljerade redovisningar för respektive fokusområde som redogörs för i kapitel 6 till 13. SKB påpekar att behovet av specifika forsknings- och teknikutvecklingsinsatser för det mycket lågaktiva kärnavfallet är begränsade.

I avsnitt 4.1 beskrivs på principiell nivå grunderna för planeringen av framtida forsknings- och teknikutvecklingsinsatser, med koppling till den stegvisa beslutsprocess för godkännande av säkerhetsredovisningar inför uppförande, provdrift och rutinmässig drift som beskrivs i avsnitt 1.1.5 och enligt redovisningen i SKB:s övergripande aktivitets- och milstolpeplan i avsnitt 3.1. SKB motiverar ansatsen med att det är naturligt att milstolpar kopplade till inlämnande av ansökningar blir styrande för planeringen av forsknings- och utvecklingsinsatser eftersom de styr när olika frågor ska vara lösta och när redovisning ska ske av aktuellt kunskapsläge och av de tekniska lösningar som är tänkta att användas. SKB anger vidare att milstolpar som är kopplade till beslutsstegen i form av ansökningar styr när kunskap och utveckling av teknik behöver ha nått en viss nivå.

SKB anger att programmet för framtida forsknings- och utvecklingsinsatser har delats in i tre huvudsakliga grupper:

- Behov av ökad processförståelse, det vill säga den vetenskapliga förståelsen för processer som påverkar slutförvarssystemet och därmed grunden för att bedöma deras betydelse för säkerheten efter förslutning.
- Behov av kunskap och kompetens kring utformning, konstruktion, tillverkning och installation av de komponenter som ska användas i anläggningarna.
- Behov av kunskap och kompetens kring kontroll och provning för att verifiera att systemets barriärer och komponenter produceras och installeras enligt godkända specifikationer och därmed uppfyller kraven. Här ingår även utveckling av metoder och instrument för kontroll av slutförvaret och förvarsplatsen.

SKB anger också att det dessutom behövs mer kunskap om inventariet av radionuklider i det låg- och medelaktiva avfallet, om egenskaperna hos det använda kärnbränslet och om utveckling av teknik för hantering av både avfall och använt kärnbränsle.

I avsnitt 4.1 ges en översikt av de milstolpar som är relevanta för respektive förvar och Clink samt kunskapsläget som erfordras och hur långt teknikutvecklingen ska ha nått vid respektive milstolpe. SSM:s bedömningar av redovisningen i dessa avsnitt ingår som en integrerad del av SSM:s samlade bedömning av redovisningen av omhändertagandet av låg- och medelaktivt avfall i kapitel 6 och SSM:s samlade bedömning av redovisningen av omhändertagandet av använt kärnbränsle i kapitel 7.

Därefter beskrivs i avsnitt 4.2 till 4.9 den forskning och teknikutveckling som behövs för att lösa förvarens utformnings- och konstruktionsfrågor, samt den forskning som behövs för att genomföra analys av förvarens säkerhet efter förslutning. SSM bedömer redovisningen i avsnitt 4.2 (låg- och medelaktivt avfall), 4.3 (använt kärnbränsle), 4.4 (kapsel) 4.5 (cementbaserade material), 4.6 (lerbarriärer och förslutning), 4.7 (berg), 4.8 (ytteko-system), 4.9 (klimat och klimatrelaterade processer) som integrerade delar av SSM:s samlade bedömningar för respektive område som redovisas i kapitel 6 till 13 i Fud-program 2022. SSM:s bedömningar återfinns i kapitel 6-10 i denna rapport.

I avsnitt 4.10 redovisas planerna för att under Fud-perioden avsluta de långtidsförsök som fortfarande pågår i Äspölaboratoriets undermarksdel (Berglaboratoriet). SSM bedömningar avseende detta avsnitt återfinns i avsnitt 3.8 i denna rapport.

Avsnitt 4.11 innehåller redovisning av övervakning under uppförande och drift av slutförvar vilket SSM bedömer i avsnitt 3.11 i föreliggande rapport.

I avsnitt 4.12 ges en översikt av teknikutvecklingsbehoven utifrån avvecklingen av kärntekniska anläggningar. SSM bedömer redovisningen i avsnittet tillsammans med samlade

bedömning av den mer detaljerade redovisningen för avveckling av kärntekniska anläggningar som redovisas i del III i Fud-program 2022. SSM:s bedömningar återfinns i kapitel 11 i denna rapport.

I avsnitt 4.13 redogörs för övriga områden som är relevanta för SKB:s uppdrag, dels avsnitt 4.13.1 avseende bevarande av information och kunskap över generationer, dels avsnitt 4.13.2 om andra metoder för slutförvaring av använt bränsle. SSM:s bedömningar avseende dessa avsnitt återfinns i avsnitt 3.9 respektive 3.10 i denna rapport.

3.7 SKB:s styrning och ledning av verksamheten

SKB:s redovisning

I kapitel 5 redogör SKB för det systematiska arbetssätt som bolaget tillämpar för genomförandet av den forskning, utveckling och demonstration som behövs för att kunna uppföra och ta i drift de anläggningar som under den senaste Fud-perioden av regeringen beviljats tillstånd enligt 5 § kärntekniklagen.

Kapitlet fokuserar på den iterativa processen att utveckla, implementera och utvärdera slutförvar för radioaktivt avfall och använt kärnbränsle, vilket innefattar forskning och teknikutveckling samt utvärdering av säkerhet under drift och efter förslutning.

SKB understryker att beskrivningen inte täcker in det arbetssätt som bolaget tillämpar för anläggningar i drift och som regleras av SSM:s föreskrifter.

3.7.1 Fud-programmets roll för öppenhet och insyn

SKB:s redovisning

I avsnitt 5.1 beskriver SKB hur Fud-programmet har medverkat till öppenhet och insyn i forsknings- och utvecklingsfrågor för de avfallssystem som bolaget på reaktorinnehavarnas uppdrag ansvarar för att implementera.

SKB redogör för sin syn på hur förutsättningarna för Fud-processen har förändrats sedan kärntekniklagen tillkom 1984. SKB skriver att man haft ambitionen att undvika dubbel redovisning och att inte föregripa yttranden över ansökningar i de Fud-program som presenterats medan tillståndsprövningarna för KBS-3-systemet och SFR-utbyggnaden pågått. SKB skriver vidare att det är bolagets uppfattning att fokus flyttas och att omfattningen av redovisningen i Fud-programmet minskar när planerade anläggningar övergår till tillståndsgivna anläggningar under tillsyn av SSM.

SKB skriver att man i Fud-program 2022 valt att presentera ett mer systemövergripande perspektiv för att tydliggöra relationer mellan olika aktiviteter och milstolpar för de olika anläggningarna i kärnavfallssystemet samt också för att tydliggöra hur behov av fortsatt forskning och utveckling relateras till kommande milstolpar. SKB redogör vidare för den process som följer efter inlämnandet av Fud-programmet. I processen ingår bl.a. att presentera programmets innehåll för deltagarna i SSM:s remiss, dialog med företrädare för berörda kommuner samt information till allmänhet och intresserade i dessa kommuner.

I avsnittet redovisas också de aktiviteter som bolaget genomför för att sprida resultat från forskning, teknikutveckling och demonstration inom vetenskapsvärlden.

SSM:s bedömning

SSM delar SKB:s uppfattning att regeringens beslut att bevilja tillstånd enligt 5 § kärntekniklagen för SFR-utbyggnaden, Kärnbränsleförvaret och Clink påverkar

detaljeringsgraden och därmed omfattningen av redovisningen i Fud-programmet. SSM ser därför positivt på det mer systemövergripande perspektiv som SKB valt för framställningen i Fud-program 2022.

SSM bedömer att SKB har beaktat hur Fud-programmet bättre kan bidra till öppenhet och insyn i hur arbetet med forskning, utveckling och demonstration av metoder för hantering och slutförvaring av kärnavfall bedrivs.

3.7.2 Styrning och ledning av forskning

SKB:s redovisning

SKB redogör i avsnitt 5.2 för målet för bolagets forskningsprogram och de effekter forskningsverksamheten förväntas ge.

I avsnitt 5.2.1 beskriver SKB översiktligt hur bolaget organiserar sig kring processen att fortlöpande gå igenom, följa upp och prioritera insatserna i forskningsprogrammet.

SKB beskriver i avsnitt 5.2.2 att forskningsprogrammet i hög grad drivs av behovet att analysera förvarens säkerhet efter förslutning. SKB skriver vidare att fokus i arbetet flyttas från forskning och principlösningar till teknikutveckling av kvalitetsstyrda industrialiserad system då uppförandet av nya anläggningar påbörjas. Forskningsinsatser och säkerhetsvärderingar kommer emellertid att behövas vid till exempel framtagandet av konstruktionsförutsättningar och för att verifiera att framtagna tekniska lösningar uppfyller dessa.

SKB ger exempel på ursprunget till nya frågor som kan komma att kräva forskningsinsatser. Avslutningsvis redogör SKB för hur man bedriver kunskapsbevakning av områden som kan ha framtida betydelse för det svenska kärnavfallsprogrammet.

I avsnitt 5.2.3 skriver SKB att forskningsarbetet bedrivs utifrån kravet att resultaten ska vara korrekta, spårbara, reproducerbara och relevanta för bolagets uppdrag. SKB skriver vidare att man för att uppnå detta har utvecklat och tillämpar rutiner för kvalitetssäkring av genomförande av forskningsprojekt och av säkerhetsanalyser. Grundprincipen SKB utgår ifrån är att forskningsresultat ska publiceras i öppen litteratur så att extern granskning underlättas. Avslutningsvis beskriver SKB hur bolaget arbetar för att även sprida forskningsresultat utanför vetenskapsvärlden.

Remissinstansernas synpunkter

Statens geotekniska institut (SGI) framför att öppen tillgång till forskningsresultat, och att skapa förutsättningar för vidareutnyttjande, är en del av omställningen till ett öppet vetenskapssystem som gynnar både forskningen och ett kunskapsintensivt samhälle. SGI konstaterar att SKB i avsnittet uppmärksammar att öppenhet och insyn är viktiga frågor i ett forsknings- och utvecklingssammanhang. SGI konstaterar vidare att enligt Fud-program 2022 är grundprincipen att SKB:s forskningsresultat ska vara öppna. SGI ser positivt på detta, men konstaterar att frågor som rör öppenhet till publikationer och data endast behandlas mycket översiktligt i Fud-programmet.

SGI anser att en så viktig forskningsaktör som SKB bör tydliggöra i Fud-programmet på vilket sätt man kan vara en aktiv part i omställningen till ett öppet vetenskapssystem. SGI vill därför rekommendera att SKB tydliggör hur företaget kommer att arbeta mot de nationella målsättningarna gällande öppen tillgång till forskningsresultat.

SSM:s bedömning

SSM bedömer att styrningen och genomförandet av SKB:s forskningsverksamhet är ändamålsenlig.

3.7.3 Styrning och ledning av teknikutveckling

SKB:s redovisning

SKB redogör i avsnitt 5.3 för målet med bolagets teknikutveckling samt dess omfattning.

I avsnitt 5.3.1 redogör SKB för det arbetssätt, Technology readiness levels (TRL) som bolaget använder för bedömning av teknikområdets mognadsgrad och som man använder som stöd vid planering och prioritering av utvecklingsprojekt.

SKB beskriver i avsnitt 5.3.2 hur genomförandeplaner, som syftar till att tydliggöra och motivera vilken teknikutveckling som behövs för respektive slutförvarssystem, produktionslinje och teknikområde aggregeras till en strategisk teknikutvecklingsplan som utgör underlag för styrningen bolagets teknikutveckling. Avslutningsvis redogör avsnittet för att SKB:s process för framtagning av Fud-program inkluderar en genomgång av status på utvecklings- och forskningsportföljerna.

I avsnitt 5.3.3 beskriver SKB vilka faser bolagets process för styrning av teknikutveckling delas in i samt vilka kravområden, utöver säkerhet efter förslutning, som behöver beaktas för att säkerställa en robust anläggning som är möjlig att driva effektivt.

SKB redogör i avsnitt 5.3.4 för gränssnittet mellan bolagets teknikutvecklingsprocess och dess konstruktionsstyrmodell som tillämpas vid projektering av nya anläggningar.

I avsnitt 5.3.5 beskriver SKB hur bolaget arbetar med kvalitetssäkring, styrning och kontroll det vill säga de åtgärder som behöver utföras för att säkerställa och ge tilltro till att de krav som ställs under drift och efter förslutning av slutförvarsanläggningarna och på de färdigbyggda slutförvarerna uppfylls. SKB skriver vidare att bolagets fortsatta arbete med att fastställa principer för kvalificeringsprocessen kommer att presenteras i de preliminära säkerhetsredovisningarna för Clink och Kärnbränsleförvaret samt i beskrivningarna av produktionslinjer.

Remissinstansernas synpunkter

Kvalitativ Kärnavfallsinformation anser att det är bra att SKB utgår från att det inte bara är säkerheten efter förslutning som styr hur slutförvaret behöver byggas.

SSM:s bedömning

SSM bedömer att styrningen och genomförandet av SKB:s teknikutvecklingsverksamhet är ändamålsenlig.

3.7.4 Anläggningar för forskning, utveckling och demonstration

SKB:s redovisning

I avsnitt 5.4 redogör SKB för verksamheten vid bolagets anläggningar för forskning, utveckling och demonstration.

I avsnitt 5.4.1 beskriver SKB verksamheten vid Äspölaboratoriet i Oskarshamn, med en del under mark och tre anläggningar på markytan.

Berglaboratoriet (undermarksanläggningen) har haft betydelse för utveckling av metodik för platsundersökningar, konstruktionsarbeten och undersökning av berget under pågående byggnation. Ett flertal forskningsprojekt för att undersöka förhållanden i den naturliga berggrunden, utvecklingen av försvarssystemen och de tekniska barriärerna har initierats i Äspö. Under de kommande åren kommer SKB fokusera insatserna vid Äspölaboratoriet på brytning och utvärderingar av pågående långtidsförsök samt fortsatt optimering av de



tekniska barriärerna. SKB planerar att inleda avveckling av berglaboratoriet under 2025, men bevakar fortfarande intressen för alternativa användningsändamål av bergvolymen.

Vattenkemilaboratoriet analyserar komponenter i grundvatten med fokus på säkerhet efter förslutning och kompetensen används nu för att bygga upp en liknande anläggning i Forsmark.

Materialforskningslaboratoriet undersöker lermaterialets fysikaliska och kemiska egenskaper. Här utvecklas också standardiserade test- och undersökningsmetoder för användning vid kontroll av bentonitleveranser till planerat slutförvar.

I testhallen genomförs tester av bentonitlerans egenskaper under mera kontrollerade former i jämförelse med förhållanden på det planerade förvarsdjupet. Dessa försök utgör komplement till försöken i Äspölaboratoriets undermarksanläggning.

I avsnitt 5.4.2 beskriver SKB verksamheten vid kapsellaboratoriet i Oskarshamn. Vid kapsellaboratoriet utvecklas metoder för svetsning och förslutning av kopparkapslar, samt system för oförstörande provning av dessa. Tillverkning av kapseldelar sker i externa anläggningar, medan undersökning och utvärdering sker i kapsellaboratoriet. Målet med verksamheten är att utveckla tillförlitliga processer för tillämpning i den planerade inkapslingsanläggningen.

SSM:s bedömning

SSM:s bedömer att SKB:s anläggningar för forskning, utveckling och demonstration är betydelsefulla för genomförandet av slutförvarsprogrammet.

SSM:s bedömning avseende Äspölaboratoriet avslutande redovisas i avsnitt 3.8 i denna granskningsrapport.

3.7.5 IT-arbetsverktyg

SKB:s redovisning

I avsnitt 5.5 beskriver SKB övergripande hur bolaget tillsammans med reaktorinnehavarna förvaltar och utvecklar de databaser, modell- och beräkningsverktyg samt undersökningsmetoder och instrument för platsmodellering som används i genomförandet av det forsknings-, utvecklings- och projekteringsarbete som behövs för att avveckla kärnkraftverken, och slutförvara kärnavfallet.

Databaserna SKB använder innehåller information om bland annat olika typer av radioaktivt avfall, vetenskapliga grunddata, platsundersökningsdata, analyser av experiment, kraven för slutförvaring av använt kärnbränsle etc. Databaserna uppdateras och underhålls löpande för att följa utvecklingen gällande både säkerhet och funktionalitet.

SKB använder ett stort antal modell- och beräkningsverktyg, såväl egenutvecklade som kommersiella verktyg som vid behov anpassats till SKB:s tillämpning. För att programvaror ska få användas vid genomförandet av analyserna av säkerheten efter förslutning ska det finnas dokumentation som styrker att de uppfyller bolagets kvalitetskrav. SKB underhåller och uppgraderar löpande modell- och beräkningsverktygen i takt med den allmänna utvecklingen inom IT-området. Utvecklingsarbete bedrivs såväl för att anpassa de kommersiella verktygen till säkerhetsanalysernas behov som för att vidareutveckla de egna verktygen. Modeller relevanta för SKB:s verksamhet sparas i en egenutvecklad modell-databas.



SKB:s platsbeskrivande modeller över Forsmark och Laxemar är integrerade beskrivningar av flera vetenskapsområden. För Forsmarksplatsen sker ytterligare informationsinsamling genom ett övervakningsprogram där bland annat mätning av grundvattentryck, seismik och meteorologiska data ingår. Därmed tillförs succesivt ytterligare information och i samband med eventuella förnyade säkerhetsredovisningar kommer även större uppdateringar av platsbeskrivande modeller att genomföras. Som en del av arbetet med lokaliseringen av SFL kan även uppdatering av modellen över Laxemar bli aktuell.

SKB har ledningsrutiner för upphandling, godkännande av leverantörer, innehåll i databaser och godkännande av modell- och beräkningsverktyg i syfte att säkerställa att resultat från forskning och teknikutveckling är korrekta och håller hög kvalitet. SKB presenterar fortlöpande resultat från forskning och utveckling i vetenskapliga publikationer samt i den egna rapportserien. SKB anger att sådan publicering alltid föregås av en dokumenterad granskningsprocess.

SSM:s bedömning

SSM bedömer att SKB:s arbetssätt för att utveckla, kvalitetssäkra, använda och underhålla IT-arbetsverktyg är ändamålsenlig.

SSM ser positivt på att SKB under den föregående Fud-perioden har tagit i bruk en modelldatabas.

3.7.6 Kompetens och resurser

SKB:s redovisning

I avsnitt 5.6 beskriver SKB sina kompetensbehov och de olika arbetssätt som bolaget använder sig av för att på kort och lång sikt tillgodose dessa behov. Genom att bedriva egen forskning säkerställer SKB att man har tillräcklig egen kunskap om metodiken för analys av säkerhet efter förslutning och har tillräcklig kompetens för att identifiera nya forskningsbehov och beställa forskningsinsatser. SKB:s process för kompetensförsörjning syftar till att säkerställa den kompetens som erfordras för att värdera vilken teknikutveckling som behövs och för att kunna styra den.

SKB anger att bolagets utgångspunkt är att ha egen personal med kompetens för att kunna styra och leda arbetet med forskning, utveckling och drift av system för omhändertagande av radioaktivt avfall och använt kärnbränsle. Vidare anger SKB att i det ingår att bolaget ska ha erforderlig kompetens för att upphandla och värdera de tjänster och varor som SKB beställer av externa leverantörer.

SKB:s process för kompetensförsörjning är uppbyggd enligt IAEA:s så kallade SAT-modell (Systematic approach of training). Enligt SKB medför processen att bolaget har ett systematiskt arbetssätt för att efterleva interna och externa krav för att säkerställa att tillräckligt med kompetens finns tillgänglig för att upprätthålla en hög säkerhet och nå verksamhetens mål på kort och lång sikt. SKB anger att processen för kompetensförsörjning utvecklas fortlöpande med hänsyn till framtida förutsättningar och krav.

SKB uppger att man samarbetar med Vattenfall och deltar i branschgemensamma nätverk för att förbättra och utveckla arbetssättet med kompetensanalyser samt bedriva gemensam utbildningsverksamhet.

För att tillgodose behov av fördjupad kompetens och tillgång till större personella resurser för forsknings- och utvecklingsinsatser anger SKB att bolaget anlitar externa specialister från nationella och internationella universitet och högskolor, forskningsinstitut, konsultbolag samt från SKB:s systerorganisationer i andra länder.

SKB lyfter särskilt fram samarbetet med sin finska motsvarighet, Posiva, som valt att utforma sitt slutförvar för använt kärnbränsle enligt KBS-3-metoden. Enligt SKB ger detta samarbete, förutom effektivitetsvinster, bolaget en förstärkt förmåga att genomföra forskning och utveckling samtidigt som det har betydelse för den framtida kompetensförsörjningen.

Ett aktivt deltagande i internationellt samarbete är enligt SKB en del av bolagets omvärldsbevakning, en grund för kompetensutbyte och extern granskning av den egna forskningen. SKB redovisar internationella samarbeten via projekt och arbetsgrupper inom EU, OECD/NEA och IAEA.

Avslutningsvis sammanfattar SKB sitt svar på SSM:s remiss gällande Nationell strategi för kompetensförsörjning inom strålsäkerhet. SKB menar att det är av stor vikt med en samordning på nationell nivå och att hela branschen arbetar tillsammans för att lyckas med en långsiktig kompetensförsörjning.

Remissinstansernas synpunkter

Kungl. Vetenskapsakademien (KVA) konstaterar att det finns väldigt liten kompetens och expertis nationellt att bestämma och mäta ”svärmätbara” radionuklider inom såväl universitet, myndigheter, tillståndshavare och andra privata aktörer. Detta medför enligt KVA att tillsynen vid avveckling av kärnreaktorer kan komma att bli bristfällig och att det kan vara svårt för SSM att bedöma om rivningen uppfyller lagen.

Kvalitativ Kärnavfallsinformation (KKI) konstaterar att det slås fast att SKB behöver ha egen kompetens som har betydelse för hantering och slutförvar och att det krävs egen forskning för att upprätthålla den. Det här blir enligt KKI dyrt och menar att det inte nödvändigtvis är det bästa sättet att göra det. Det finns enligt KKI andra sätt och menar att SKB borde fundera över hur man kan säkra att man långsiktigt är kompetent utan att behöva bedriva fortsatt forskning efter att systemet driftsatts och därmed erkänts som färdigutvecklat.

KKI konstaterar att den generationsväxling SKB beskriver har varit välkänd inom kärnkraftsbranschen i 20 år. Enligt KKI stämmer det att en del av de som var med från början i SKB snart inte finns kvar. Frågan är enligt KKI om detta verkligen är en utmaning och påtalar att kärnkraftverken har genomlidit samma sak. Enligt KKI är det bra att långsiktigt säkra personal med anläggningskännedom, men än viktigare är att bevara förståelsen för varför anläggningarna är utformade som de är.

SSM:s bedömning

SSM bedömer att SKB:s arbetssätt med avseende på kompetensförsörjning och kompetensutveckling är ändamålsenliga.

SSM ser positivt på SKB:s nära samarbete med Posiva då detta i flera avseenden kan förväntas ge samordningsfördelar.

3.8 Äspölaboratoriets avslutande

SKB:s redovisning

SKB redovisar sina utförda och planerade insatser för det underjordiska berglaboratoriet på Äspö samt undermarksanläggningens planerade avveckling i avsnitt 4.10 och 5.4.1.

SKB:s initiativ till att verksamheten i berglaboratoriet kan tas över av en annan aktör har pga. bristande externt intresse avslutats. SKB avser därför inleda avvecklingen av

undermarksanläggningen under 2025. Det kan dock bli aktuellt att undermarksanläggning kommer användas i andra syften, exempelvis som ett energilager. Äspös ovanmarksdelar, vattenkemilaboratoriet, materialforskningslaboratoriet, testhallen (tidigare bentonitlaboratoriet) samt kontor och förråd, planeras vara i drift efter år 2030.

Pågående långtidsförsök i undermarksanläggningen, och nya korttidsstudier, kommer brytas under den kommande Fud-perioden. SKB understryker berglaboratoriets betydelse för att öka processförståelsen rörande den tekniska och naturliga barriären samt för teknikutvecklingen och demonstrationen av föreslagna slutförvars koncepts genomförbarhet. I samband med uppförandet av de planerade slutförvaren kommer SKB genomföra demonstrationsförsök som en del i provningen och verifieringen av tänkta lösningar. För slutförvar där möjligheterna till kontroll av barriärsystemets utveckling fram till slutlig förslutning inte är genomförbar överväger SKB övervakade långtidsförsök vid representativa platser i förvaret. Sådana kan därför bli aktuella för Kärnbränsleförvaret och kan utgöra beslutsunderlag för att slutligt försluta ett geologiskt slutförvar (avsnitt 4.11).

Remissinstansernas synpunkter

Länsstyrelsen i Kalmar län framför att den forskning som bland annat sker vid Kapsellaboratoriet och vid Äspölaboratoriet är av stor betydelse för regionen. Forskningen ger enligt länsstyrelsen en medvetenhet och lokal förankring i anslutning till anläggningarna som länsstyrelsen ser kan ha en stor betydelse för kunskapen om verksamheten, utvecklingen av forskningen. Länsstyrelsen anser att frågan om möjligheter att bevara och utveckla forskningsmiljön vid Simpevarp bör lyftas till regeringen.

Kungl. Vetenskapsakademien (KVA) konstaterar att Äspölaboratoriet i många avseende är en unik anläggning som möjliggör kontrollerade in-situ studier av viktiga slutförvarsprocesser. KVA anser att det är av största vikt att pågående långtidsförsök kan fullföljas och slutföras, vilket SKB planerar. KVA anser vidare att det är förvånande att fortsatt drift av Äspölaboratoriet med annat syfte än studier av kärnavfallsförvaringsprocesser ej kan förutses eftersom intresset är svagt från andra aktörer att ta över anläggningen.

Naturskyddsföreningen, Jordens Vänner och Miljöorganisationernas kärnavfallsgranskning (föreningarna) konstaterar att kärnavfallsbolaget SKB anger att bolaget avser att avsluta försöksverksamheten i berglaboratoriet under Äspö vid Oskarshamns kärnkraftverk. Föreningarna menar att SSM bör ange att så inte får ske, utan att det finns behov av fortsatta studier av hur koppar och lera fungerar i en reell kärnbränsleförvarsmiljö. Föreningarna menar vidare att förutsättningen för att delar av sådana försök även innehåller använt kärnbränsle som strålkälla bör utredas.

Föreningarna gör bedömningen att det kommer att ta upp till 15 till 20 år innan SSM kommer att godkänna en säkerhetsanalys (SAR) för ordinarie drift av ett kärnbränsleförvar. Det betyder enligt föreningarna att det finns tid för nya långtidsförsök av den typ som LOT-försöket var ett exempel på. Fokus på denna typ av försök bör enligt föreningarna vara att med noggranna mätningar av tillgången på syrgas vid kopparytan undersöka hur kopparytan påverkas, både vad gäller hur mycket korrosion som sker, i vilken mån det sker gropfrätning och hur långt in i kopparn olika ämnen tränger.

Föreningarna anser dessutom att i det i samband med att provdrift av kärnbränsleförvaret påbörjas ett omfattande och långsiktigt försöksprogram för att undersöka hur koppar och lera fungerar i Forsmarkberget.

SSM:s bedömning

I samband med avvecklingen av Äspö bedömer SSM att det kan finnas flera värdefulla försök som kan initieras inför att undermarksanläggningen avvecklas och med tiden fylls med vatten. Försök som kan omfatta exempelvis barriärsystemets utveckling från

driftsfasen till stationära vattenfyllda förhållanden samt utveckling av in-situ övervakningsteknik och strategier för mätning och dataöverföring i förslutna områden vilket på sikt kan bli aktuellt i samband med slutlig förslutning av ett geologiskt slutförvar. SSM är medveten om att i vilken grad sådana aktiviteter kan genomföras även är beroende av i vilka syften Äspö efter sin avveckling kan komma att användas för. SSM är dock angelägen om att SKB överväger vilka fortsatta studier som är av intresse eftersom avvecklingen av Äspö även innebär en unik möjlighet till analoga, storskaliga studier av vad som kommer ske med ett geologiskt slutförvar efter verksamheten avslutats.

SSM ser positivt på SKB:s planer att genomföra långtidsförsök vid Kärnbränsleförvaret och är angelägen om att SKB tar fram program för sådana långtidsförsök. SSM bedömer, i likhet med SKB, att resultaten från sådana studier är ett viktigt framtida beslutsunderlag inför slutlig förslutning av Kärnbränsleförvaret och kan bygga allmänhetens förtroende till beslutsprocessen.

3.9 Bevarande av kunskap och information genom generationer

SKB:s redovisning

I avsnitt 4.13.1 redogör SKB för sina arbetssätt med att förvalta och bevara information och data, vilket styrs av SKB:s ledningssystem och framtagna informations- och datahanteringsplaner. SKB avser utveckla nuvarande arbetssätt med avseende på identifiering och sortering av information och data som ska bevaras efter slutlig förslutning. Vidare ska rutiner för hantering av dokumentation rörande vägval av teknik, strategier, arbetssätt vidareutvecklas inför byggstart av Kärnbränsleförvaret. Även rutinerna för hantering av fysiska prover och bildmaterial planeras att utvecklas på liknande sätt som de för dokument.

SKB:s arbete med bevarande av information och kunskap till framtida generationer omfattar Kärnbränsleförvaret, SFR och SFL, där strategier för långtidsbevarandet av information och data planeras konkretiseras under uppförandet av slutförvaren. SKB redogör för sitt internationella och nationella engagemang, där det sistnämnda inkluderar finansiellt stöd till ett tvåårigt forskningsprojekt vid Linköpings universitet som kommer avrapporteras under kommande Fud-period. Projektet omfattar utveckling av en så kallad KIF (*Key Information File*).

Remissinstansernas synpunkter

Östhammars kommun noterar att SKB i avsnitt 4.13.1 beskriver bolagets arbete med bevarande av information och kunskap genom generationer. Kommunen uppfattar att SKB tar aktiv del i det internationella arbetet med frågan och anser att det är positivt att SKB till exempel medfinansierat ett forskningsprojekt inom området. Även om kommunen delar SKB:s uppfattning att det inte är möjligt, för vare sig SKB, myndigheter eller andra delar av samhället, att idag definitivt bestämma hur man ska gå tillväga med något som ska ske så långt fram i tiden anser kommunen att det hade varit önskvärt med en tydligare planering av hur SKB ska jobba med frågan framöver. Kommunen uppfattar att avsnittet i Fud-programmet huvudsakligen är en beskrivning av vad SKB har gjort hittills.

Kävlinge kommun betonar vikten i det uppdrag som nu SKB tar på sig i avsnitt 4.13.1 avseende bevarande av information och kunskap genom generationer. Kommunen anser att särskild vikt bör läggas på internationellt samarbete inom området. Kommunen konstaterar att utmaningen delas av alla kärnkraftsländer samt att utmaningen är att hitta allmänmännsliga lösningar på att kunna kommunicera med framtida generationer. Kommunen anser att det forskningsprojekt vid Linköpings universitet som startade 2021 bör kunna utvecklas och involvera fler aktörer.



Naturvårdsverket ser det som viktigt och prioriterat att ta fram strategier för bevarande av information om slutförvarens innehåll och lokalisering. *Naturvårdsverket* anser att det är positivt att detta arbete är en del av SKB:s Fud-program 2022.

Naturvårdsverket framhåller vikten av att bevarande av information hålls aktuell och vid behov uppdateras, även efter att slutförvaret har förslutits.

Naturvårdsverket anser vidare att bevarande av information bör ske på flertalet olika sätt, exempelvis i digital och i fysisk form. *Naturvårdsverket* framhåller att även andra bevarandeformer kan bli aktuella då det inte idag går att överblicka vad som kan vara aktuellt vid tillfället för slutförvarens förslutning och tiden därefter.

Kungl. Vetenskapsakademien (KVA) anser att det är viktigt att studier av långtidsminne för samhälle/samhällen fortsätter. KVA konstaterar att det är oklart om Vinnova beslutat om bidrag till sökt projekt.

Kvalitativ Kärnavfallsinformation (KKI) anser att SKB bör värdera och argumentera för varför det är viktigt att redan nu beskriva hur informationsbevarande ska göras.

KKI ifrågasätter varför det är viktigt att redan nu beskriva hur informationsbevarande ska göras. Detta är en fråga som bör klargöras inför tillståndet att försluta förvaret och arbetet med detta bör börja i tid. Men det är enligt KKI en felprioritering att arbeta med frågan nu, 50-60 år före ansökan om förslutning.

Mer generellt saknar enligt KKI forskningen om bevarande ett tydligt syfte samt praktisk implementering. Eftersom förvaret bygger på helt passiva principer, där staten övertar ansvaret efter förslutning och där bevarandet av information inte på något sätt krediteras från en säkerhetssynpunkt bör forskningens ändamål enligt KKI förtydligas eller anpassas till verksamhetens mål - att etablera ett säkert slutförvar.

KKI påtalar att för andra slutförvar, t.ex. slutförvaret för kvicksilver, arsenik och bly vid Rönnskärsverken, ställs inga liknande krav på informationsbevarande, trots att dessa grundämnen inte är radioaktiva och därmed alltså principiellt förblir lika farliga för all framtid.

KKI menar att frågan om informationsbevarande skapar osäkerhet och en bild av att kärnavfallshantering på något sätt skulle skilja sig från annan hantering av farligt avfall över långa tider. Istället, anser KKI, borde beskrivningen om ansökan om förslutning (s. 61) beröra frågan om informationsbevarande.

Ifall frågan om informationsbevarande för olika typer av avfall har konkret bäring på säkerhets- och tillståndsaspekter bör staten enligt KKI ta ansvar för ett övergripande initiativ. SKB kan inom ramen för detta initiativ samarbeta med andra aktörer om informationsbevarande (maa s. 76), t.ex. Boliden. Det är enligt KKI inte rimligt att SKB ensamma tar ansvaret.

Naturskyddsföreningen, Jordens Vänner och Miljöorganisationernas kärnavfallsgranskning (föreningarna) upplyser om att det sedan slutet av 2010-talet har funnits ett nätverk av svenska kärnavfallsaktörer som arbetat med frågor om övervakning och att föra information om kärnavfallsförvar till framtiden. Både SSM och kärnavfallsbolaget SKB ingår i nätverket. Föreningarna påtalar att detta arbete inte nämns i avsnitt 4.13.1 om bevarande av information och kunskap genom generationer. Föreningarna menar att

nätverket kan vara en viktig del i kunskapsuppbyggnaden inom området och att SSM bör ta ledarskap för nätverket och se till att det får tillgång till resurser.

SSM:s bedömning

SSM ser positivt på SKB:s arbetssätt och hur det avses utvecklas för att underlätta valet av information och data som ska bevaras till framtida generationer efter slutlig förslutning. SKB:s redovisning klargör även arbetet med informations- och databevarandet som ska föras vidare efter förslutning organisatoriska hemvist samt den ledning och styrning av arbetet som under uppförandet av slutförvarsanläggningarna behöver vara på plats.

SSM delar SKB:s syn att ett fortsatt nationellt engagemang med övriga berörda myndigheter och kommuner såväl som samhället i övrigt är viktigt för att levandegöra frågan och skapa mervärde i berörda slutförvarskommuner. Som SKB konstaterar är data- och informationsbevarande lika viktigt för andra typer av farligt avfall och förorenade områden. SSM ser därför att hanteringen och värderingen av det radioaktiva avfallet kan ge viktiga lärdomar till beslutsfattande inom andra områden med mycket långsiktiga effekter, och därmed ge ett viktigt bidrag till vår förmåga att lösa svåra samhällsproblem.

3.10 Andra metoder för slutförvaring

SKB:s redovisning

I avsnitt 4.13.2 redogör SKB kort för området andra metoder för slutförvaring. Med anledning av det givna tillståndet för Kärnbränsleförvaret aviserar SKB att de inte avser bedriva någon egen forskning eller utveckling på området. Däremot kommer SKB framgent bevaka utvecklingen av andra metoder för slutförvaring av radioaktivt avfall. Ett relevant forskningsprogram som SKB nämner är det Svenska vetenskapliga borrhållningsprogrammet (Swedish Scientific Drilling Program, SSDP) som koordineras av Uppsala universitet. Ett program som leder till en ökad kunskap om berggrundförhållandena på stora djup.

Remissinstansernas synpunkter

Kungl. Vetenskapsakademien (KVA) anser, med hänvisning till avsnitt 4.13.2, att utvecklingen av andra metoder för slutförvaring är ett område som bör följas i Sverige för att möjliggöra jämförelser och säkerhetsanalyser, inte enbart Swedish Scientific Drilling Program. KVA konstaterar att uppämbäring (återvinning) och transmutation inte är aktuella principer för att ta hand om det svenska använda kärnbränslet, enligt politiska beslut, och därmed ej heller relevanta forskningsområden för SKB i dagsläget. Enligt KVA kan det dock synas motiverat att SKB även framledes bevakar dessa områden, utan egna forskningsinsatser. Förändringarna i världen, liksom i Sverige, rörande kärnkraftens utbyggnad eller avveckling, utveckling av nya reaktortyper och nya kärnbränslen, liksom även fusionsforskningen, bör enligt KVA följas, även om det nationella kärnenergiprogrammet efter politiska beslut föreskriver en strategi som innebär deponering av kärnavfall och utbränt kärnbränsle berggrundsförvar. En allmän erfarenhet enligt KVA är att nationella såväl som internationella politiska ställningstagande i så gott som alla frågor radikalt kan ändras med tiden, något som för närvarande är mycket påtagligt.

Kvalitativ Kärnavfallsinformation anser, med hänvisning till avsnitt 4.13.2, att det är bra att SKB inte längre undersöker andra metoder än KBS-3.

Naturskyddsföreningen, Jordens Vänner och Miljöorganisationernas kärnavfallsgranskning (föreningarna) uppmärksammar att kärnavfallsbolaget SKB i avsnittet om alternativa metoder anger att bolaget inte planerar att bedriva någon egen forskning eller utveckling om den alternativa metoden djupa borrhål. Föreningarna menar till skillnad



från bolaget att det pågår en utveckling av metoden internationellt, särskilt av bolaget "Deep Isolation" och att denna utveckling bör beskrivas i forskningsprogrammet.

SSM:s bedömning

SSM delar SKB:s uppfattning om att en omvärldsbevakning av området är tillräcklig.

3.11 Övervakning under uppförande och drift

SKB:s redovisning

I avsnitt 5.5.3 anger SKB att sedan platsundersökningarna i Forsmark avslutats pågår ett övervakningsprogram där data samlas in om bl.a. grundvattentryck, grundvattnets sammansättning, seismiska händelser, nederbörd, temperatur, utveckling av ekosystem. Seismiska händelser registreras av det svenska nationella seismiska nätverket (SNSN), som SKB under flera år delfinansierat. I avsnitt 11.3.1 uppger SKB att under kommande Fud-period driftsätts ett lokalt seismiskt nätverk med högre upplösning än SNSN. Syftet med det lokala nätverket är att mäta de ostörda seismiska förhållandena innan utbyggnaden av SFR och uppförandet av Kärnbränsleförvaret inleds.

I kommande ansökan om godkännande av säkerhetsredovisningen inför att inleda uppförandet av Kärnbränsleförvaret kommer SKB redovisa ett övervakningsprogram för uppförande och drift av slutförvaret (avsnitt 5.5.3). Övervakningsprogrammet ska beskriva lämplig övervakningsmetod och relevansen av den övervakning som avses genomföras, bl.a. med avseende på parametrars representativitet för den process som ska övervakas samt dess betydelse för säkerhet efter förslutning. Programmet avser även omfatta en kvalitativ beskrivning av barriärsystemets förväntade utveckling under uppförandet och driften av anläggningen samt åtgärder som eventuellt kan bli behövliga vid avvikelser från förväntad utveckling.

SKB anger att övervakningsprogrammet kommer ge underlag till uppdatering av den plastbeskrivande modellen och analysen av säkerhet efter förslutning, utformning och uppförande av slutförvarsanläggningen samt kontroll av den yttre miljön. Vidare kommer övervakningsprogrammet stödja antaganden gjorda i analysen av säkerhet efter förslutning, identifiera eventuella tidigare okända processer och händelser. I avsnittet som redovisar SKB:s övervakningsprogram under uppförande och drift (avsnitt 5.5.3) nämner SKB även aktiviteter som syftar till att verifiera tekniska utformningskrav samt ett alternativ till övervakning av barriärsystemets utveckling i form av in-situ försök vid representativa platser i Kärnbränsleförvaret.

Remissinstansernas synpunkter

Östhammars kommun anser att det är viktigt att det skapas goda förutsättningar för att möjliggöra bedömning av eventuell framtida miljöpåverkan. Kommunen menar att den övervakning av berget, grundvattnet och ekosystemet som gjorts i Forsmark sedan platsundersökningarna för Kärnbränsleförvaret är en viktig del av detta. Kommunen anser att det är positivt att SKB framför att denna övervakning planeras fortsätta fram till byggstart samt under uppförande och drift, se avsnitt 4.1.3. Kommunen noterar att SKB i avsnitt 4.11 kortfattat beskriver sitt planerade arbete med att ta fram ett övervakningsprogram inför uppförandet av Kärnbränsleförvaret. Vidare noterar kommunen att SKB beskriver de risker de ser med övervakningsutrustning i en barriär men skriver att de överväger långtidsförsök nere i berget och följer det internationella arbetet. Kommunen anser att det är positivt att det finns en beskriven planering för övervakning gällande Kärnbränsleförvaret men saknar motsvarande beskrivning för SFR.

Naturskyddsföreningen, Jordens Vänner och Miljöorganisationernas kärnavfallsgranskning (föreningarna) upplyser om att mellan 2005 och 2009 hade



kärnavfallsbolaget SKB ett nätverk av GPS-stationer i Forsmarkområdet för att studera om olika delar av skjuvzonen genom området rörde sig i förhållande till andra. Sådana rörelser skulle enligt föreningarna kunna påvisa att zonen är seismisk aktiv. Efter att försöket gett resultat som var svårtydbara lades försöket ner i stället för att förbättra det och ta fram långa försöksserier. Föreningarna menar att det behövs ny forskning på rörelser av berget i Forsmark.

SSM:s bedömning

SSM ser positivt på SKB:s redovisade planer för övervakningsprogrammet och SKB:s planer att installera det lokala seismiska nätverket i god tid inför att bergarbetena påbörjas. Det ger förutsättningar för att etablera en baslinje över det opåverkade tillståndet inför uppförande och drift av Kärnbränsleförvaret och utbyggnaden av SFR.

I redovisningen av övervakningsprogram framgår det inte tydligt hur den på en principiell nivå förhåller sig till kontrollprogram, där det senare programmet syftar till att verifiera de tekniska utförningskraven, de s.k. konstruktionsförutsättningarna. Även hur de olika programmen förhåller sig till detaljundersökningsprogrammet kan övergripande klargöras, vilket ger god insyn i de aktiviteter som tillsammans syftar till att uppföra, driva och försluta ett slutförvar så att kraven på strålsäkerhet efter förslutning kan uppfyllas. SSM är medveten om att detaljerna i dessa program ingår i kommande ansökansunderlag, men ser ett värde i en tydligare beskrivning på en övergripande nivå av hur dessa program förhåller sig till varandra.

SSM instämmer med Östhammars kommun vad gäller att det är viktigt att det skapas goda förutsättningar för att möjliggöra bedömning av eventuell framtida miljöpåverkan och ser positivt på SKB:s arbete med miljöövervakning tillsammans med den forskning som SKB finansierar inom ytekosystemområdet.

3.12 SSM:s samlade bedömning av SKB:s verksamhet och handlingsplan

Övergripande om SKB:s verksamhet och handlingsplan

SSM bedömer att del I av Fud-program 2022 ger en bra introduktion till SKB:s verksamhet och planer för att ta hand om kärnkraftens restprodukter på ett säkert och kostnadseffektivt sätt.

Om förutsättningar för SKB:s verksamhet

SSM finner det rimligt att SKB utgår från reaktorernas planerade drifttider vid planeringen av omhändertagande av använt bränsle och kärnavfall, givet de osäkerheter, eller den flexibilitet som krävs med de långa tider som programmet omfattar. Programmets långa utsträckning i tiden kan innebära att planeringsförutsättningarna förändras över tid, likväl som att det kan göras omvärderingar av nuvarande utgångspunkter för programmet. SSM anser att regelverket är anpassat till att hantera sådana förändrade förutsättningar eller omvärderingar av nuvarande utgångspunkter i och med kravet på uppdaterade Fud-program vart tredje år.

SSM bedömer att SKB:s beskrivningar av handlingsalternativ vid förändrade förutsättningar i form av översiktliga konsekvensanalyser för scenarier med förlängda eller förkortade drifttider för dagens kärnkraftreaktorer är rimligt realistiska och åskådliggörande. SSM konstaterar att frågan om en utökning av den tillståndsgivna mängden använt kärnbränsle i Clab är den mest tidskritiska under den kommande Fud-perioden.

SSM finner det rimligt att redovisningen i Fud-program 2022 översiktligt redogör för förväntningar att i SKB:s anläggningar slutförvara sådant övrigt kärnavfall som uppstår

vid andra kärntekniska verksamheter än från drift och rivning av reaktorerna, liksom för radioaktivt avfall från icke kärnteknisk verksamhet. SSM noterar samtidigt att omhändertagande av sådant övrigt avfall och radioaktivt avfall inte faller inom ramen reaktorinnehavarnas lagstadgade skyldigheter. SKB:s roll vid omhändertagande av övrigt kärnavfall och radioaktivt avfall innebär att SKB tillhandahåller en service åt producenter av övrigt avfall och radioaktivt avfall baserat på civilrättsliga överenskommelser.

Om övergripande beskrivning av SKB:s verksamhet och planer för genomförandet
SSM bedömer att den övergripande redovisningen av verksamheterna i kapitel 2, tillsammans med den verksamhetsövergripande genomförandeplanen i avsnitt 3.1, underbyggd av de mer detaljerade genomförandeplanerna för systemet för det låg- och medelaktiva avfallet (avsnitt 3.2), för KBS-3-systemet för använt kärnbränsle (avsnitt 3.3), för mycket lågaktivt avfall (avsnitt 3.4) samt för avveckling av kärntekniska anläggningar (avsnitt 3.5), tillsammans med redogörelser för transportsystemet och kärnämneskontroll ger en tillräcklig inblick i SKB:s program för att myndigheten ska kunna bedöma programmet.

SSM bedömer vidare att redovisningen av handlingsalternativ vid förändrade förutsättningar (avsnitt 3.7) är rimlig i förhållande till Fud-programmets övergripande syfte.

SSM anser att användningen av aktivitets- och milstolpeplaner är ändamålsenlig och understryker SKB:s uttalade prioritetsordning: säkerhet vid drift och efter förslutning samt hushållning med resurser är viktigare än att uppförandet och idrifttagandet av slutförvarsanläggningarna forceras. Fokus flyttas från specificerade tidpunkter till de aktiviteter som behöver genomföras för att uppföra säkra slutförvar och till de förutsättningar som behöver vara uppfyllda innan aktiviteterna kan genomföras. Att ange årtal för specifika aktiviteter i planer som spänner över lång tid medför alltid en risk för ett falskt intryck av precision i planerna. Givet Fud-programmets roll anser därför SSM att det systemövergripande perspektivet i redovisningen är ändamålsenligt.

Om fortsatt forskning och utveckling

SSM bedömer liksom vid granskning och utvärdering av föregående Fud-program att redovisningen i kapitel 4 av planer för fortsatt forskning och utveckling utgör en viktig länk mellan redovisningen i kapitel 3, som övergripande beskriver vad som återstår att göra, och redovisningen i del II, som mer i detalj redogör för planerade forsknings- och utvecklingsinsatser under kommande Fud-period, d.v.s. under de kommande sex åren.

SSM bedömer att kapitel 4 tillsammans med redovisningen i del II ger en god överblick av SKB:s planer för fortsatt forskning och utveckling, på så sätt att kapitel 4 presenterar en översikt av allt som behöver göras framöver medan kapitel 6 detaljerar SKB:s planering för den kommande Fud-perioden, det vill säga de kommande sex åren.

Om SKB:s styrning och ledning av verksamheten

SSM bedömer att kapitel 5 i Fud-program 2022, som beskriver det systematiska arbetssätt som SKB har utvecklat för att genomföra behövlig forskning, utveckling och demonstration är värdefullt. Redovisningen kompletterar övrig information i Fud-programmet på ett förtjänstfullt sätt. Medan övriga delar i Fud-programmet är fokuserade på vad som ska åstadkommas, bidrar redovisningen i kapitel 5 till en bättre övergripande förståelse för hur forsknings- och utvecklingsåtgärder planeras, motiveras och utvärderas.

Om Äspölaboratoriets avslutande

SSM bedömer att avvecklingen av Äspölaboratoriets undermarksdel ger en unik möjlighet till analoga, storskaliga studier av vad som sker med ett geologiskt slutförvar



efter verksamheten avslutas och anser att SKB bör överväga vilka fortsatta studier som kan vara av intresse.

Om bevarande av kunskap och information genom generationer

SSM bedömer liksom vid granskning och utvärdering av föregående Fud-program att SKB:s planer avseende bevarande av kunskap och information genom deltagande i internationella projekt som rimliga.

Om andra metoder för slutförvaring

SSM bedömer att SKB:s program avseende andra metoder för slutförvaring under kommande Fud-period som rimligt, det vill säga att bevaka relevant forskning som genomförs i vetenskapssamhället i stort.

Om övervakning under uppförande och drift

SSM bedömer att SKB:s redovisade planer för övervakningsprogram är ändamålsenliga och ger förutsättningar för att bedöma eventuell framtida miljöpåverkan.

4 Omhändertagande av låg- och medelaktivt avfall

4.1 Genomförandeplan för mycket lågaktivt avfall

SKB:s redovisning

SKB beskriver planeringen för omhändertagandet av mycket lågaktivt avfall på två ställen i redovisningen av Fud-program 2022, dels i avsnitt 3.4 (Planeringen för mycket lågaktivt avfall), dels i avsnitt 3.7.3 (Slutförvaring av mycket lågaktivt rivningsavfall).

I avsnitt 3.4 anger SKB att volymerna kommer att öka väsentligt i samband med avvecklingen. Osäkerheterna är dock stora och en översyn av uppskattade mängder och fördelning mellan olika kategorier kommer att genomföras. Vidare anges att reaktorinnehavarna ser ett behov av markförvar för det avfall som uppstår vid avvecklingen. Det anges att det pågår ett ständigt förbättringsarbete i syfte att minska avfallsvolymer, bättre källsortering, effektivare sortering av insamlat material, om- och avemballering av inkommande gods, friklassning och zonindelning under revisioner.

I avsnitt 3.7.3 anger SKB att det för det mycket lågaktiva avfall som överskrider friklassningsnivåer existerar två alternativ, antingen deponering i markförvar eller deponering i förvardsdelen BLA i SFR. Givet att 1BLA är en betydligt mer avancerad anläggning, ska det avfall som förs dit företrädesvis ha ett högre aktivitetsinnehåll för att motivera kostnader som miljöpåverkan.

SKB anger att utbyggnaden av SFR är dimensionerad för att slutförvara allt lågaktivt avfall från avvecklingen, inklusive mindre mängder av det mycket lågaktiva avfallet. Vilka mängder det skulle röra sig om anges inte. Den nuvarande inriktningen för slutligt omhändertagande av det mycket lågaktiva avfallet är markförvar.

Om det mycket lågaktiva avfallet ska slutförvaras i SFR är någon form av extra behandling att föredra. Detta kan vara att flytta aktiviteten till annat bärmaterial (genom dekontaminering) eller genom att ändra form på materialet (genom förbränning). SKB anger att det främst är metaller som kan dekontamineras för att därefter friklassas. Vidare anges att för vissa delmängder av det brännbara avfallet kan kontrollerad förbränning vara en alternativ metod för koncentrerad av aktivitetens innehåll.

Remissinstansernas synpunkter

Länsstyrelsen i Kalmar Län efterlyser en diskussion om alternativa hanteringsvägar i kommande Fud-program, såsom hur eller i vilken omfattning det är möjligt att förbehandla en större del av avfallet och förutsättningar för om- eller friklassning. Länsstyrelsen konstaterar att en minskning av vissa typer av avfall i en del kan i hög grad påverka i en annan del av systemet och möjliggöra för minskade volymer. Länsstyrelsen anser det betydelsefullt i takt med att kunskapen om avfallet ökar att även dessa resultat kan beskrivas och diskuteras i Fud-programmet.

Kvalitativ Kärnavfallsinformation (KKI) anser att ansträngningar för att öka andelen friklassning och villkorad friklassning samt även öka koncentration av radioaktivitet genom exempelvis förbränning bör prioriteras och att takten för pågående initiativ bör intensifieras. Utöver teknikinriktad forskning anser KKI att SKB tillsammans med SSM och internationella aktörer bör undersöka alternativa användningsområden för material med villkorad friklassning både för att minska avfallsvolymer och utifrån hållbarhetsaspekter. Eftersom SKB uppger att det finns alternativa metoder, anser KKI att dessa metoder bör provas och valideras (eller avfärdas). Om effektiviteten i identifierade åtgärder inom området visar sig vara låg, bör det – även i detta perspektiv – enligt KKI vara bättre att påskynda driftsättningen av de olika slutförvaren.

SSM:s bedömning

SSM bedömer att SKB i sin redovisning pekar på flera faktorer av betydelse för omhändertagandet av det mycket lågaktiva avfallet, liksom åtgärder för att begränsa uppkomst av sådant avfall. SSM har inom ramen för tillsynen vid upprepade tillfällen pekat på en förbättrad källsortering som skulle syfta till ett utvecklat omhändertagande. SSM ställer sig därför positiv till denna förbättringsåtgärd då källsorteringen inte ska begränsa förutsättningarna för att välja den lämpligaste fortsatta hanteringen av avfallet. SSM konstaterar vidare att redovisningen inkluderar en beskrivning av de åtgärder som genomförs i syfte att minimera uppkomsten av avfall, vilket också är ett krav enligt 3 kap. 5 § strålskyddslagen.

Av redovisningen framgår att vissa delmängder av avfallet kan omhändertas genom förbränning, dock anges inte hur stora dessa delmängder är och vilka åtgärder som avses att vidtas. Utöver kraven avseende strålsäkerhet, relateras sådana åtgärder till de krav i miljöbalken som ställs avseende tillämpningen av kretsloppsprincipen (1 kap. 1 § 5 och 2 kap. 5 §) liksom tillämpningen av avfallshierarkin (15 kap. 10 § miljöbalken).

Enligt bestämmelserna i 15 kap. 10 § miljöbalken får avfall bortskaffas genom deponering endast om det kan bedömas lämpligare än att det behandlas, om behandlingen inte är orimlig. Vid en bedömning av vilka åtgärder som kan bedömas rimliga behöver enligt SSM:s uppfattning hela omhändertagandekedjan beaktas, alltså allt från källsortering och fortsatt hantering, behandling och slutligt omhändertagande av avfallet, och värderas utifrån strålsäkerhetssynpunkt, miljösynpunkt samt utifrån kostnaderna. Givet att det inte kan uteslutas att stora delar av det återvinningsbara avfallet kan komma att deponeras i SFR efter avfallsbehandling, kunde redovisningen utvecklats avseende hur dessa krav har beaktats.

Vidare saknas en övergripande redovisning av hur olika typer av behandlat och obehandlat avfall passar för deponering i olika förvar. Deponering av organiskt avfall i ett markförvar kan vara problematiskt då nedbrytning riskerar att skapa hålrum vilket kan leda till påfrestningar av sluttäckningens tätskikt. Förbränning kan också innebära destruktion av kemikalier i avfallet som kan påverka slutförvarets barriärfunktioner negativt.

SSM konstaterar att även Länsstyrelsen i Kalmar Län och KKI pekar på ett behov av utvärdera sätt att i högre utsträckning återvinna olika fraktioner av avfallet.

Enligt SSM:s bedömning har de stora mängder inert avfall (betongrester och sand) som uppstår från avvecklingen av kärnkraftverken egenskaper som gör deponering av det i markförvar mindre problematisk i jämförelse med deponering av nedbrytbart organiskt avfall. Detta mot bakgrund av att inert avfall kan förväntas vara stabilt även under mycket långa tidsperioder, vilket ger förutsättningar för en långsiktigt stabil funktion för sluttäckningen. Stora delar av det betongavfall som uppstår i samband med avvecklingen kan dock förväntas att vara utan kontamination och bör därför i första hand återvinnas i stället för att deponeras. Enligt SSM:s uppfattning är det angeläget att åtgärder vidtas i den utsträckning så är möjligt och rimligt separera de okontaminerade delarna av avvecklingsavfallet från de som behöver omhändertas som avfall.

4.2 Genomförandeplan för omhändertagande av kortlivat låg- och medelaktivt avfall

SKB:s redovisning

SKB beskriver de övergripande planerna för det kortlivade låg- och medelaktiva avfallet i avsnitt 3.2. SKB beskriver kopplingen mellan avvecklingen av reaktorerna och bl.a. SFR och övergripande vilket behov av mellanlagring av det kortlivade låg- och medelaktiva avfall som planeras på de olika platserna. Till följd av att förvarsdelen 1BLA är nästintill full planeras ingen ytterligare deponering ske förrän efter att utbyggnaden är klar. Av figur 3-1 framgår att åtgärder gällande det feldeponerade S.14-avfallet är planerade innan utbyggnaden påbörjas.

Ett resonemang om vilken påverkan tidpunkten för driftsättning av utbyggt SFR kan ha ges i avsnitt 3.7.2. SKB konstaterar att ett senareläggande av driftstarten för SFR skulle innebära en försening av den planerade friklassningen av Barsebäcks anläggningsområde, om inte det kortlivade avfallet också transporteras till annan plats för mellanlagring. För övriga kraftverk är beroendet av en senareläggning inte lika starkt. Ett tidigareläggande av idrifttagandet av SFR medför att Barsebäcksanläggningen skulle kunna bli friklassad före planerad tid.

De mer strategiska planerna för fortsatt forskning och utveckling ges i avsnitt 4 där de specifika insatserna gällande SFR ges i avsnitt 4.1.1. Av redovisningen framgår att krav och konstruktionsförutsättningar ska vara fastlagda vid byggstart och att det planeras viss teknikutveckling av barriärerna under tiden fram till start för utbyggnaden i syfte att verifiera dessa krav och konstruktionsförutsättningar, vilket ger möjligheter att optimera utformningen och genomförandet av bergarbeten. De uppdateringar av barriärers och andra förvarskomponenters egenskaper vid installation, som teknikutvecklingen leder till, kommer att utgöra underlag till SAR. I slutskedet av uppförandet genomförs verifiering och validering av system och funktioner och avslutas med en samfunktionsprövning. Inför provdrift tas en förnyad SAR fram och förslutningsplanen uppdateras. Inför rutinmässig drift tas en kompletterad SAR fram där erfarenheterna från provdriften inarbetas. Den platsbeskrivande modellen uppdateras utifrån information från detaljundersökningarna under uppförandeskedet. Utfallet från provdriften förväntas inte föranleda några särskilda behov av teknikutveckling eller forskning inför rutinmässig drift.

Planerade insatser för det låg- och medelaktiva avfallet ges i avsnitt 4.2, planerade insatser för cementbaserade material ges i 4.5 och på motsvarande sätt de planerade insatserna för lerbarriärer och återfyllning i avsnitt 4.6.



Remissinstansernas synpunkter

Östhammars kommun noterar att Fud-program 2022 återkommande hänvisar till mellanlagring i avvaktan på att slutförvaren ska färdigställas. Kommunen anser att det hade varit önskvärt med en tydligare redovisning av befintliga och planerade mellanlager samt drifttiden för dessa.

SSM:s bedömning

SSM konstaterar att systemet för omhändertagande av det kortlivade låg- och medelaktiva avfallet enligt redovisningen förefaller vara relativt robust mot förseningar vad gäller utbyggnaden av SFR och dess idrifttagande. Detta bedöms som positivt då det bland annat ger förutsättningar för SKB att ta ansvar som tillståndshavare och genomföra det återtag av det feldeponerade S.14-avfallet utan påtaglig påverkan på kraftverkens planerade verksamhet. SSM delar dock Östhammars kommuns synpunkt att redovisningen kunde utvecklas och tydligare beskriva befintliga och planerade mellanlager samt drifttiden för dessa.

SSM ser positivt på att SKB avser att fastställa krav och konstruktionsförutsättningar inför byggstart och att teknikutvecklingen ska ge förutsättningar att verifiera barriärer och förvarskomponenter inför uppförandet. SSM noterar att SKB anger att de uppdateringar av barriärerna m.m. som teknikutvecklingen leder till ska utgöra underlag till SAR. Detta är inte i enlighet med SSM:s förväntningar på kommande redovisningar, utan resultaten av den teknikutveckling som sker inför uppförande behöver redovisas som underlag för den PSAR som utgör underlag för ansökan om godkännande inför uppförande.

SSM bedömer att det är av särskild betydelse att underlaget för den planerade utformningen och konstruktionslösningen för den tillkommande förvardsdelen 2BMA har kunna bestämmas. SSM ser detta som en kritisk fråga för den planerade utbyggnaden, i synnerhet då utformningen av 2BMA är av en annan konstruktionslösning jämfört med befintliga förvardsdelar i SFR.

Enligt SSM:s bedömning är planerna för validering av förvarets barriärer och förvarskomponenter efter uppförande av betydelse för strålsäkerhet efter förslutning. I granskningen av SKB:s tillståndsansökan för utbyggnaden av SFR fäste SSM särskild betydelse till att en sådan validering av kassunerna i 2BMA var möjlig. SSM hade värdesatt en tydligare redovisning planerna för denna validering och hur SKB planerar för att ta till vara på denna kunskap inför det successiva uppförandet av kassunerna i 2BMA.

SSM kommenterar de planerade insatserna rörande processer kopplade till materialegenskaper, radionuklidinventarium, acceptanskriterier och avfallsbehållare i kapitel 6 av denna granskningsrapport.

5 Slutförvaret för långlivat avfall

I Fud-program 2022 redovisar SKB den övergripande planeringen av arbetet i kapitel 3, vilket inkluderar en redovisning av planerna för lokaliseringen av slutförvaret.

I kapitel 4 beskrivs översiktligt de forsknings- och utvecklingsinsatser som har identifierats för att genomföra de återstående delarna av kärnavfallsprogrammet. I avsnitt 4.1.2 ges grunderna för planeringen av de kommande forsknings- och utvecklingsinsatserna för SFL, där det ges en översikt av hur långt forskningen och teknikutvecklingen behöver ha nått vid de milstolpar som är relevanta för SFL. I avsnitt 4.2 motiveras och sammanfattas den forskning och teknikutveckling som rör avfallet som SKB kommer prioritera under de kommande Fud-perioden (6 år). I avsnitt 4.5 och 4.6

redogörs för de planerade insatserna för cementbaserade material respektive lerbarriärerna.

Nuläge och program för specifika aktiviteter under Fud-perioden presenteras i del II i redovisningen.

I samband med att Fud-program 2019 inlämnades slutförde SKB arbetet med en säkerhetsvärdering för SFL (SE-SFL). Eftersom SKB:s övergripande slutsatser från SE-SFL var redovisade i Fud-program 2019 kunde SSM kommentera dessa inom ramen för granskningen av Fud-program 2019 (SSM2018-5179-9, avsnitt 5.1). SSM genomförde därefter en granskning av SE-SFL vilket dokumenterades i en granskningsrapport (SSM2019-10359-17).

SKB:s redovisning

SKB beskriver i avsnittet *Plan för genomförande* att det fortsatta arbetet med SFL har getts lägre prioritet i förhållande till övriga planer för att utveckla och uppföra anläggningar inom programmet. Det arbete som SKB planerar rörande SFL avgränsas under Fud-perioden till utredningar om vilket inventarium slutförvaret ska inrymma, preliminära acceptanskriterier samt utredningar om avfallsbehållare.

Tidpunkt för platsval, tillståndsprövning och byggstarten för SFL flyttas fram jämfört med föregående Fud-redovisning. Provdrift planeras under 2050-talet och i mitten av detta årtionde planeras start av rutinmässig drift då långlivade låg- och medelaktiva avfallet under en tioårsperiod ska transporteras till SFL. SKB beskriver vidare att SFL planeras att förslutas då allt mellanlagrat långlivat avfall samt det långlivade avfallet från avvecklingen av den sista kärnkraftreaktorn har deponerats.

Planen innebär att SFL tas i drift efter att kärnkraftreaktorerna ha avvecklats eller är inne i något avvecklingsskede. Kapacitet för att mellanlagra det långlivade låg- och medelaktiva avfallet från kärnkraftreaktorerna behöver dimensioneras utifrån det. Vidare kan slutlig konditionering av det aktuella avfallet inte göras förrän acceptanskriterier för avfallet har tagits fram och fastställts. Eftersom tidpunkten för avvecklingen av Clink ligger bortom tidpunkten för förslutning av SFL behöver SKB också säkerställa att det avfall som kommer från avvecklingen av Clink inte behöver slutförvaras i SFL.

SKB:s övergripande plan bygger på ett scenario där SFL lokaliseras vid en av de platser som SKB har kännedom om sedan tidigare. Skulle mer omfattande platsundersökningar krävas bedöms tidpunkten skjutas framåt i tiden. SKB kvantifierar inte denna försening närmare.

Enligt redovisningen utgör den genomförda säkerhetsvärderingen bas för att identifiera områden för fortsatt forskning och teknikutveckling. Dessutom ger den underlag till den kommande lokaliseringsprocessen.

Beträffande inventarium och acceptanskriterier för SFL anger SKB att det inför kommande analyser krävs bättre information om avfallets egenskaper, och pekar specifikt på den planering av avfallets karaktärisering som avfallsproducenterna för det historiska avfallet bedriver för att få ett bättre specificerat inventarium. Arbetet, som genomförs av SKB i samarbete med avfallsproducenterna, syftar också till att ge underlag och vägledning för avfallsproducenternas fortsatta hantering av avfallet.

Angående lokalisering av plats för SFL anger SKB att de grundläggande kraven för slutförvarsplatserna sedan tidigare är dels att strålsäkerheten under drift och efter förslutning ska uppfylla kraven enligt kärntekniklagen och miljöbalken, dels att det lokala

politiska och opinionsmässiga stödet ska vara brett och stabilt. SKB planerar för en stegvis lokaliseringsprocess med målsättningen att välja plats i mitten av 2030-talet. Målsättningen är en öppen och transparent process i samråd med SSM, berörda kommuner och andra intressenter där förutsättningarna för olika aktörer är tidigt klarlagda och processens olika steg är förankrade och kommunicerade.

SKB anger att den kunskap om Sveriges geologi som tidigare förvärvats i SKB:s lokaliseringsprocesser utgör grund för arbete. Detta underlag utgörs av alla områden med data som behövs för värdering av strålsäkerhet på 400-700 meters djup, exempelvis Forsmark, Simpevarp/Laxemar/Äspö och samtliga så kallade typområdesundersökningar från lokaliseringsprocessen för Kärnbränsleförvaret. SKB anger att man tidigare tillämpat en systematik baserad på indelning i olika lokaliseringsfaktorer för Kärnbränsleförvaret och att samma huvudgrupper av faktorer för värdering och jämförelser av olika lokaliseringsalternativ:

- Strålsäkerhet efter förslutning
- Teknik för genomförande
- Miljö och hälsa
- Samhällsaspekter

Förutom resultaten från säkerhetsvärderingen kommer SSM:s och mark- och miljödomstolens yttrande till regeringen i KBS-3-ärendet att utgöra underlag för det fortsatta arbetet.

I kapitel 4 beskrivs översiktligt de forsknings- och utvecklingsinsatser som har identifierats för att genomföra de återstående delarna av kärnavfallsprogrammet. I avsnitt 4.1.2 ges grunderna för planeringen av de kommande forsknings- och utvecklingsinsatserna för SFL, där det ges en översikt av hur långt som forskningen och teknikutvecklingen behöver ha nått vid de milstolpar som är relevanta för SFL. I avsnitt 4.2 motiveras och sammanfattas den forskning och teknikutveckling som SKB kommer prioritera under den kommande Fud-perioden (6 år). Nuläge och program för specifika aktiviteter under Fud-perioden presenteras i del II i redovisningen.

SKB anger att erfarenheter från den genomförda säkerhetsvärderingen (SE-SFL) kommer att vara utgångspunkt för utvecklingen av de tekniska barriärerna, acceptanskriterierna för avfallet och arbetet med att lokalisera en plats för slutförvaret. SKB anger att det planerade arbete som angavs i avsnitt 4.1.2 i Fud-program 2019 kvarstår och kommer att återupptas och genomföras vid ett senare tillfälle.

I säkerhetsvärderingen identifierade SKB bland annat ett behov av forskning och utveckling inför den kommande fullständiga säkerhetsanalysen:

- Fördjupad kunskap om inventariet för avfallet som ska deponeras. Detta gäller såväl prognosticerade avfallsmängder, avfallets materialsammansättning och innehåll av radionuklider,
- Utökad kunskap om utveckling över tid för betongbarriären för bergsalen för hårdkomponenter (BHK) samt fortsatta studier av interaktion mellan grundvatten och betong under slutförvarsbetingelser,
- Utökad kunskap om utveckling över tid för bentonitbarriären i bergsalen för historiskt avfall (BHA).

SKB identifierar också ett behov av utveckling av verktyg och metoder som används i utvärderingen av strålsäkerhet efter förslutning, detta som en del i utvärderingen och



optimeringen av försvarsutformningen. Specifikt rörande teknikutvecklingen bedömer SKB fortsatta insatser gällande:

- Tekniska lösningar för utformning och uppförande av försvarsutrymme
- Tekniska lösningar för återfyllning av försvarsutrymmena med betong och bentonit
- Hantering och slutförvaring av olika komponenter och utveckling och godkännande av slutförvarsemballage till dessa.

SKB anger att som stöd för tillståndsansökningar behöver teknikutvecklingen och kunskapen om barriärerna, det omgivande berget och ekosystemet vara så långt kommen att det går att visa att förvaret uppfyller de allmänna hänsynsreglerna, kraven i kärntekniklagen och SSM:s föreskrifter. SKB anger att då SFL skiljer sig från de övriga slutförvararna främst när det gäller konstruktioner i försvarsdelarna och de tekniska lösningarna för återfyllning bedöms detta vara områden som behöver utvecklas. Något program för detta arbete redovisas inte.

SKB anger att inventariet, emballage och acceptanskriterier är fokus under kommande Fud-period.

I fråga om nuklidinventariet kommer SKB fortsätta utveckla modeller för aktivitetsbestämning av svärmätbara nuklider, dels genom att utnyttja underlag från mätningar, dels genom att genomföra verifierande mätningar. I fråga om avfallsbehållare anges att strategin är att undersöka tillämpbarheten hos redan befintliga avfallsbehållare. SKB konstaterar att det finns ett behov av acceptanskriterier för avfall till SFL och anger att resultaten från SE-SFL ligger till grund för uppdaterade acceptanskriterier.

Remissinstansernas synpunkter

Östhammars kommun noterar att SKB:s arbete med ett slutförvar för långlivat låg- och medelaktivt avfall (SFL) skjutits framåt i tiden. Kommunen uppger att även om den har förståelse för att SKB måste prioritera mellan sina olika projekt så anser kommunen att det hade varit önskvärt med en högre prioritering även av SFL för att minimera behovet av mellanlagring.

Länsstyrelsen i Kalmar Län konstaterar att då slutförvaret SFL först planeras att kunna tas i drift under 2050-talet, kommer detta innebära att en hel del av det långlivade avfallet behöver mellanlagras vid kärnkraftverken, eller på andra platser. Detta förutsätter enligt Länsstyrelsen att det finns tillgång till tillräckliga ytor och innebär sannolikt att man behöver införa andra typer av mellanlagringsytor och metoder i anslutning till anläggningarna. Länsstyrelsen anser att det bör finnas utrymme för en dialog om detta.

Milkas frågar vilket material som är sämst: koppar, cement eller betong. Enligt Milkas är inget av dessa tre material beständigt. Milkas understryker att föreningen inte kan godta att SFL, som ska hålla i 100 000 år, förläggs i ett berg fullt med sprickor.

SSM:s bedömning

SSM konstaterar att tidplaner för utredningar och platsval, tillståndsprovning, uppförande och provdrift av SFL har förskjutits. SSM instämmer i SKB:s bedömning att en senareläggning av SFL kan få praktiska konsekvenser till följd av ökat behov av mellanlagringskapacitet av SFL-avfall under tiden fram till 2050-talet samt senareläggning av planeringen för eventuell behandling. Även Östhammars kommun och Länsstyrelsen i Kalmar Län noterar att en senareläggning kommer att påverka mellanlagringsbehovet.

Enligt 12 § kärntekniklagen om att Fud-programmet ska motsvara de åtgärder som ska vidtas enligt 10 § 3 och 4 samt 11 § samma lag, följer att den som har tillstånd till kärnteknisk verksamhet har skyldigheter att vidta åtgärder för att slutförvara det kärnavfall som uppkommit i verksamheten. Utifrån de prioriteringar som presenterats i avsnittet *Plan för genomförande* uppfattar SSM att det finns organisatoriska utmaningar för SKB att parallellt vidta de åtgärder som krävs för att utveckla, tillståndspröva och uppföra de anläggningar som programmet omfattar. Ett senareläggande av arbetet frångår dock inte behovet av planer för det återstående arbetet. Mot bakgrund av detta bedömer SSM att redovisningen kan förtydligas och konkretiseras för att beskriva återstående åtgärder för SFL.

SSM konstaterar att SKB:s redovisning av det återstående forsknings- och utvecklingsarbetet väsentligen är likalydande med redovisningen i Fud-program 2019. Myndighetens synpunkter från granskningen av Fud-program 2019 och säkerhetsvärderingen SE-SFL förefaller inte ha beaktats av SKB för planeringen av det återstående arbetet. SSM har i dessa granskningar identifierat behov av fortsatt arbete med utformningen av de tekniska barriärerna och säkerhetsanalyserna. SSM:s anser att bedömningarna i genomförda granskningar pekar på områden som behöver adresseras och utvecklas inför fortsatt utveckling och tillståndsprövning.

SSM kan konstatera att de resonemang som redovisas om fortsatt teknikutveckling specifikt för SFL är knapphändig samt att redovisningen väsentligen är likalydande med redovisningen i Fud-program 2019. Det saknas en redovisning i fråga om vilka specifika insatser som avses att genomföras i fråga om tekniska lösningar för utformning och uppförande av förvarsutrymmena liksom tekniska lösningar för återfyllning. Givet de slutsatser som har dragits i SSM:s tidigare granskningar bedömer SSM att planerna för det fortsatta utvecklingsarbetet av förvarskonceptens utformning behöver utvecklas och konkretiseras.

SSM kan konstatera att SKB under kommande Fud-period planerar insatser för att förbättra processförståelse av bentonitåterfyllningen inom ramen för ett gemensamt program för de olika slutförvarerna, men att åtgärder relaterat till Kärnbränsleförvaret utgör utgångspunkt för de planerade åtgärderna (Fud-program 2022, avsnitt 4.1.2 och 4.6 och 10). SSM instämmer med SKB att mycket kunskap kan vinnas ut i studier av lerbarriärerna relaterat till andra slutförvar. SSM vill dock påpeka att det är angeläget att identifiera de specifika frågor som är speciella och unika till bentonitåterfyllningen i SFL som behöver utredas och besvaras. Detta gäller inte minst då detta utgör den primära barriären i BHA. Givet den betydelse som lerbarriären har för slutförvarets långsiktiga strålsäkerhet behöver denna kunskap utvecklas också inför framtagande av platsvalskriterier. Likande synpunkter har framförts av SSM i tidigare Fud-granskningar och i granskningen av SKB:s SE-SFL. Ytterligare synpunkter återfinns i avsnitt 10.2 i denna granskningsrapport.

SSM kan konstatera att SKB inte har redovisat processförståelse för den långsiktiga utvecklingen specifikt för betongbarriären i SFL. På motsvarande sätt som för BHA bedömer SSM att det är angeläget att SKB identifierar de processer i betongbarriären som är speciella och unika till SFL och dess förvarsmiljö. I avsnitt 10.1 i denna granskningsrapport ges synpunkter gällande mer grundläggande frågeställningar gällande cementbaserade material.

Såsom SSM framförde i samband med granskningen av Fud-program 2019 anser SSM att den långsiktiga strålsäkerheten ska vara vägledande vid lokalisering av ett geologiskt slutförvar. För ett slutförvar för långlivat avfall blir detta av än större betydelse jämfört med ett slutförvar för mer kortlivat avfall, detta då de tekniska barriärernas långsiktiga



degradering innebär att den geologiska barriären successivt kommer att utgöra en allt viktigare del av förvarets skyddsförmåga.

Ambitionen bör enligt SSM:s uppfattning vara att söka efter en så lämplig plats som möjligt, givet samhällliga och ekonomiska faktorer. För att uppnå detta behöver *lokaliseringsfaktorerna* vara klargjorda, vidare behöver *processen* för att genomföra det successiva urvalet vara redovisad. SSM bedömer att det utvecklingsbehov av dessa båda aspekter som SSM pekade på i granskningen av Fud-program 2019 väsentligen kvarstår.

Vad det gäller den kommande *processen* för en lokalisering av SFL ställer sig SSM bakom SKB:s avsikt att genomföra en stegvis process. Likaså ställer sig SSM bakom SKB:s ambition att genomföra en öppen och transparant process där förutsättningarna för olika aktörer tidigt är klarlagda och förankrade. Utifrån redovisningen är det dock inte tydligt hur dessa uttalade ambitioner i praktiken ska uppfyllas.

Som ett första steg i en lokaliseringsprocess är det angeläget att SKB klargör *lokaliseringsfaktorerna* i sådan utsträckning att det tydliggörs om det föreligger ett behov av att genomföra ytterligare platsundersökningar i avsikt att lokalisera en så lämplig plats som möjligt. Utifrån genomförda platsundersökningar bör sedan i ett efterföljande steg den lämpligaste platsen väljas.

SKB anger att man avser att utgå från befintlig kunskap erhållen under lokaliseringsarbetet för Kärnbränsleförvaret. SSM bedömer att de undersökningar som gjorts innebär att man har en stor kunskap om berggrunden vid Laxemar/Simpevarp och Forsmark. Detta är positivt för en värdering av förutsättningarna för att bedöma strålsäkerheten vid dessa platser, men kan samtidigt försvåra jämförelsen med mindre undersökta platser där motsvarande data saknas. Enligt SSM:s bedömning är det angeläget att skillnader i kunskap inte leder till att urvalet begränsas i ett allt för tidigt skede av platsvalsarbetet. Såsom SSM angav i granskningen av Fud-program 2019 bör SKB eftersträva att tillräckligt många platser med data till stort djup ingår i underlaget och att inte potentiellt fördelaktiga platser exkluderas på grundval av att kunskapen är lägre.

Vad det gäller de lokaliseringsfaktorer som presenterades i Fud-program 2019 bedömde SSM att dessa behövde utvecklas för att klargöra vad som utgör ett *krav* på en plats och vad som är ett *önskemål*. SSM konstaterar att SKB i Fud-program 2022 inte explicit berör denna synpunkt annat än att hänvisa till den systematik baserad på en indelning i olika faktorer som tidigare tillämpats vid lokaliseringen av Kärnbränsleförvaret och att erfarenheter från detta kommer att appliceras för SFL.

Enligt SSM:s bedömning kan det inte uteslutas att värderingen av lokaliseringsfaktorerna för SFL kan skilja sig från värderingen av motsvarande faktorer i samband med lokaliseringen av Kärnbränsleförvaret. SFL är betydligt mindre än Kärnbränsleförvaret och avfallet i SFL genererar inte värme. Detta innebär att även mindre bergvolym med fördelaktiga egenskaper kan nyttjas liksom en berggrund med sämre termisk ledningsförmåga än vad som bedömts lämpligt för Kärnbränsleförvaret. Den mindre bergvolymen lär också underlätta möjligheterna att identifiera en lämplig plats.

SSM har inga invändningar mot den huvudsakliga gruppering av lokaliseringsfaktorerna som anges, och anser att det är angeläget att SKB strukturerar faktorerna på ett sådant sätt som underlättar utvärderingen av strålsäkerhetsfrågorna.

Slutligen noterar SSM att SKB:s planer "...bygger på ett scenario där SFL lokaliseras på en av de platser som SKB har kännedom sedan tidigare. Skulle mer omfattande platsundersökningar krävas bedömer SKB att tidpunkten för driftsättning av SFL kommer

att skjutas framåt i tiden.” I detta sammanhang vill SSM betona vikten av att SKB presenterar genomarbetade lokaliseringsfaktorer och en tydlig process för det kommande arbetet, innan återstående insatser avgränsas.

I granskningen av det inventarium som låg till grund för SE-SFL bedömde SSM att detta hade utvecklats sedan den föregående analys som presenterades i slutet av 1990-talet. Detta gällde i särskilt hög grad för uppskattningarna av aktivitetinnehållet i vissa fraktioner av hårdkomponenter. SSM pekade samtidigt på områden som behövde utvecklas i det kommande arbetet (SSM2019-10359-17).

SSM kan konstatera att den strategiska redovisningen i avsnitt 4.2.2 gällande det fortsatta arbetet med att bestämma det radionuklidinventariet i det låg- och medelaktiva avfallet enbart på en övergripande nivå pekar på vilka insatser som planeras.

SSM har i samband med genomförda tillsynsinsatser ställt sig positiv till ett närmare samarbete mellan SKB och den ansvariga avfallsinnehavaren i det iterativa arbetet att utveckla acceptanskriterier och förvarskoncept (SSM2019-1916-3).

Stora delar av det avfall som planeras att deponeras i BHA är undermåligt karakteriserat. Betydande delar av avfallet är också konditionerat på ett sådant sätt som i hög grad försvårar möjligheterna till vidare karakterisering och förutsättningslös omkonditionering. Hur långt karakteriseringen och konditioneringen behöver drivas och vilka osäkerheter hos avfallet som kan accepteras behöver därför ställas mot möjligheter att förstärka skyddsförmågan hos förvaret på andra sätt. Enligt SSM:s bedömning behöver strategin för omhändertagandet av avfallet och utformningen av förvarsdelarna i SFL optimeras med avseende på bland annat strålsäkerhet, miljökonsekvenser och kostnader för systemet som helhet.

SSM konstaterar att SKB:s redovisning i fråga om kommande insatser gällande det historiska avfallet som ska slutförvaras i SFL är begränsade till det arbete som AB SVAFO ska genomföra, varav delar av detta arbete ska ske i dialog med SKB. SSM noterar att SKB inte redovisar om någon motsvarande dialog förs med de båda andra Studsviksbolagen, varav i första hand Studsvik Nuclear AB, liksom AB SVAFO, också ansvarar för betydande mängder långlivat låg- och medelaktivt avfall som enligt upprättade civilrättsliga avtal ska deponeras i SFL.

SSM har inga invändningar mot SKB:s strategi att undersöka möjligheten att utnyttja redan befintliga avfallsbehållare, men bedömer att en fortsatt utveckling av förvarskonceptet för BHK och BHA är en förutsättning för detta. I avsaknad av utvecklade, om än preliminära acceptanskriterier föreligger en risk för att avfallet onödigtvis kommer att behöva omkonditioneras inför det framtida omhändertagandet.

5.1 SSM:s samlade bedömning

SSM konstaterar att SKB valt att, med undantag från arbete med att karakterisera det historiska avfallet, prioritera ner det fortsatta arbetet med SFL och att de tidigare planerna senareläggs med ett antal år.

SSM anser att den långsiktiga strålsäkerheten ska vara vägledande vid förvarets lokalisering. SSM delar SKB:s ambition att platsvalet behöver genomföras i en stegvis, öppen och transparent process. Enligt SSM:s uppfattning är det angeläget att SKB inte på förhand begränsar urvalsprocessen. Utvecklande av specifika lokaliseringsfaktorer för SFL bedöms vara en förutsättning för en från strålsäkerhetssynpunkt ändamålsenlig

lokalisering. Dessa faktorer behöver skilja på vad som utgör krav på en plats och vad som är önskemål.

I SSM:s granskning av säkerhetsvärderingen SE-SFL bedömde SSM bl.a. att det fortsatta utvecklingsarbetet inte kunde utesluta ett behov av att förstärkta barriärfunktioner. SSM konstaterar att även SKB har identifierat ett fortsatt utvecklingsbehov av tekniska lösningar för utformning och uppförande av förvarsutrymmena i SFL, men kan samtidigt konstatera att redovisningen inte innehåller planer för hur och när detta ska genomföras. Vidare saknas en redovisning för hur bolaget avser att hantera de unika frågeställningar som följer av det långlivade avfallet och som således särskiljer SFL från SFR.

Mot denna bakgrund bedömer SSM att forsknings- och utvecklingsprogrammet behöver förtydligas och konkretiseras för att beskriva planer för återstående åtgärder som krävs för att utveckla SFL.

6 Det låg- och medelaktiva avfallet

6.1 Processförståelse

6.1.1 Sorptionspåverkan

SKB:s redovisning

I avsnitt 6.1 redovisar SKB arbetet med sorptionspåverkan för det låg- och medelaktivt avfallet. I säkerhetsanalysen för SFR är sorption av radionuklider på cementfaser av stor säkerhetsbetydelse. Forskning för att uppnå tillräcklig förståelse för sorption på cement och kvantifiering av processer genom upprättandet av sorptionsdatabaser (sammanställningar av fördelningskoefficienter eller K_d -värden för olika radionuklider, material och omgivningsbetingelser) har bedrivits av SKB och motsvarande organisationer i andra länder under flera årtionden. SKB:s redovisning av nuläget inom området i Fud-program 2022 är nästan helt fokuserat på effekten av komplexbildare på sorptionen. Komplexbildare kan negativt inverka på sorption vilket innebär att dess förekomst i avfall behöver begränsas i görligaste mån bl.a. genom tillämpning av WAC ("waste acceptance criteria"). Betydelsen av komplexbildare i olika koncentrationsintervall i avfallskollina behöver vidare beaktas.

De komplexbildare som SKB särskilt omnämner innefattar:

- Isosaccarinsyra (ISA) som bildas i samband med alkalisk degradering av cellulosa.
- Nedbrytningsprodukter från cementtillsatser ("superplasticerare")
- Nedbrytningsprodukter från filterhjälpmedlet UP2

SKB åberopar ett flertal äldre studier avseende ISA innefattande termodynamiska egenskaper av Ni-ISA komplex samt effekter av ISA på sorption av plutonium på cementfaser. Studierna bekräftar inverkan av ISA och att ett koncentrationsgränsvärde för ISA på 10^{-4} M är tillämpligt.

SKB nämner även i förbigående betydelsen av di- och trikarboxylsyror som komplexbildare. Argumentet här är dock att dessa i motsats till ISA inte bedöms ha någon säkerhetsbetydelse mot bakgrund av nytillkommen information. De behöver således inte begränsas genom tillämpningen av WAC-kriterier. Förklaringen utgörs av att både kalcium och hydroxidjoner som finns i grundvatten i kontakt med cementbarriärer bildar

konkurrerande komplex, vilket begränsar den tillgängliga komplexbildningen med radionuklider.

Beträffande betydelsen av komplexbildare från sönderdelning av cementtillsatsmedel har effekter på lösligheten av både nickel(II) och europium(III) noterats i vissa försök. SKB bedömer dock att denna effekt generellt har liten betydelse för SFR och SFL eftersom nedbrytningsprodukter med komplexbildande förmåga i stor utsträckning binds till betongen. Detta gäller dock inte nödvändigtvis för cementtillsatser i kringgjutnings- och solidifieringsbruk i avfallskollina, och av detta skäl planerar SKB att tillämpa gränsvärden för dessa ämnen. SKB påtalar att av kommersiella skäl finns ingen fullständig kännedom om samtliga kemiska ämnen i tillverkad cement och betong med potentiellt komplexbildande förmåga.

Den sista kategorin som SKB omnämner avser nedbrytningsprodukter från polymeren polyakrylonitril (PAN). Från vissa av de experiment som har genomförts för att studera effekten konstaterades att lösligheten för nickel(II) ökade och sorptionen av europium(III) på cement minskade. Andra studier visade dock inte på denna effekt och SKB föreslår därför att dessa resultat kan ha varit kopplade till bristande experimentell metodik, och att betydelsen av PAN i själva verket kan förväntas vara liten. I alla händelser är betydelsen mindre framträdande i jämförelse med betydelsen av ISA. För närvarande pågår ytterligare försök för att kvantifiera effekten av nedbrytningsprodukterna från PAN med avseende på lösligheten av Ca(II), Nd(III), Ni(II) och Pu(III/IV). Preliminära resultat antyder att effekten är högst begränsad. Effekten av tre så kallade proxygänger från PAN på sorption av plutonium befanns också vara svag.

Förutom ovannämnda pågående studie planerar SKB inga ytterligare studier med avseende på komplexbildare under den kommande Fud-perioden. SKB avser dock delfinansiera viss europeisk forsknings som görs inom CORI i Eurad-programmet som avser just PAN i sammanhanget inverkan på komplexbildning. SKB framhåller istället sina planer för genomförande mera grundläggande studier av sorptionen av Mo, Se och Tc på cementfaser (utan tillsatta komplexbildare) mot bakgrund av att det saknas data i tillgängliga sorptionsdatabaser för dessa grundämnen. Syftet är att kunna etablera fördelningskoefficienter (Kd-värden) som avser cementmiljö och bidra med processförståelse för att kunna modellera retardation med hög trovärdighet. Ytterligare ett syfte med studien är att understödja inhemsk kompetens inom sorptionsområdet.

SKB:s insatser i ett mera praktiskt hänseende avser att i god tid före byggstarten av SFR-utbyggnaden ta ställning till vilka betongtillsatser som kan anses vara acceptabla.

Remissinstansernas synpunkter

Kungl. Vetenskapsakademien (KVA) påtalar behovet av att humus- och fulvsyrors komplexbildande förmåga beaktas i samband radionuklidtransport vid de höga pH-betingelser som finns i SFR- och SFL-förvaren. Det bör enligt KVA göras en utredning om kunskapsläget för att bedöma behov av fortsatt forskning. Dessutom finns behov att värdera kunskapsläget vad gäller löslighet och mobilitet för radionuklider i anjonform vid högt pH så som exempelvis Mo, Se och Tc.

SSM:s bedömning

SSM ser det som positivt att SKB planerar att genomföra nya grundläggande sorptionsförsök i syfte att dels förstärka befintliga sorptionsdatabaser, dels etablera detaljerad vetenskaplig förståelse för sorptionsprocesser, och dels understödja kompetensbevarande inom landet. Det är viktigt att experimentella studier inte enbart inriktas på vad som för tillfället betraktas som dosdominerade nuklider, utan att det finns en ambition att ta fram mera fullständiga sorptionsdatabaser än hittills, relevanta för olika



möjliga kemiska och fysikaliska betingelser under ett slutförvars livslängd. En alltför stor tilltro till användningen av analogiresonemang kan leda till osäkra, eller missvisande slutsatser med avseende på exempelvis den relativa betydelsen av olika nuklider. I vissa fall används analogiresonemang i flera led, samt analogier inte bara för en specifik nuklid utan även för sorbent och för komplexbildare. Detta bidrar till osäkerhet även om säkerhetsmarginaler introduceras med förmodade konservatism. Med tanke på den internationellt ganska vida användningen av cement i slutförvar för låg- och medelaktivt avfall finns mycket pågående internationell forskning bl.a. för att täcka upp luckor i databaser, och SKB:s föreslagna forskningsinsatser i Fud-program 2022 kan utgöra ett betydande bidrag och verkar dessutom som en åtgärd för att långsiktigt bevara och utveckla nationell kompetens.

En fråga som aktualiserats i samband med granskningen av SR-PSU, den senaste analysen av säkerhet efter förslutning för SFR, är betydelsen av radionuklider som förekommer som oxoanjoner i slutförvarsmiljön, som selenat och molybdat, vilka förväntas som en följd av deras strukturella likhet med sulfatjoner att växelverka med sulfatmineral, vilket också beaktades i samband med säkerhetsanalysberäkningar. Det finns flera frågeställningar som är kopplade till tillförlitligheten av förutsägelser kring retardation av denna typ av anjoner, exempelvis att det måste finnas en tilltro till förekomsten av mineral som inte ursprungligen finns i cement utan som endast förväntas bildas på lång sikt. SSM bedömer att SKB experimentellt kan behöva verifiera och ytterligare undersöka retardationen av anjoner under de olika förvarsbetingelser som förväntas vara relevanta (i den utsträckning som beaktas).

I SR-PSU aktualiserades också andra frågeställningar som kan bli föremål för framtida forskning och som går lite utanför förståelsen av traditionella sorptionsprocesser. Detta kan exempelvis avse betydelsen av isotoputbyte med stabila isotoper samt att löslighetsbegränsningar kan visas vara en mera effektiv retardationsprocess än sorption, vilket exemplifierades för nickel. Förekomst av konkurrerande stabila kat- och anjoner, icke-stationära förhållanden samt innebörden av kopplade materieöverföringseffekter är andra intressanta forskningsfrågor. I sammanhanget eftersträvas en integrerad förståelse av sorption och tillämpliga transportprocesser samt möjligen också heterogena förhållanden med avseende på radionuklidfördelning, transport och kemiska förhållanden som kan behöva beaktas i samband med att sorptionsprocesser tillgodoräknas (exempelvis med avseende på sprickbildning i cement). SSM är införstådd med att prioritering av forskningsinsatser i första hand behöver ha som målsättning att underbygga de retardationsprocesser som explicit beaktas. Det finns dock en mening med forskningsinsatser som går lite utanför det traditionella upplägget säkerhetsanalyser, för att på sikt kunna vidareutveckla metodiken.

SSM anser att det förmodligen är korrekt av SKB att för närvarande prioritera ner de senaste årens insatser med syfte att kartlägga innebörden av komplexbildande ämnen i SFR och dess koppling till framtagningen av WAC:ar, till förmån för annan sorptionsforskning. Beträffande innebörden av komplexbildare bör de betydande satsningar som görs inom EU med CORI kunna bidra med resultat som ytterligare underbygger SKB:s hantering av komplexbildare i samband med kommande säkerhetsredovisningar.

SSM bedömer att SKB:s redogörelse i Fud-program 2022 för problemen med att identifiera mängd och typ av komplexbildare i kommersiella produkter som otydlig, men detta är en fråga som bättre adresseras på högre detaljeringsnivå i andra granskningar.

6.1.2 Gasbildning

SKB:s redovisning

SKB redovisar inledningsvis i avsnitt 6.2 att gasproduktionen huvudsakligen beror på nedbrytning av material genom exempelvis korrosion, mikrobiella processer eller strålningpåverkan. Anaerob korrosion av aluminium och zink i avfallet kan under kort tid bilda stora mängder vätgas, och det är av denna anledning viktigt att kvantifiera korrosionshastigheten för zink och aluminium i slutförvarsmiljö.

SKB redogör för de experimentella studier som har genomförts tillsammans med forskare på KTH. I den studien har korrosion av aluminium och zink gjutits in i betong och utsatts för syrgasfritt artificiellt grundvatten under olika långa exponeringstider (2-104 veckor). Studien visar, som förväntat, att aluminium korroderar snabbare än zink. SKB anger att korrosionsprodukter på metallytor är hastighetsbegränsande och inte deras diffusion genom betongbarriären, denna slutsats dras efter att det påvisats att korrosionshastigheter i artificiellt grundvatten utan betongkringggjutning är av samma storleksordning som korrosionshastigheter genomförda med ingjutna prover.

SKB anger att korrosionen av aluminiumlegeringar, som återfinns exempelvis i R2-reaktorn från Studsvik samt korrosionen av andra metalliska material kan bli aktuella för vidare studier under kommande Fud-period.

SKB planerar inte för fortsatta studier av anaerob korrosion av aluminium och zink då redan publicerade studier ger tillräcklig information. SKB lyfter fram studien som är genomförd av Fujiwara et al. (2017) som exempel och anger att de kommer att fortsätta följa kunskapsläget under kommande Fud-period.

Remissinstansernas synpunkter

Kvalitativ Kärnavfallsinformation (KKI) konstaterar, med hänvisning till avsnitt 6.2, att programmet om gasproduktion inte innehåller något om mikrobiell eller radiologisk produktion av gas och frågar om kunskapsläget är tillräckligt.

SSM:s bedömning

SSM konstaterar att SKB:s redovisning i Fud-program 2022 innehåller resultat från genomförd experimentell av korrosion av aluminium och zink gjutits in i betong och utsatts för syrgasfritt artificiellt grundvatten. I redovisningen av Fud-program 2019 saknades specifik referens till studien och SSM lyfte fram i sin granskning av Fud-program 2019 att det borde framgå av kommande Fud-redovisning hur dessa resultat har redovisats inklusive en referens. Av Fud-program 2022 framgår de övergripande resultaten av genomförd studie med en hänvisning genom referens till specifikt arbete vilket gör denna del tydlig. SSM ser dock inte utifrån redovisningen i Fud-program 2022 hur dessa resultat kommer att hanteras vidare av SKB. SSM konstaterar även att redovisningen i Fud-program 2022 över vilka framtida insatser som ska genomföras kring korrosionen av aluminiumlegeringar och korrosionen av andra metalliska material är otydlig och saknar konkretisering gällande på vilket sätt vidare studier ska genomföras under Fud-perioden. SSM saknar motiv till varför studien av Fujiwara et al. (2017) ger SKB tillräcklig information. SSM instämmer i att det är av vikt att följa kunskapsläget inom områden där det inte genomförs egna studier under kommande Fud-period. SSM vill även göra en koppling till det som myndigheten framförde i sin granskning av Fud-program 2016 då kommentaren var att SKB behöver bredda sin inriktning till att inkludera samtliga vätgasutvecklande korrosionsprocesser för metaller som förekommer i förvaret. SSM konstaterar att den otydliga beskrivningen av kommande program gör det svårt att förstå hur SKB har betraktat tidigare granskningskommentarer, då det i programmet framkommer att de ska titta på metalliska material men inte specificerar det vidare.

I fråga om den synpunkt som KKI för fram avseende att programmet om gasproduktion inte innehåller något om mikrobiell eller radiologisk produktion av gas gör SSM motsvarande konstaterande. I Fud-program 2019 angav SKB i sin redovisning att de inte planerade i nuläget att fortsätta studera mikrobiell gasproduktion i det låg- och medelaktiva avfallet men att kunskapsläget följs fortsättningsvis. SSM framförde i sin granskning av Fud-program 2019 att de genomförda studierna åtminstone för närvarande bör tillgodose SKB:s behov, men det hade varit värdefullt med en utförligare beskrivning över hur studierna är tillämpliga i SKB:s arbete. Vidare framförde SSM i sin granskning av Fud-program 2019 att sådan information som bör ingå i SKB:s fortsatta redovisning men sådan information finns inte redovisad i Fud-program 2022.

6.1.3 Svällning av jonbytarmassor

SKB:s redovisning

SKB anger i avsnitt 6.3 att det är av vikt att kvantifiera hur stora svälltryck som svällande avfall kan ge upphov till och ställa krav på avfall för att undvika avfallsformer som riskerar att skapa alltför höga svälltryck. SKB anger att kompletterande undersökningar har gjorts, men behöver genomföra ytterligare undersökningar. SKB pekar dock på problemet att försök med konditionerad jonbytarmassa försvåras av att återmättnad tar mycket lång tid och även är mottrycksberoende. SKB anger att man avser att genomföra nya försök och beräkningar för att bättre kunna förstå och beskriva svällning av bitumenkonditionerat avfall under slutförvarsliknande förhållanden, för att därigenom minska osäkerheterna kopplade till svällande avfall och svälltryck i SFR. Av redovisningen framgår inte vilka insatser som specifikt ska genomföras.

SSM:s bedömning

Frågan om det svällande avfallet följs av SSM inom ramen för ett särskilt ärende (SSM2019-7934). I den slutrapport (SKBdok 1967722, 1.0) och den handlingsplan (SKBdok 1982342, 1.0) som SKB inlämnade i maj 2022 anges att nya svällningsförsök bör genomföras och föreslår att detta arbete genomförs inom ramen för Fud-programmet eftersom det är osäkert om och när representativt resultat kan erhållas. Undersökningarna bedöms vara av stor betydelse för att bedöma behovet av åtgärder i syfte att säkerställa betongbarriärernas integritet. Detta gäller i första hand förvarsdelen IBMA som enligt gjorda utredningar och analyser är känslig för trycklaster från svällande avfall.

SSM konstaterar att SKB:s redovisning i Fud-program 2022 av vilka framtida insatser som ska göras saknar konkretisering. SSM bedömer att otydligheten i redovisningen är problematiskt, särskilt beaktat de behov som har identifierats inom ramen för tillsynen. Utifrån perspektivet att avfall redan är deponerat är det nödvändigt att ett fortsatt utredningsarbete bedrivs.

SSM delar SKB:s bedömning att frågan om återsvällning av bitumeningjutna jonbytarmassor och salter är svårbedömd, åtminstone om en högre fyllnadsgrad av bitumeninblandad jonbytarmassa och indunstarkoncentrat i avfallskollin avses än vad som motsvarar avfallsmatrisens volym innan torkning i samband med ingjutningen. Genom att begränsa ingjutningen på detta sätt begränsas risken att avfallet efter återmättnad utövar svälltryck på omgivande barriärer. Åtgärden kan samtidigt innebära en möjlig konservatism i fyllnadsgraden och därigenom en potentiellt dålig nyttjandegrad av den tillgängliga kapaciteten i slutförvaret.

Givet svårigheterna att säkerställa de långsiktiga egenskaperna och den utvecklingen av bitumeningjutet avfall, liksom avsaknaden av ett program för det fortsatta arbetet, bör SKB tillsammans med Forsmarks Kraftgrupp AB utvärdera alternativ till det befintliga omhändertagande av systembundet avfall vid Forsmarksverket och inom ramen för detta

utvärdera ingjutning av det systembundna avfallet i en cementmatrix. Med tanke på att Forsmarksanläggningen planeras att vara i drift i ytterligare 20 - 25 år, samt att livstidsförlängningar på ytterligare 20 år övervägs, bedömer SSM att sådana åtgärder kan motiveras.

6.2 Radionuklidinventarium

SKB:s redovisning

SKB redogör för det arbete som bedrivs i två olika avsnitt, dels arbete med referensinventariet i avsnitt 6.4.1, dels metodutveckling för svärmätbara nuklider i avsnitt 6.4.2. För respektive område beskrivs både nuläge och det fortsatta programmet.

För referensinventariet har SKB sedan förra redovisningstillfället tagit fram en PM för att förtydliga förväntningarna rörande aktivitetsbestämningarna i avfall från avvecklingen. Detta innebär att SKB löpande kan uppdatera inventariet i takt med att reaktorinnehavarna genomför utredningar. SKB har även påbörjat utvecklingen av ett system som möjliggör inhämtning av information från radiologisk kartläggning inför avvecklingen. För interndelarna och reaktortankarna från kärnkraftverken kommer SKB att bevaka resultaten från provtagning och analys. SKB kommer även påbörja arbetet med en översyn av SFL-inventariet med den senaste informationen. Mer konkreta insatser, som karaktärisering av specifika avfallsfraktioner, exempelvis styrtavarna, kommer också att utföras.

I fråga om det historiska avfallet anger SKB att bolaget har haft regelbundna avstämningar med AB SVAFO för planera och strukturera karaktäriseringsarbetet samt utveckla en handlingsplan avseende vilken information som behövs i ett första skede för de olika avfallsfraktionerna. Baserat på resultaten från radionuklidtransportberäkningar kommer återkoppling ske om det finns behov av ytterligare karaktärisering av en specifik avfallsfraktion. Av redovisningen framgår inte om SKB har haft motsvarande avstämningar och återkoppling med övriga tillståndshavare på Studsviksområdet, Westinghouse Electric Sweden AB liksom Europeiska Spallation Source ERIC (ESS) som planerar för att omhänderta sitt avfall i SKB:s slutförvar.

Beträffande metodutveckling för svärmätbara nuklider anger SKB att det skett utvecklingsarbete dels kring en beräkningsmodell för bestämning av Mo-93 för kokvattenreaktorer, dels att verifierande mätningar har gjorts av de svärmätbara nukliderna Mo-93, Tc-99, I-129 och Cs-135. SKB har även gjort enstaka mätningar av svärmätbara nuklider eller elementsammansättningar. SKB beskriver det fortsatta programmet med att utveckla modellerna för att kvantifiera de svärmätbara nukliderna i olika avfallsfraktioner. Som en del i detta avses tillförlitligheten i hur aktiviteten i olika system fördelas per kolla.

Remissinstansernas synpunkter

Kungl. Vetenskapsakademien (KVA) konstaterar att det finns väldigt liten kompetens och expertis nationellt att bestämma och mäta ”svärmätbara” radionuklider inom såväl universitet, myndigheter, tillståndshavare och andra privata aktörer. Vidare pekar KVA på vikten av representativ provtagning och användningen av nuklidvektorer vid uppskattning av inventariet och konstaterar att endast ett fåtal prov har analyserats med avseende på svärmätbara radionuklider i utländska laboratorier. Att sända radioaktivt avfall utomlands innebär enligt KVA flera utmaningar, t.ex. att allt material måste sändas tillbaka till Sverige. KVA anser därför att det är förvånande att SKB inte har för avsikt att själv bygga upp kompetens och infrastruktur för att genomföra radioanalytiska analyser av



svärmätbara radionuklider och bedömer att detta skulle öka förtroendet och säkra att analyser kan genomföras med spårbarhet.

Kvalitativ Kärnavfallsinformation (KKI) anser att SKB bör värdera om det är möjligt att genom omvärldsanalys identifiera ett paraplyfall för svärmätbara nuklider och därefter säkra att slutförvaret klarar att hantera det. Därefter kan forskningen enligt KKI kanske inriktas på att minska paraplyet för att göra lösningarna mindre ambitiösa och öka kostnadseffektiviteten.

Milkas anser att kunskapen om avfallens innehåll av radionuklider behöver uppdateras och fördjupas.

SSM:s bedömning

SSM ser positivt på det utvecklingsarbete som SKB bedriver gällande nuklidspecifika analyser av aktivitetens innehåll i olika fraktioner av avfallet från kärnkraftverken. SSM delar KVA:s synpunkt att det är angeläget med en tillräcklig representativitet och spårbarhet i provtagningen. SSM bedömer att det inte i sig bör vara en central fråga om var mätningarna genomförs, men lagstiftningens nuvarande reglering av förutsättningarna för att slutförvara svenskt avfall i annat land indirekt kan tänkas påverka analysernas omfattning.

Beträffande den synpunkt som KKI för fram avseende provtagningens omfattning konstaterade SSM i granskningen av den säkerhetsanalys som redovisades 2001 för SFR att det förelåg osäkerheter av inventariet av strålsäkerhetsmässig betydelse (SSI rapport 2003:21). Genom uppdaterade villkor och därtill kopplade föreläggande riktade mot SKB har metoderna för att bestämma aktivitetens innehåll utvecklats på ett i många avseenden positivt sätt. SSM delar KKI:s synpunkt att det kan vara möjligt att optimera provtagningen allteftersom kunskapsläget utvecklas, men att initiativ i detta avseende i första hand bör tas hos avfallsproducenterna och SKB. SSM följer också denna frågeställning inom ramen för tillsyn av den kärntekniska verksamheten.

SSM ser särskilt positivt på att arbete bedrivs gällande karaktäriseringen av Mo-93, i synnerhet då den utifrån redovisade konsekvensanalyser ger ett betydande bidrag till beräknad stråldos från såväl SFR som SFL. Mot denna bakgrund ställer sig SSM positivt till att SKB i detta arbete också kommer att bättre karaktärisera styrtavarna, vilket också var en synpunkt som SSM förde fram i granskningen av SE-SFL.

En betydande del av det Mo-93 som förekommer i driftavfallet, bedöms ha sitt ursprung från spridarna i vissa bränsletyper. Lika viktigt som att karaktärisera avfallens innehåll av de radionuklider som är av störst betydelse från strålsäkerhetssynpunkt är att, i den utsträckningen så är möjligt och rimligt, undvika uppkomsten av avfall innehållande dessa nuklider. Krav om sådana åtgärder följer också av 3 kap. 9 § strålskyddslagen (2018:369). För Mo-93 föreligger sådana möjligheter i samband med upphandling och inköp av kärnbränsle. SSM hade sett ett värde i att reaktorinnehavarna och SKB inom ramen för Fud-programmet redovisat pågående och planerade insatser i detta avseende.

SSM ser i grunden positivt på de redovisade planerna för att förbättra tillförlitligheten i modellerna för att bestämma enskilda avfallskollis aktivitetens innehåll av radioaktiva ämnen. Det huvudsakliga problemet som bedöms föreligga är att SKB, genom den metodik som tillämpas, kan komma att underskatta förekomsten av långlivade radioaktiva ämnen i de förvarsdelar i befintliga SFR med en enklare barriärsutformning. Problemet med den tillämpade metoden bedöms ha bidragit till de avvikelser i fråga om deponerat aktivitetens innehåll jämfört med tillåtet aktivitetens innehåll som har uppdragats för SFR

(SSM2022-4457). Såsom SSM tidigare påpekat är en uppdatering av den tillämpade metodiken av betydelse för en förbättrad uppskattning.

SSM konstaterar att SKB ser möjligheter till återkoppling och vägledning till avfallsproducenternas karaktäriseringsarbete bland annat genom uppföljande radionuklidtransportberäkningar med hjälp av den beräkningsmodell som utvecklats inom ramen för SE-SFL. Även om SSM bedömer att sådana beräkningar kan vara användbara för återkoppling till den fortsatta karaktäriseringen, så är det angeläget att i högre grad beakta osäkerheterna i beräkningsmodellen liksom antaganden om förvarets långsiktiga utveckling än vad SKB gjorde i SE-SFL. Annars föreligger det risk att arbetet enbart fokuserar på arbete med att karaktärisera radionuklider med låg sorption i förvarsmiljön.

Såsom SSM framförde i granskningen över Fud-program 2019 så föreligger väsentliga utmaningar kopplat till osäkerheter relaterade till det s.k. historiska avfallet och hur dessa osäkerheter ska hanteras kopplat till svårigheterna att förbättra karaktäriseringen av avfallet. Vilka åtgärder som krävs gällande avfallets karaktärisering är dock avhängigt vilka osäkerheter som SKB kan acceptera. SSM bedömer att det är viktigt att SKB etablerar ett effektivt samarbete, inte bara med AB SVAFO, utan även med andra bolag på Studsviksområdet, i syfte att erhålla en bättre förståelse för det nuklidspecifika innehållet i avfallet. Underlaget bedöms nödvändigt för den fortsatta iterativa utvecklingen av SFL liksom underlag för framtagande av acceptanskriterier för avfallet.

I granskningen av SE-SFL pekade SSM på ett behov av klargörande av vissa specifika frågeställningar kring specificerat avfallstyper, hur den tillämpade metodiken utnyttjade dokumenterad kunskap om avfallet samt vilka möjligheter som det finns att förbättra kunskapen genom oförstörande och förstörande provning.

En särskild avfallsfraktion gäller de startstrålkällor som använts vid kraftverken. I SE-SFL antar SKB att den kortlivade radionukliden Cf-252 har använts. Såsom SSM anger i granskningen av SE-SFL är det av stor vikt att detta antagande kan verifieras. Om strålkällorna i stället tillverkats genom användande av Ra-226 eller Pu-239, ämnen som ofta nyttjas i neutronstrålkällor, skulle detta innebära att aktivitetsinnehållet av dessa ämnen kan vara underskattat med flera storleksordningar i förvarsdelen BHK.

6.3 Acceptanskriterier för avfall till SFL och det utbyggda SFR

SKB:s redovisning

SKB redogör i avsnitt 6.5 inledningsvis för att det idag finns en betydande mängd långlivat avfall i mellanlager hos avfallsproducenter och att det även kommer att uppstå under kommande drift och även vid rivning av de kärntekniska anläggningarna. De krav som kommer att ställas på det långlivade avfallet, acceptanskriterier för avfall, behövs för att kommande transporter och slutförvaring inte ska försvåras. Det kortlivade rivningsavfall som uppstår i rivningsprojekten behöver också tydliga förutsättningar för hur det ska hanteras så att detta avfall i så stor grad som möjligt ska överensstämma med acceptanskriterierna för slutförvaring i det utbyggda SFR.

SKB redogör för att de under den gångna Fud-perioden har påbörjat framtagning av acceptanskriterierna för avfall till BHK i SFL, för detta ligger resultaten från SE-SFL till grund för härledning av krav som berör säkerhet efter förslutning.

SKB redogör vidare att under den gångna Fud-perioden har vidareutveckling av acceptanskriterierna för avfall till utbyggt SFR skett och SKB ska ha tagit fram och härlett acceptanskriterier för avfall till samtliga nya förvarsdelar. Dessa baseras på den senaste

kunskapen om förvarets och transportsystemets utformning samt den analys av säkerhet som ingick i F-PSAR. Acceptanskriterierna ingår i PSAR och kommer sedan att vidareutvecklas baserat på resultatet från analysen av strålsäkerhet efter förslutning i PSAR.

SKB anger under programdelen att under den kommande Fud-perioden kommer en första version av preliminära acceptanskriterier för båda försvarsdelarna i SFL (BHK och BHA) att tas fram. De krav som kopplar mot strålsäkerhet efter förslutning av SFL har inte härletts genom den genomförda säkerhetsvärderingen, krav som kopplar mot driftverksamheten tas fram i samband med F-PSAR. En fortsatt utveckling av acceptanskriterierna för avfall i utbyggt SFR planeras under Fud-perioden, där utvecklingen baseras på resultaten från säkerhetsanalysen i PSAR. Vidare kommer en harmonisering att göras av acceptanskriterierna för utbyggt SFR så att det följer samma struktur som acceptanskriterierna för befintligt SFR.

Remissinstansernas synpunkter

Kvalitativ Kärnavfallsinformation (KKI) anser att SKB bör beskriva sin syn på acceptanskriterier för avfall. Enligt KKI styrs utformningen av SFL till stor del av avfallet, kopplat till karaktärisering av historiskt avfall i tunnorna i Studsvik. Om SKB sätter upp acceptanskriterier för SFL, undrar KKI hur det avfall som faller utanför dessa i sådana fall hanteras.

SSM:s bedömning

SSM konstaterar att redovisningen i Fud-program 2022 gällande acceptanskriterier för avfall (WAC) till SFL och utbyggt SFR har utvecklats vid jämförelse med redovisningar i tidigare Fud-program, exempelvis genom att det är första gången som Fud-program anger att det är aktuellt att ta fram preliminära acceptanskriterier för båda blivande försvarsdelarna i SFL under kommande Fud-period. SSM ser positivt på detta, då myndigheten inom ramen för Fud-processen under lång tid har angett att behovet av framtagande av riktlinjer för karaktärisering och konditionering av det långlivade avfallet är av stor vikt. SSM konstaterar samtidigt att det finns frågeställningar kring hur detta ska genomföras eftersom det finns kvarstående oklarheter kring utformningen av de båda försvarsdelarna i SFL. Såsom KKI konstaterar finns det uppenbara kopplingar mellan förvarens utformning och kraven som ställs på avfallsbehållarna. Enligt SSM:s uppfattning så behöver utvecklingsarbetet av förvarsutformning och avfallsemballage ske iterativt. SSM kan inte utifrån redovisningen utläsa hur och när de synpunkter som myndigheten har lämnat kring detta utvecklingsarbete kommer att omhändertas (i exempelvis granskningen av SE-SFL och tidigare granskning av Fud-program). SSM konstaterar att karaktärisering av avfallet och kunskap om inventariet ger viktiga delar men där även transportrelaterade krav behöver beaktas tillsammans med redan nämnda koppling till förvarets utformning.

SSM konstaterar att under Fud-perioden kommer det att träda ikraft bestämmelser som kopplar till området acceptanskriterier för behandling, lagring eller slutförvaring av avfall för planerad men ännu inte tillståndsprövad verksamhet. SSM anser att inför kommande redovisning i Fud-program är av vikt att det finns en tydlig uppfattning/uppdelning vad som ska redovisas inom ramen för Fud-program och vad som ska redovisas för att svara mot kommande bestämmelse. SSM anser att det är av vikt för att undvika risk för dubbelredovisning och otydlig hantering av frågan.

För det utbyggda SFR har utveckling skett av acceptanskriterierna för samtliga försvarsdelarna. Dock får SSM uppfattningen att harmonisering mellan de acceptanskriterier som är gällande för befintligt SFR och de som är gällande för utbyggt SFR först kommer att ske vid steget av SAR och inte till PSAR-steget. Mot bakgrund av att PSAR bl.a. syftar till att redovisa konstruktionsrelaterade krav på utbyggnaden är det



enligt SSM:s uppfattning nödvändigt att utvecklade acceptanskriterier ingår som en del av redovisningen inför prövning om uppförande.

6.4 Avfallsbehållare och avfallstransportbehållare

SKB:s redovisning

SKB anger i avsnitt 6.6.1 att arbetet under den gångna Fud-perioden har fokuserat på befintliga typer av avfallsbehållare och att värdera om dessa kan användas i olika bergsalar och slutförvar. Detta inkluderar SFL där arbetet görs med utgångspunkt från det avfall som planeras att deponeras och den kravbild som förväntas gällande långlivat avfall. Specifikt för styrstavar från kokvattenreaktorer så har en studie genomförts för att analysera lämpligheten hos olika avfallsbehållare. Studien omfattade bland annat ett tidigt koncept för avfallsbehållare långkokill, vilken dock inte förväntades kunna uppfylla gällande krav avseende strålsäkerhet, transportbarhet och mellanlagring.

För det fortsatta programmet avser SKB att löpande bevaka behovet av ny- eller vidareutveckling av avfallsbehållare. SKB avser att undersöka möjligheten att utforma och använda en tät behållare i SFL.

SSM:s bedömning

SSM konstaterar att redovisningen i Fud-program 2022 är otydlig i fråga om vilka åtgärder som kommer att genomföras under den kommande Fud-perioden, exempelvis vilka åtgärder som avses vidtas och för vilka avfallsfraktioner som arbetet med behållare till SFL syftar till. Enligt SSM:s bedömning kvarstår ett utvecklingsarbete i fråga om att klargöra de krav som avses ställas på avfallsbehållarna i respektive förvarsdel i SFL. Mot bakgrund av att avfall redan i dagsläget förpackas hos avfallsproducenterna, om än på ett sätt som medger omkonditionering, så föreligger ett behov av klargöranden av riktlinjer för avfallsbehållarnas utformning.

SSM konstaterar att det planerade omhändertagandet av det långlivade avfallet förefaller utgå från avfallens ursprung, snarare än dess egenskaper. SSM bedömer, vilket också framfördes i granskningen av SE-SFL, att SKB behöver utvärdera avfallens hantering och styrning närmre för att på ett så lämpligt sätt som möjligt utnyttja de båda förvarsdelarnas barriäregenskaper. I detta ingår att utvärdera att styra metalliskt avfall från t.ex. avvecklingen av R2 på Studsviksområdet till BHK samt att på motsvarande sätt utvärdera att slutförvara långlivade strålkällor från kraftverken i BHA.

I granskningen av Fud-program 2019 bedömde SSM att redovisningen pekade på oklarheter i ansvarsfördelning mellan avfallsproducenterna och SKB. SSM bedömer att utvecklande av ändamålsenliga avfallsbehållare som en viktig fråga för en lämplig konditionering av avfallet hos avfallsproducenten. Ytterst bör syftet vara att de avfallsbehållare som används är lämpliga för såväl hantering som mellanlagring hos avfallsproducenten, som i samband med transporter samt lämpliga för slutförvaring. SSM ser positivt på det arbete som har genomförts i fråga om ändamålsenligheten i de befintliga avfallsbehållarna, men konstaterar att redovisningen är kortfattad i fråga om insatserna kopplat till SFL. SSM hade exempelvis värdesatt en tydligare redovisning av det planerade arbetet med att utforma och använda en tät behållare för SFL.

Frågan om den lämpligaste hanteringen av styrstavar från kokvattenreaktorer har varit föremål för prövning kopplat till kapacitetsökningen av Clab.

6.5 SSM:s samlade bedömning

SSM konstaterar i granskningen av SKB:s generella forskningsverksamhet att det görs en del fördjupningar, men bedömer att det saknas en tydlighet i hur tidigare lämnade granskningskommentarer har omhändertagits t.ex. rörande gasbildning.

I fråga om återsvällning av bitumeningjutna jonbytmassor delar SSM SKB:s bedömning att frågan är svårbedömd. SSM konstaterar att det saknas ett konkret program för det fortsatta arbetet att utreda frågan, och att detta är av betydelse både för att värdera redan deponerat avfall i SFR och för att värdera framtida produktion. SSM anser att Forsmarks Kraftgrupp AB, vilken är den enda kvarvarande anläggningen som fortfarande konditionerar avfall i bitumen, bör överväga att övergå till injutning i cementmatris.

SSM har sedan en tid påpekat behovet av en utvecklad metodik för hur icke-systembunden aktivitet ska fördelas och tillskrivas de olika förvarsdelarna i SFR. SSM ser därför positivt på sådana förbättringar som begränsar risken för att aktivitetsinnehållet underskattas i de förvarsdelar med enklare barriärsutformning. Utvecklade acceptanskriterier behövs som en del av PSAR inför ansökan om uppförande av utbyggnationen av SFR.

I fråga om avfall till SFL är det enligt SSM:s uppfattning angeläget att SKB tillsammans med avfallsproducenterna genomför ett iterativt arbete med karaktärisering av avfallet, utveckling av acceptanskriterier och fortsatt utveckling av förvarskonceptet.

7 Omhändertagande av använt kärnbränsle

7.1 Genomförandeplan för använt kärnbränsle

SKB:s redovisning

SKB redovisar i avsnitt 3.3 i Fud-program 2022 den övergripande genomförandeplanen för omhändertagande av använt kärnbränsle.

Genomförandeplanen omfattar följande identifierade komponenter:

- Planering och förberedelser för utökning av mellanlagringskapaciteten vid Clab.
- Slutförande av tillståndsprovningar i mark- och miljödomstolen.
- Säkerhetsredovisningar i samband med fortsatt provning enligt regeringsvillkor för tillstånd enligt kärntekniklagen.
- Planering, projektering, uppförande och driftsättning av:
 - Slutförvarsanläggningen i Forsmark och produktionssystemen för buffert, återfyllningsmaterial och valvplugg,
 - Anläggningar för mellanlagring och inkapsling i Oskarshamn (Clink) och produktionssystemet för kapslar.
- Fortsatt forskning och teknikutveckling.

Den övergripande planeringen bygger på de prioriteringar som redovisas i den inledande delen av avsnitt 3, där SKB beskriver den strategiska inriktningen som har antagits. Detta innebär bland annat att den förstnämnda komponenten avseende mellanlagringskapaciteten vid Clab får den högsta prioriteringen medan fortsatt provning enligt miljöbalken respektive kärntekniklagen för KBS-3-systemet nedprioriteras något jämfört med utbyggnaden av SFR. Dessutom anger SKB i avsnitt 3.1 att den översiktliga planeringen för utbyggnad och uppförande av anläggningar utgår från de olika tillstånd och medgivanden som erfordras vid fortsatt provning enligt miljöbalken respektive kärntekniklagen. De olika stegen i denna process, som motsvarar olika steg i själva

uppförandet och driftsättningen av anläggningarna, blir sedan milstolpar i den redovisade genomförandeplanen.

I frågan om mellanlagring vid Clab (avsnitt 3.3.2) beskriver SKB översiktligt vilka åtgärder som planeras för att kunna ta emot i befintliga bassängerna det använda bränsle som fortsatt kommer att produceras i svenska kärnkraftsreaktorer. Mellanlagring kommer fortsättningsvis att behövas under flera decennier även efter (enligt övriga delar av planen) Kärnbränsleförvaret och inkapslingsdelen i Clink tas i drift under andra hälften 2030-talet.

SKB beskriver de närliggande milstolparna i uppförandet av KBS-3-systemets anläggningar så som huvudförhandlingen om tillstånd och villkor i mark- och miljödomstolen och inlämnandet av PSAR inför uppförande av Kärnbränsleförvaret respektive inkapslingsdelen Clink till SSM. Enligt tidplanen inleds då uppförande av dessa anläggningar först under andra hälften 2020-talet. SKB:s aktivitets- och milstolparplan för etablering av Kärnbränsleförvaret och Clink (Figur 3-5) innefattar dock inte några fasta tidpunkter utan presenteras mot återkommande Fud-redovisningar som referenspunkt. Motsvarande text i avsnitt 3.3.3 och 3.3.4 ger inte heller någon direkt indikation på hur SKB har tänkt i frågan om synkronisering mellan de två anläggningarna. Figur 3-5 visar dock att inlämnande av PSAR för Clink antas ske något senare än motsvarande steg för Kärnbränsleförvaret. Figuren visar dessutom att SKB siktar på att uppförande av dessa två anläggningar ska slutföras samtidigt, för att kunna inleda provdrift av systemet som helhet.

Utöver framtagandet av underlag för inlämnandet av ansökningar i olika skeden innan anläggningarna får tas i rutinmässig drift, samt det omfattande arbete som ingår i projektering såväl som själva uppförande av anläggningarna, identifierar SKB ett antal kritiska utvecklingsmoment som återstår att genomföra i anslutning till uppförande av både Clink och Kärnbränsleförvaret. Bland det arbete som SKB beskriver som en del av den kommande Fud-perioden ingår:

- Planering av produktionssystemet för kapslar, inklusive optimering och vidare designutveckling av kapselkomponenter samt processer för kvalitetsstyrning och -kontroll.
- Färdigställande av systemet för produktion av buffert, återfyllning, plugg samt metodik och maskiner för installationer.

En översiktlig beskrivning av de forsknings- och utvecklingsbehov som identifierats i samband med genomförandeplanen för använt kärnbränsle ges i avsnitt 4.1.3 i Fud-program 2022 (se även avsnitt 3.6 i föreliggande rapport). Denna beskrivning utgör en brygga mellan de strategiska milstolparna inom anläggningsprogrammet (Kärnbränsleförvaret och Clink) och de specifika insatser som SKB anser nödvändiga för att kunna förverkliga genomförandet. Som sådan innefattar denna komponent av genomförandeplanen även den verksamhet som kommer att bedrivas som stöd för att vidareutveckla och förstärka analyser inför kommande prövningssteg samt att för att ge de marginaler som behövs för att kunna genomföra optimering i konstruktionen av slutförvaret och dess tekniska barriärer.

Även kapseltransportbehållaren ingår i KBS-3-systemet men dess utveckling beskrivs i Fud-program 2022 under rubriken Genomförandeplan för transporter (avsnitt 3.6) snarare än som en del av genomförandeplanen för använt kärnbränsle. Utveckling av transportbehållaren syns alltså inte i den övergripande aktivitets- och milstolpeplan för etablering av KBS-3-systemet (Figur 3-5).

Några förändrade förutsättningar som anses kunna påverka genomförandeplanen för använt kärnbränsle, samt deras tänkbara konsekvenser, beskrivs i avsnitt 3.7.1

(Kärnkraftreaktorernas drifttider) och avsnitt 3.7.5 (Driftsättning av Kärnbränsleförvaret och Clink).

Remissinstansernas synpunkter

Kvalitativ Kärnavfallsinformation (KKI) saknar tidsangivelse i form av årtal för när vissa milstolpar i genomförande planen är tänkta att uppnås. KKI menar att detta gör det svårare för intressenter och allmänheten att kunna förstå målsättningar och att följa framstegen i genomförandet.

KKI anser att den lägre prioriteringen av KBS-3 jämfört med SFR som praktisk men att detta innebär ändå att SKB ”överger ambitionen att snarast möjligt färdigställa slutförvaret för använt kärnbränsle”. KKI menar att SKB blundar för eventuella stora konsekvenser (dvs. att industrin inte lever upp till principen om att slutförvar ska etableras av de generationer som dragit nytta av den svenska kärnkraften) som istället bör åtgärdas. Vidare konstaterar KKI med hänsyn till avsnitt 3.7.5 att SKB betraktar möjligheten till att ta KBS-3-anläggningarna i drift tidigare än planerat som liten, vilket kan anses märkligt med tanke på de betydande förändringar i tidplanen som skett sedan Fud-2019.

Några remissinstanser lyfter frågor som berör eventuella ändringar i förutsättningar för genomförandeprogrammet för använt kärnbränsle, antingen på grund av mycket längre drifttiderna för befintliga reaktorer eller som resultat av att nya reaktorer utvecklas i Sverige. *Östhammars kommun* påminner om att regeringens beslut om tillståndet för Kärnbränsleförvaret är begränsat till den mängd som angetts i ansökan, vilket enligt kommunen innebär att en utökning av slutförvarets kapacitet skulle kräva en förnyad tillåtlighetsprövning. *Kävlinge kommun* anser att SKB under kommande Fud-period bör genomföra en analys av hur avfall och använt kärnbränsle skulle kunna inrymmas genom justeringar i vad som nu projekteras.

Milkas lämnar en rad synpunkter avseende omfattningen av de frågor som föreningen anser bör behandlas vid de kommande prövningssteg som utgör milstolpar i SKB:s genomförandeplan, både i mark- och miljödomstolen och enligt regeringens villkor i samband med tillstånd enligt kärntekniklagen.

Naturskyddsföreningen, Jordens Vänner och Miljöorganisationernas kärnavfallsgranskning (föreningarna) påpekar, också med hänvisning till SKB:s övergripande tidplan, att en förutsättning för att kunna genomföra KBS-3-programmet är ett beslut i Högsta förvaltningsdomstolen som tillstyrker regeringens beslut i frågor om tillåtlighet enligt miljöbalken och tillstånd enligt kärntekniklagen. Föreningarna anser också att forskningsprogrammet inte är tillräckligt omfattande för att SKB ska kunna skaffa sig den kunskap som enligt föreningarnas uppfattning behövs om Kärnbränsleförvarets barriärer och deras funktioner för att SSM ska kunna ge sitt medgivande till framtida steg i uppförande och drift av anläggningen i enlighet med SKB:s genomförandeplan.

SSM:s bedömning

SSM konstaterar att den omvärdering som skett sedan Fud-program 2019 när det gäller programmets strategiska inriktning samt de övergripande genomförandeplanerna kan förstås mot bakgrund av såväl det faktum att flertal regeringsbeslut har fattats i olika ärenden som tidpunkterna för dessa beslut. Utifrån dessa utgångspunkter förklarar SKB i inledningen till avsnitt 3 logiken bakom att nu prioritera utbyggnaden av SFR före KBS-3-systemet i den fortsatta miljö- och KTL-prövningen. SSM anser att följderna av SKB:s strategiska val när det gäller genomförandeplanen för omhändertagandet av använt kärnbränsle utgör ett realistiskt svar på ändrade förutsättningar från omvärlden.

SSM noterar dock att en viktig faktor som inte går att bedöma utifrån SKB:s presentation i figur 3-5 är förhållandet mellan utveckling, uppförande och driftsättning av de olika

anläggningarna i KBS-3-systemet och tidsåtgången för konstruktion, tillverkning och licensiering av transportbehållarna för kapslarna. Det finns också vissa moment i hanteringen av kapslarna vid lastning och lossning av transportbehållaren som hittills är otydligt redovisade och som skulle kunna ha betydelse för systemet som helhet. Även om utvecklingsplaner för transportbehållaren förmodligen inte ligger på den kritiska linjen för omhändertagandet av använt kärnbränsle, saknar SSM en mer uttrycklig indikation på hur planerna för behållaren passar in i andra delar av tidsplanen för KBS-3.

Det framgår av redovisningen att SKB inte ser några realistiska möjligheter att kunna driftsätta Kärnbränsleförvaret och Clink väsentligt tidigare än andra hälften av 2030-talet (avsnitt 3.7.5). Enligt SSM:s bedömning speglar denna slutsats en realistisk uppskattning av såväl de tekniska utmaningar som är kopplade till projektering och uppförande av anläggningarna, som den framtida handläggningen inför domstols- och myndighetsbeslut. Att en senareläggning bedöms vara mer sannolik än en betydande tidigareläggning speglar också generell erfarenhet av stora infrastrukturprojekt. SSM tolkar SKB:s redovisning som att befintlig planering medger en tidsmarginal på cirka sju till åtta år efter andra hälften av 2030-talet, som kan utnyttjas om utlastning inte kan påbörjas som planerat innan den utökade mellanlagringskapaciteten av Clabs bassänger överskrids. SSM anser det ändå vara klokt av SKB att å reaktortillståndshavarnas vägnar överväga vid vilken tidpunkt, och mot vilka indikatorer, man skulle behöva utveckla alternativa mellanlagringsstrategier för sluthärdarna för Forsmark 3 och Oskarshamn 3 samt eventuellt annat använt kärnbränsle som av någon anledning inte rymts i bassängerna.

SKB identifierar några omvärldsfaktorer som kan påverka genomförandeplanen för KBS-3-systemet, både vad gäller planens omfattning (avsnitt 3.7.1) och dess angivna milstolpar (avsnitt 3.7.5). SKB:s redovisning indikerar att det finns en marginal inom den dimensionerade kapaciteten för slutförvarets referensutformning (som var föremål för tillståndsprövning) för att kunna ta emot bränsle kopplat till en drifttid för befintliga reaktorer som är något längre än nuvarande planer på 60 år. Myndigheten konstaterar dock, liksom Östhammars kommun, att regeringens beslut i tillåtighets- och tillståndsfrågorna sätter en gräns (även om detta inte är mer precist än ”cirka 12 000 ton”) för Kärnbränsleförvarets kapacitet samt även specificerar vilket bränsle som får slutförvaras.

Enligt SSM:s uppfattning ankommer det inte på SKB att inom Fud-programmet spekulera hur ändrade förutsättningar för produktion av använt kärnbränsle skulle kunna förändras i framtiden, bortom de befintliga tillståndshavarnas egna planer. De är naturligtvis viktigt att ställa frågan utifrån ett nationellt perspektiv om betydelsen för nuvarande planering av, t.ex. ett eventuellt nytt kärnkraftsprogram och vad detta skulle kunna innebära för både mängd och typ av använt kärnbränsle och annat kärnavfall. Fram tills dess att sådana faktorer blir en del av vad som formellt omfattas av reaktortillståndshavarnas förpliktelser enligt bl.a. 11-12 §§ kärntekniklagen anser SSM dock att den offentliga debatten kring strategiska alternativ och vad de skulle innebära för det nationella programmet inte bör tas upp i Fud-redovisningen.

Att SKB i presentationen av sina planer väljer att inte längre specificera några tidsangivelser, utan istället använder återkommande Fud-redovisningar som referenspunkt, är en förändring som har fått viss uppmärksamhet från Kvalitativ Kärnavfallsinformation. I rapporttexten använder SKB även termer som ”andra hälften av 2020-talet” och ”mitten av 2040-talet”, vilket enligt SSM:s uppfattning också lyfter fram ett planeringsperspektiv som hellre belyser ordningen i vilken saker och ting behöver utföras, snarare än specifika mål med avseende på årtal. SSM anser att ett sådant presentationssätt inte behöver vara problematiskt med hänsyn tagen till att det fortfarande finns många faktorer som kan påverka den fortsatta detaljerade tidsplaneringen och som

till stor del ligger utanför SKB:s kontroll. Myndigheten tolkar därför den bakomliggande orsaken till ändringen som ett försök att förmedla realism kring planerna givet den nuvarande kännedomen om relevanta omvärldsfaktorer snarare än en försämring av information till intressenter och allmänhet.

7.2 Använt kärnbränsle

SKB redogör för insatser inom forskning, utveckling och demonstration avseende området använt kärnbränsle i kapitel 7 i Fud-program 2022. SSM:s granskning och kommentarer rörande frågeställningar om använt kärnbränsle presenteras i detta avsnitt.

7.2.1 Icke-reguljära kärnbränslen och bränsleintegritet

SKB:s redovisning

Med icke-reguljärt kärnbränsle avses bland annat bränsle från Ågestareaktorn, bränslerester från provningsprogram i Studsvik, Mox-bränsle samt skadat bränsle. Icke-reguljära bränslen utgör en mycket liten del av den totala mängden av bränsle som planeras att slutförvaras i Kärnbränsleförvaret. I avsnitt 7.1 i Fud 2022 beskriver SKB även insatser för att öka kunskapen om bränsleintegritet, bland annat i fråga om degraderingsmekanismer i bränsle och strukturmateriell. Av redovisningen uppfattar SSM att dessa insatser inte är avgränsade till det icke-reguljära bränslet.

Två metoder har använts för omhändertagande av skadade bränslestavar vid svenska kärnkraftverk. Den ena baserar sig på så kallat Quiver-koncept, och den andra är att placera skadat bränsle i hylsor. I både metoderna placeras de skadade bränslestavarna i vattentäta behållare för PWR- respektive BWR-bränsle. För det mindre antalet läckande bränslestavar i Clabs bassänger, har SKB under den senaste Fud-perioden bland annat genom modellering (SKB TR-21-12) studerat radiolys av ångblandning (luft, Ar och vattenånga) inne i kapseln och processer för oxidering av bränslekutsar. Modelleringsinsatserna ligger till grund för strategin för omhändertagande av skadat bränsle från Clab. SKB uppger att en optimering ska göras i fråga om att minska riskbidraget till säkerhet efter förslutning och minska risken för dos till personal vid eventuella bränslereparationer.

Under den senaste Fud-perioden har SKB även inhämtat information från internationella studier inom EU-projektet DisCo. I projektet har skadat bränsle (bränslerester från en gammal gaskyld reaktor som har förvarats i vatten längre än 40 år) och Mox-bränsle studerats med avseende på bränsletypernas upplösning under slutförvarliknande miljö.

Programmet för den kommande Fud-perioden omfattar: att följa upp erfarenheter från driften av kärnkraftverken i Sverige och internationellt genom bl.a. deltagande i internationella konferenser och nya forskningsprojekt (t.ex. Scip VI); att utveckla modellen för radiolys av kvarvarande vätskor och gaser i en försluten kapsel; att laka bränsleprover i syresatta miljöer för att studera oxidation av bränslematrisen; att fortsätta studera skadat bränsle som finns på Studsvik; samt att undersöka olika mindre fraktioner av icke-reguljärt bränsle för att kunna fastställa deras egenskaper och bidrag till risk efter förslutning av slutförvar.

SKB:s insatser för att öka kunskap om bränslets strukturintegritet har under den senaste Fud-perioden omfattat följande. Inspektion av Mox-bränsle från Tyskland och Ågestabränslet inom ramen för åldringsprogrammet, vilket hittills inte visat på några pågående åldringsfenomen hos dessa bränslen. Provkuponger av samma typer av metaller som används i bärande delar av bränsleelement har studerat och ingen korrosion upptäckts. SKB har, via Vattenfalls samarbete med Electric Power Research Institute, Inc

(EPRI), numera tillgång till EPRI:s databas inom bränslerelaterade frågor där erfarenheter rörande bränsledegradering finns sammanställd.

Programmet för den kommande Fud-perioden omfattar: att systematiskt sammanställa status av bränsletyper med svaghet i konstruktion vilket skulle kunna medföra problem vid det fortsatta omhändertagandet; att starta ett projekt för att erhålla kunskap om olika degraderingsmekanismer i bränsle och strukturmaterial särskilt i fråga om Ågesta- och Mox-bränsle; samt uppdatering av åldringsprogrammet för kärnbränsle som en följd av pågående arbete med att kartlägga degraderingsprocesser.

SSM:s bedömning

SSM bedömer att SKB:s redovisning av genomförda forskningsinsatser i bränsletyper av icke-reguljärt bränsle är ändamålsenliga. SSM ser positivt på att SKB under föregående Fud-period har genomfört forskningsinsatser i omhändertagande av fler typer av icke-reguljärt bränsle (Ågestabränsle och Mox-bränsle) som SSM efterfrågade vid granskningen av Fud-program 2019. Det är också positivt att SKB arbetar med att fördjupa processförståelse av inverkan av kvarvarande blandning av vattenånga, argon gas och luft på oxidering av skadat bränsle i kapseln med syfte att optimera bedömningen av riskbidrag från skadat bränsle i bränsleelementen som nu lagras i Clab.

SSM bedömer att SKB:s redovisning om fortsatt arbete kring frågor av icke-reguljärt bränsle under kommande Fud-period är rimligt ändamålsenliga. Angående frågan om riskbidrag från den kvarvarande blandningen av ångan, inertgasen och luften anser SSM att SKB i kommande Fud-period bör fastställa såväl den rimliga mängden av vatten som inte går att torkas ut i typiska skadade bränslestavar som andelen kvarvarande luft inne i kapseln.

SSM bedömer att SKB genom undersökningar av bränsle från Ågestareaktorn och Mox-bränsle har beaktat SSM:s kommentar från granskningen av Fud-program 2019 om degraderingsmekanismer för dessa bränsletyper. I den föregående granskningen framförde SSM vidare att det är viktigt att SKB utvecklar egna kontrollmetoder och forskningsstudier för att öka kunskapen om åldringsfenomen specifika för mellanlagring i våt miljö och säkerställa framdrift i att utveckla och etablera ett åldringsprogram för bränsle i Clab. I granskningen av Fud-program 2022 bedömer SSM att identifierade insatser i fråga om bränsleintegritet för Fud-perioden är relevanta och angelägna. Insatserna bedöms kunna öka kunskap och systematik i fråga om strukturintegritet för bränsletyper med svaghet i konstruktionen, kartlägga degraderingsmekanismer i bränsle och strukturmaterial och att utveckla åldringsprogrammet för det använda kärnbränslet.

7.2.2 Bränslekaraktärisering, resteffekt och strålning

SKB:s redovisning

I avsnitt 7.2 redovisar SKB området bränslekaraktärisering, resteffekt och strålning. SKB:s redovisning av bränslekaraktärisering är inriktad på mätning och beräkning av resteffekt och strålning hos bränsleelementen. Kännedom om resteffekt hos individuella bränsleelement är avgörande för hantering av bränsle i de olika stegen i kärnbränslecykeln, dvs. transport, mellanlagring, inkapsling och slutförvaring. Bränslekaraktärisering har även grundläggande betydelse för kärnämneskontroll. SSM:s granskning och bedömning av frågor om kärnämneskontroll med avseende på använt kärnbränsle redovisas i kapitel 9 i denna granskningsrapport.

SKB:s bränslekaraktäriseringsprojekt är indelat i tre faser och den andra fasen avslutades 2021. Syftet med projektet är att utveckla metoder och instrument för användning i bränslemätstationen i inkapslingsanläggningen. I projektet har en uppsättning av bränsle

som omfattar 25 PWR- och 25 BWR-bränslen karakteriserats såväl kalorimetriskt som genom gamma- och neutronmätningar. Resultaten från projektet utgör en benchmark som används i branschen, både inom EU (Eurad) och internationellt (NEA och SKB:s samarbete med EPRI, Electric Power Research Institute Inc.). SKB:s arbete inom området omfattar även tillämpning av metoder som utvecklas av Los Alamos National Laboratory i USA och ett blindtest med syfte att jämföra uppmätt och beräknad resteffekt. Resteffektberäkningar för Clab och för transportsystemet görs med SNF-koden (Studsvik Nuclear Fuel). I samband med arbetet att bestämma resteffekten har SKB stärkt kapaciteten att utföra termisk modellering för att kunna beräkna temperaturerna i olika delar av KBS-3-systemet. Dessutom leder SKB arbetspaketet Spent Fuel Characterisation (SFC) inom Eurad.

SKB har utrett bränslets strålning och dess påverkan på materialegenskaper hos de tekniska barriärerna i slutförvaret genom Monte Carlo-simuleringar av gamma- och neutronstrålning från olika vanliga typer av bränsle.

SKB:s fortsatta arbete inom området under Fud-perioden kommer att omfatta den sista av de tre faserna av ett projekt för att utveckla bränslekarakteriseringsmetoder och instrument. Syftet är att ta fram industriellt tillämpliga metoder och bygga en fullskaleprototyp för karakterisering av bränsle inför inkapsling. Karakteriseringen kommer att omfattas även Ågesta- och Mox-bränslet. SKB fortsätter att samarbeta med de nationella laboratorierna och forskningsinstitut i USA samt lärosäten i Sverige, och att delta i EU:s (genom Eurad) och IAEA:s aktiviteter i områdena såsom termiska analyser i bränslets och kapselns närområde, validering av resteffekt och ombyggnation av befintlig kalorimeter i Clab samt fortsätta etableringen av egen kapacitet för termisk modellering inom SKB:s organisation.

SSM:s bedömning

Utifrån SKB:s redovisning bedömer SSM att SKB:s genomförda forsknings- och demonstrationsinsatser samt SKB:s planerade fortsatta arbete inom området bränslekarakterisering med avseende på bränslets resteffekt och strålning är ändamålsenliga och nödvändiga. SSM instämmer med SKB att bestämning av bränslets resteffekt är av stor betydelse för hanteringen av bränsle i många steg i bränslecykeln. SSM anser att det är positivt att SKB har etablerat samarbeten både nationellt och internationellt. SSM ser dock att redovisningen på ett tydligare sätt kan ange milstolpar och tidplan för planerade utvecklingsinsatser inom SKB:s organisation.

7.2.3 Bränsleinformation och optimering inför inkapsling

SKB:s redovisning

SKB:s satsningar inom området, vilket redovisas i avsnitt 7.3, handlade om såväl identifiering och insamling av bränsleinformation inför hantering och slutförvaring av bränsle, som kvalitetssäkring av den befintliga informationen i olika databaser. Relevant information om det använda bränslet är drifhistorik, geometri, material och nukleär design för beräkning av exempelvis inventarium, resteffekt och reaktivitet. För kärnämneskontrollen samt för att stödja praktisk hantering av bränsle i Clink, behöver uppgifter hos bränsle såsom rekonstruktioner, skador och upptäckta svagheter i material samlas in. Den insamlade bränsleinformationen ligger även till grund för informationsbevarande för kommande generationer. SSM:s bedömning avseende bevarande av information återfinns i avsnitt 3.9 i föreliggande granskningsrapport.

SKB skriver att det i allmänhet finns mindre detaljerad information för äldre bränsle. I vissa fall finns inte heller detaljerad driftdata sparad hos kärnkraftverken. SKB anser att

riktlinjer behöver tas fram för vilka osäkerheter som kan associeras med sådana bränslen i strålsäkerhetsanalyserna.

Information om bränsle är av betydelse för urval av bränsleelement som ska placeras i en viss kapsel. Relevanta parametrar är: resteffekt, kriticitet, strålningsnivåer på kapselns utsida, inkapslingstakt, startdatum för inkapsling och att minimera antalet förflyttningar av bränsle i mellanlagret. SKB beskriver att en algoritm och ett program för inkapslingsoptimering, baserat på tillgänglig bränsleinformation, kommer att tas fram av ett pågående projekt och att resultatet planeras att finnas tillgängligt vid inkapslingstillfället. SKB beskriver att andra parametrar som måste tas med i analyser för att optimera antalet kapslar är inkapslingstakt, startdatum för inkapsling samt att minimera antalet förflyttningar av bränsle i mellanlagret.

I SKB:s planerade fortsatta arbeten under kommande Fud-period inkluderar insamling och kvalitetssäkring av bränsleinformation från kärnkraftverk och bränsletillverkare, koppling av olika beräkningsprogram till bränsledatabaser, samt nämnda utveckling och utvärdering av en algoritm för val av bränsleelement vid inkapsling.

I avsnitt 7.4 beskriver SKB arbetet med sammanställning av acceptanskriterier för mottagning och mellanlagring av bränsle i Clab samt för de verksamheter som är planerade vid de kommande anläggningarna Clink och Kärnbränsleförvaret.

SSM:s bedömning

SSM bedömer att SKB:s identifierade utvecklingsinsatser inom området bränsleinformation och val av bränsle inför inkapsling är relevanta och angelägna. SSM ser positivt på att SKB planerar att under innevarande Fud-period ta fram riktlinjer för att erhålla tillräckligt detaljerad information om äldre bränslen.

SKB har angivit att en algoritm och datorprogram för urval av bränsle för inkapsling planeras att finnas tillgängligt vid inkapslingstillfället. SSM tolkar uppgifterna som att det är tidpunkten för provdrift under andra halvan av 2030-talet som avses. SSM bedömer att övergripande principer och avvägningar för urval av bränsle med tillhörande logistik är en fråga av betydelse för konstruktion av kärnbränsleförvaret och Clink och att detta behöver vara klarlagt till PSAR-skedet. Implementeringen av den mer praktiska hanteringen givet specificerade ramar i PSAR kan därefter preciseras under åren fram till ansökan om provdrift. SSM noterar att SKB nämner att inkapslingsoptimeringen behöver ta hänsyn till att minimera antalet förflyttningar av bränsle i mellanlagret men ser även att en begränsning av den mängd radioaktiva ämnen som vid varje tillfälle finns i ovanjordsdelarna är en parameter av betydelse för strålsäkerheten att beakta vid framtagande av principer och avvägningar av urval av bränsle för inkapsling.

7.2.4 Kriticitet

SKB:s redovisning

För kriticitetsberäkningar (avsnitt 7.5) tillämpar SKB utbränningskreditering för PWR-bränsle och kreditering av brännbara absorbator (BA-kreditering) för BWR-bränsle. SKB har tidigare studerat inverkan på kriticitetssäkerhet av möjlig förändring av de interna materialen i kapseln och deras geometrier efter kapselbrott och grundvattensinträngning. Under den gångna Fud-perioden har SKB kompletterat studien med utredning av den långsiktiga stabiliteten hos olika fissionsprodukter och andra nuklider som tillgodoräknas i kriticitetsanalysen. Mot detta ändamål refererade SKB publicerade resultat i litteraturen från naturanalogstudier av de Oklo naturliga reaktorerna (Hidaka och Holliger, 1998) då Gd upptäcktes att vara kvar i urandioxid i miljontals år, samt från lakningsförsök av

använt kärnbränsle (Ekeroth m.fl., 2020) där metalliska Mo, Tc, Ru och Rh frigörs kongruent med urandioxid under förhållanden som liknar slutförvarsmiljön.

SKB påpekar att de internationella standarder och riktlinjer till kriticitetsanalyser som SKB använder sig av inte täcker alla aspekter som måste beaktas i de långsiktiga säkerhetsanalyserna för Kärnbränsleförvaret. SKB deltar därför i det internationella samarbetet PCCS (*post closure critical safety*).

SKB:s fortsatta arbete med kriticitetsanalyser under kommande Fud-period kommer att omfatta följande: att vidareutveckla metoder för att täcka de aspekter som är unika i den långsiktiga säkerheten för Kärnbränsleförvaret, inklusive att välja lämpliga experiment för validering av beräkningskoder, att delta i internationellt samarbete samt att utreda effekter av eventuella geometri- och materialförändringar i kapseln. SKB kommer även att ta fram metodik för kapselspecifika kriticitetsanalyser av bränsle som inte uppfyller dagens utbränningskriterier (t.ex. ettårigt bränsle i sista härden från PWR-reaktor).

SSM:s bedömning

SSM bedömer att SKB:s arbete med kriticitetsanalys i förhållanden till långsiktig utveckling av geometrin och materialsammansättningen i kapseln är ändamålsenligt. Även SKB:s planerade arbete under innevarande Fud-period bedöms godtagbart. SSM anser dock att SKB under Fud-perioden ta fram en detaljerad plan med tydliga milstolpar för detta utvecklingsarbete.

7.2.5 Bränsleupplösning

SKB:s redovisning

SKB:s forskning om bränsleupplösning (avsnitt 7.7) är inriktad på studier av matrisupplösning och frigörelse av gapinventariet men vissa insatser för att öka kunskap om korrosion av kapsling och andra strukturmaterial inkluderas också i arbetet.

Under den gångna Fud-perioden har ett antal forskningsuppdrag i Studsvik i det mångåriga bränslelagningsprojektet ”Serie 3” helt eller delvis avslutats. I uppdraget lakades bränsle i kolvar i syresatt miljö. Det återstår att sammanställa alla data från 1982 och publicera resultaten i en sammanfattande artikel eller i en rapport. Vissa ytterligare studier har genomförts på bränsleproven som ingick i lagningsförsöken för att utreda omvandlingen av bränslematrisen och bildningen av sekundärfaser under cirka 37 års tid. Trots att en syresatt miljö inte motsvarar slutförvarsmiljön anser SKB att resultat från dessa försök ändå kan ge värdefull information till en bättre förståelse av processerna för bränsleupplösning i slutförvarsmiljön, t.ex. frigörelse av gapinventariet. För bränsleupplösning under slutförvarsliknande förhållanden fortsätter SKB arbetet med att utreda inverkan av vätgas på bränsleupplösningen och har kommit till slutsatsen att vätgas motverkar oxidativ upplösning även för bränsle med mycket hög utbränning (70-75 MWd/kgU).

SKB har utfört lagningsexperiment med Cr-dopat bränslefragment i syresatt miljö. Resultaten jämfördes med liknande lagningsförsök för standardbränsle (urandioxidbränsle utan dopning). Syftet är främst att undersöka frigörelse av gapinventariet och inverkan av kornstorlek av malda fragment i bränsleprover på resultaten. Genom att delta i EU-forskningsprojekt DisCo (*Modern spent nuclear fuel Dissolution in failed container Conditions*) har SKB utvunnit kunskap om långsam upplösning av bränslematrisen hos moderna bränslen, dvs. Adopt- (*Advanced Doped Pellet Technology*) och Mox-bränslet.

Under den gångna Fud-perioden har SKB satsat på att finansiera flera doktorandprojekt vid olika lärosäten i Sverige med syfte att öka bl.a. teoretisk processförståelse inom

området bränsleupplösning. Insatser har även gjorts för att utreda hur miljön i en försluten kapsel fylld med bränsle kan påverka bränslekapslingens egenskaper. I extrema fall kan integriteten av bränslekapslingen äventyras vilket kan leda till att bränslematrisen är i direkt kontakt med de kvarvarande gaser och vätskor i kapseln samt upplösning av bränslematrisen.

SKB planerar att fortsätta finansiera doktorandprojekt vid de svenska lärosätena för att studera bl.a. inverkan av vätgas och alfastrålning på vattenradiolys och bränslematrisens upplösning och utveckla beräkningsmodeller för dessa processer. Under den kommande Fud-perioden kommer vissa av SKB:s uppdrag med Studsvik att avslutas men nya uppdrag kommer att upprättas, för att genomföra lakningsförsök för Cr-dopat bränsle, att undersöka upplösning av bränsle i slutna glasampuller, att bestämma frigörelse av gapinventariet, m.m. Lakningsförsök med bränsle i närvaro av sulfid kommer också att initieras.

Remissinstansernas synpunkter

Kungl. Vetenskapsakademien (KVA) konstaterar, med hänvisning till avsnitt 7.7 i Fud-program 2022, att bränsleupplösningstudier har bedrivits under många år och anser därmed att kunskapsläget måste ses som gott.

Studier av lakning i sulfidmiljö liksom effekter av radiolys anges som planerade vilket KVA anser vara välmotiverat. Lakning av uranoxid under naturliga betingelser (in-situ, ”naturliga analogier”) har enligt KVA bedrivits i liten omfattning och skulle kunna återupptas om lämpliga platser kan identifieras. Uranoxidens låga löslighet i syrefritt grundvatten (reducerande betingelser) har en retarderande funktion, vilket enligt KVA är välkänt och studerat. KVA anser att möjligheten att grundvattnet kring förvaret kommer i kontakt med luft måste beaktas i utvärderingar av platser och händelser. Exempel finns enligt KVA från Bergslagen (Stripa) hur djupt grundvatten i nedlagda gruvor genom tidigare luftkontakt skapat oxiderande miljöer vilket medfört att uranhalten i vattnet har ökat med en faktor 100 över bakgrundsnivån i ostörd grundvattenmiljö. Urankällan är här oxidmineral som enligt KVA är svårösliga i syrefri miljö.

KVA menar att alternativa (möjliga framtida) uranföreningar motiverar nya studier. Här märks enligt KVA urannitrid (UN), där grupper vid Chalmers är aktiva. KVA upplyser om att UN har diskuterats som bränsle till blykylda små modulära reaktorer.

SSM:s bedömning

SSM instämmer med SKB att bränsleupplösning som medför frigörelse av radionuklider är av betydelse för ett slutförvars långsiktiga säkerhet. SSM ser positivt på att SKB gör insatser i området för att täcka både brett och djupt för ökad förståelse av underliggande processer, samt för att förbättra modelleringen av processerna. SSM bedömer att SKB:s insatser är ändamålsenliga.

SSM anser att SKB i sitt fortsatta arbete inom området i högre grad bör vara inriktad på utredningen med hänsyn tagen till behoven i det svenska slutförvarsprogrammet, exempelvis att se till huruvida egenskaperna hos de Mox-bränslen som ingår i olika lakningsförsök kan jämföras med det Mox-bränsle som idag finns i Clab. Ett annat exempel kan vara att börja kartlägga mängden och egenskaperna hos Cr- respektive Al-dopat bränsle som planeras att användas i de svenska kärnkraftsreaktorerna.

Beträffande SKB:s arbete med att undersöka bränsleupplösningen av Cr- och Al-dopat bränsle anser SSM att en fördjupad processförståelse bör eftersträvas. SSM vill uppmärksamma SKB på att det finns resultat i litteraturen som visar på möjligen högre upplösningshastigheter och icke-konventionell uppfattning av status av dopade ämnena,

som ett axplock kan nämnas följande artiklar, Rodriguez-Villagra m.fl., 2022 och Sun m.fl., 2020.

SSM instämmer i stort sett med KVA att kunskapsläget inom området kan ses som gott. SSM anser däremot att mekanismsförståelse för upplösning av vissa typer av bränsle behöver fördjupas. Detta gäller Mox-bränslet som bara utgör en liten del av den totala mängden av det använda bränslet i Kärnbränsleförvaret och som SKB:s tidiga forskningsinsatser enligt SSM:s bedömning inte har fokuserat tillräckligt mycket på. Det rör även krom- och aluminium-dopat bränsle som bara nyligen började användas i Svenska kärnreaktorer. SSM anser, i enlighet med KVA, att naturanalogier är ett viktigt angreppssätt i studien av bränsleupplösning. SSM vill påpeka att SKB genomfört stora insatser i naturanalogstudier av de naturliga reaktorerna i Gabon och av Cigar Lake-urangruvan i Kanada. Med tanke på attbränsle av typ urannitrid inte ingår i nuvarande slutförvarsprogram väljer SSM att inte lyfta upp frågan i utvärderingen av Fud-program 2022.

7.2.6 Radionuklidspeciering och lösligheter

SKB:s redovisning

SKB:s pågående forskning inom området, vilket redovisas i avsnitt 7.8, fokuserar på kemiska processer som involverar radioaktiva ämnen (radionuklider) i en otät vattenfylld kopparkapsel. Radionuklider som frigjorts från använt kärnbränsle i en vattenfas kan bilda nya löslighetsbegränsande fasta faser, vilket delvis styrs av termodynamik och de ingående ämnens termodynamiska egenskaper. En särskilt viktig fråga som fortfarande utreds är om koffinitbildning kan förväntas vara en betydande process under dessa förhållanden. SKB nämner en experimentell studie i vilken koffinitbildning kunde påvisas på en urandioxidmatris under svagt reducerande kemiska betingelser (-50 mV). SKB avser att gå vidare med en genomgång av litteraturen bl.a. med syftet att belysa om det finns risk för koffinitbildning under de avsevärt mera reducerande betingelserna i en otät kapsel. Man har också startat ett doktorandprojekt vid Chalmers inriktat mot samfällning av aktinider i slutförvarsmiljö. Ytterligare ett doktorandprojekt vid Chalmers som för närvarande finansieras av SKB har fokuserat på kalcium-uranyl-karbonatkomplex i grundvatten och dess betydelse för reduktion av upplöst uran.

Internationellt deltar SKB i EU-projektet DisCo. Här omnämns särskilt den termodynamiska modelleringen som har genomförts för simulering av koncentrationer av radionuklider i olika experimentella system. Man undersöker exempelvis koncentrationer av uran och plutonium i vattenfasen för ett system som innehåller obestrålat Mox-bränsle. SKB deltar också i OECD-NEA:s projekt om termodynamiska data för i slutförvarssammanhang särskilt relevanta komponenter. För närvarande har projektet fokuserats på en uppdatering av data för aktinider samt sammanställningen av data för järn.

De pågående projekten kommer att fortsätta även under den kommande Fud-perioden. SKB kommer inte delta i EU:s satsningar inom området med Eurad-programmet men avser att bevaka vad som sker där i synnerhet med avseende på de insatser som görs för att ytterligare förstå medfällning av radium och barium.

Remissinstansernas synpunkter

Kungl. Vetenskapsakademien anser att naturliga humusämnen betydelse för radionuklidens löslighet behöver värderas och eventuellt studeras ytterligare.

SSM:s bedömning

SSM har inget att invända mot SKB:s redovisning annat än att påminna om den stora betydelse som bränsleupplösningensparametern (upplösning/oxidation av bränslematrisen)

inklusive associerade osäkerheter har för konsekvensberäkningar för det planerade Kärnbränsleförvaret. Frågor som koffinitbildning som skulle kunna ha en påverkan på frigörelse av uran från bränslet (och därmed frigörelse av andra associerade radioaktiva ämnen) utgör därför ett angeläget tema för forskning av den typ SKB beskriver i sin redovisning.

Det bör noteras att de stora insatserna för att fortsätta att förbättra förståelsen för radionuklidspeciering, bestämning av löslighetsgränser och andra fundamentala aspekter som rör retardation av radioaktiva ämnen ofta görs internationellt inom OECD-NEA och EU via Eurad-programmet. SSM anser detta kan vara berättigat med tanke på att det finns stora samordningsvinster mellan olika slutförvarsprogram i världen för denna typ av fundamentala forskningsfrågor. SKB påtalar särskilt att man inte är med i Eurad-programmets satsningar inom området. SSM anser dock att SKB bör eftersträva ett utökat deltagande i denna typ av sammanhang för att dels kunna bevaka att för SKB relevanta frågeställningar adresseras, dels involvera svenska universitet och högskolor i det internationella arbetet. Med tanke på att det kan vara svårt att upprätthålla en kritisk massa av kompetens inom Sverige kan det internationella samarbetet vara särskilt värdefullt.

SSM konstaterar att forskningsområdet som avser experimentella och teoretiska studier av radioaktiva ämnen och deras kemiska egenskaper är smalt, resurskrävande samt med få tänkbara finansierare och därmed svårt att upprätthålla långsiktigt inom landet. Med tanke på att SKB:s slutförvarsprojekt kommer att behöva fortgå under många årtionden bör SKB överväga olika möjligheter för att stärka befintliga forskningsmiljöer.

7.3 Kapsel

7.3.1 Korrosion

SKB:s redovisning

SKB:s redovisning i Fud-program 2022 (avsnitt 8.1) utgår från två dominerande korrosionsreaktioner för koppar:

- Kopparkorrosion av initialt tillgängligt syre i slutförvaret. Denna reaktion avser tiden närmast efter slutlig förslutning innan tillgängligt syre helt har förbrukats.
- Kopparkorrosion av sulfidjoner i bentonit och grundvattnen. Denna reaktion förväntas långsiktigt dominera koppars korrosionsförlopp. Sulfidjoner finns ursprungligen i låga koncentrationer i det opåverkade grundvattnet och kan även bildas till följd av mikrobiell sulfatreduktion efter tillförsel av sulfat och reaktivt organiskt material i exempelvis bentonitlera i buffert och återfyllning.

Ytterligare korrosionsreaktioner som SKB adresserar men tillmäter mindre betydelse utgörs av:

- Strålningsinducerad korrosion som uppstår pga. bildning av radiolytiska oxidanter under den tid ett betydande gammastrålfält existerar invid kapselns ytteryta under närvaron av en vattenfas.
- Korrosion av koppar i anoxiskt (syrgasfritt) vatten.

I SKB:s analyser förutsätts i allmänhet att allmätkorrosion av koppar (jämnt fördelad korrosion) är den dominerade korrosionsformen för korrosion under såväl oxiderande som reducerande kemiska betingelser, snarare än lokala korrosionsmekanismer som gropfrätning (t.ex. mikrogalvanisk korrosion) eller spänningskorrosion. De senare korrosionsformerna utgör dock en huvudsaklig anledning till SKB:s forskningsinsatser i

Fud-program 2022 då dessa under särskilda förutsättningar skulle kunna ha en större betydelse än allmänkorrosion.

SKB:s forskning syftar i synnerhet till att förstå detaljer kring uppkomsten av en sulfidfilm på koppar och åstadkomma en passivering som i allmänhet är en förutsättning för lokala korrosionsprocesser. Experiment har genomförts under olika kemiska betingelser genom tillämpning av bland annat elektrokemiska metoder. Förloppen i slutförvarsmiljön har också studerats teoretiskt med kvantmekaniska beräkningar. Ett särskilt fall är mikrobiellt inducerad korrosion som kan ge upphov till en biofilm som möjligen kan ha passiverande egenskaper. SKB:s slutsats är dock att sulfidflöden in mot en kapselyta i en verklig slutförvarssituation skulle vara så låg att lokala korrosionsfenomen kan uteslutas så länge bufferten är intakt vare sig den är mättad eller omättad. Samma slutsats dras kring betydelsen av mikrobiell sulfidkorrosion och bildning av en biofilm på koppar. Denna typ av process kan visserligen observeras rent experimentellt men endast vid väsentligt högre sulfidflöden än vad som kan förväntas i ett slutförvar.

Insatser har också genomförts under Fud-perioden av såväl SKB som andra organisationer för att bättre förstå förutsättningarna för spänningskorrosion av koppar, vilket är en korrosionsform vars betydelse är kopplad till koppars deformationsegenskaper vid pålagda dragspänningar. SKB:s försök har genomförts i sulfidmiljö med bland annat belastade provstavar av koppar. Andra försök har genomförts med experiment med låga töjningshastigheter, krypprovning i samband med polarisation i syrgasfria sulfidlösningar, och genom att nyttillverka och undersöka böjda spänningskorrosionsprover. Jämförelser har också genomförts mellan återpassivering i sulfidlösningar och motsvarande process i nitritlösningar (som är ett medium känt för att kunna orsaka spänningskorrosion). SKB:s slutsatser kring spänningskorrosionsrisk i slutförvarsmiljön är dock att den är låg mot bakgrund av att materialet tenderar att deformeras genom plastisk deformation snarare än sprickbildning i samband med dragspänningar och vid representativa kemiska förhållanden t.ex. med avseende på grundvattenkemiska betingelser (t.ex. representativa sulfidhalter) och för realistiska materioöverföringsbetingelser med långsam transport. Fortsatt forskning är planerad för att på högre detaljningsnivå förstå spänningskorrosionsmekanismer, och för att genomföra experiment med förspräckta prover för att separerat från sprickinitiering kunna studera sprickpropagering.

SKB:s experimentella studier av kopparkorrosion under oxiderande kemiska betingelser begränsar sig i huvudsak till analyser av exponerade kopparprover under olika fältförsök så som Mini Can, Lasgit, LOT, samt prototypförvaret. Den mest omfattande karaktäriseringen av korroderade ytor representativa för slutförvarsmiljö avser analysen av kopparytorna efter genomförandet av det 20-åriga LOT S2 och A3 experimenten vid Äspölaboratoriet. Detekterade korrosionsprodukter är i första hand oxider men tendenser till sulfidbildning noterades även. De korroderade ytornas topografi påvisar vissa ojämnheter (defekter) ungefär i linje med vad noterats i samband med liknande försök som SKB:s prototypförvar vid Äspö. SKB har även utvecklat en teoretisk probabilistisk modell för korrosion av koppar under oxiderande men mättade buffertförhållanden. Man avser nu gå vidare i nästa Fud-period med att ytterligare analysera den inledande korrosionsfasen under omättade förhållanden genom både experiment (mätningar av syreförbrukning) och teoretiska modeller.

SKB:s arbeten med strålningsinducerad korrosion till följd av den förväntade bildningen av radiolytiska oxidanter har också fortsatt. Denna korrosionsform som äger rum under det första hundratalet år efter förslutning har studerats genom experiment och framtagandet av en ny modell. Modellen förutsäger både experimentellt bestämda korrosionsdjup och att den grundvattenkemiska sammansättningen har liten betydelse för korrosionens omfattning under förväntade förhållanden med ungefär neutralt pH. Den



totala förväntade omfattningen av strålningsinducerad korrosion bedöms liksom tidigare vara minimal i förhållande till kopparkapselns tjocklek. SKB avser dock att i kommande Fud-period gå vidare med ytterligare studier inom området och då särskilt studera strålningsinducerade effekter på OFP-koppar i vattenlösningar både med avseende på korrosion och eventuella mikrostrukturella förändringar hos koppar.

SKB:s arbeten med korrosionsformen baserad på korrosion i rent syrgasfritt vatten är i stort sätt avslutade och några ytterligare arbeten är för närvarande inte inplanerade. De bakomliggande orsakerna till detta är att det inte finns några belägg för korrosionsformens betydelse i slutförvarsmiljö eller att den skulle avvika från den minimala omfattning som framgår av etablerad kunskap som innefattar termodynamiska egenskaper hos komponenterna i koppar-vattensystemet.

Förutom SKB:s program med experimentella kopparkorrosionsstudier pågår också en vidareutveckling av olika typer av korrosionsmodeller för olika syften. Här ingår förutom korrosionsprocesser i sig även modelleringen av transport och representation av kemiska förhållanden och de andra barriärerna i systemet under olika förutsättningar så som bufferten. Modelleringen kan användas för att vidareutveckla förståelse för enskilda korrosionsprocesser, men också för att värdera slutförvarets integrerade utveckling under såväl hypotetiska förhållanden (känslighetsanalyser) så som förväntade (som underlag för konsekvensberäkningar). De modeller som avser individuella korrosionsprocesser har/kommer att inriktas mot strålningsinducerad korrosion, korrosion under omättade och oxiderande förhållanden, sulfidkorrosion med avseende på risk för mikrogalvanisk korrosion samt spänningskorrosion. I den integrerade korrosionsmodellering ingår även beaktande av utvecklingsförlopp för bufferten så som återmättnadsförloppet och ett framtida erosions- sedimentationsförlopp med betydande massförluster av bentonitlera.

Remissinstansernas synpunkter

Uppsala universitet anser att SKB i en dedikerad studie särskilt bör studera ytdefekter på exponerade kopparytor såsom de som detekterats i samband med LOT-försöken, och avgöra hur stor andel som härrör från korrosion.

Kungl. Vetenskapsakademien anser att kunskapsläget vad gäller korrosion av koppar är gott, men att SKB ändå bör fortsätta studera olika korrosionsformer (sulfidkorrosion, spänningskorrosion, mikrobiellt inducerad korrosion samt korrosion i oxiderande miljö). I sammanhanget anses strålningsinducerad diffusion av syre vara av betydelse främst på grund av bildandet av Frenkelpar.

Naturskyddsföreningen, Jordens Vänner och Miljöorganisationernas kärnavfallsgranskning (föreningarna) anser att förbrukning av syrgas i samband med de s.k. LOT-försöken sker via snabb oxidation av pyrit i bentonit, och att den observerade korrosionen av koppar under försöken därför sker i syrgasfrimiljö, vilket skulle innebära korrosionshastigheter 100-1000 gånger snabbare än vad som framgår av SKB:s säkerhetsanalyser. Föreningarna anför vidare att korrosionen sker via hydroxid- och vätesatt kopparoxidbildning snarare än ren kopparoxid, vilket enligt föreningarna förklarar såväl bildningen av mera vätgas som väteladdning av metallen. Man påtalar även att sulfidinducerad spänningskorrosion är ett betydande problem, samt refererar till nyligen publicerade forskningsresultat från Kungliga Tekniska högskolan (se nedan). Föreningarna anser vidare att brytning av den sista etappen av LOT-försöken (S3) behöver föregås av framtagande av utökat provtagningsprogram, samt att nya storskaliga autoklavförsök behöver göras med koppar och bentonit. Ytterligare en synpunkt är att Äspölaboratoriet inte får stängas eftersom det finns behov av långtidsförsök i reell slutförvarsmiljö, eventuellt med verkligt använt kärnbränsle. Under provdrift av ett slutförvar behöver enligt föreningarna ett långsiktigt försöksprogram påbörjas som visar

hur koppar och bentonit beter sig i Forsmarkberget. Beträffande SFR-förvaret, påtalas ett behov att i detta förvar genomföra försök kopplat till korrosion på grund av läckströmmar.

Kungliga Tekniska Högskolan (KTH) anser att samverkan mellan strålningsinducerad korrosion och sulfidkorrosion behöver uppmärksammas även om den inte nödvändigtvis har en negativ innebörd och man efterlyser dessutom en diskussion kring betydelsen av neutronstrålning. I sammanhanget av dessa processer bedöms gasfasens sammansättning vara av betydelse under den omättade fasen av förvarets utveckling, vilken därför också behöver utredas. Slutligen omnämns väteförspredning och en eventuell koppling till spänningskorrosion av koppar. Man nämner särskilt egna experimentella resultat som visar på dels förändringar i kopparmaterialets kristallstruktur, dels inträngning av vissa upplösta ämnen i koppar sannolikt i korngränser. Mätningar i samband med försöken var utförda efter exponering av koppar i simulerat grundvatten. KTH rekommenderar att SKB ska i sitt fortsatta program gör liknande försök främst baserat på SIMS i kombination med olika exponeringsbetingelser.

SSM:s bedömning

SSM bedömer inledningsvis att SKB har ett rimligt allsidigt och omfattande program för att verifiera befintlig kunskap och för att erhålla fördjupad förståelse för både förväntade och mindre sannolika/mindre betydelsefulla korrosionsformer i slutförvarsmiljön. Det är viktigt att detta arbete upprätthålls långsiktigt på en väl avvägd nivå, dels för att kunna vidareutveckla säkerhetsanalysen, dels för att kunna verifiera och ev. justera slutförvarets anpassning och utformning med avseende på korrosionsbarriärens förutsägbarhet och effektivitet. Även korrosionsformer som bedöms vara mindre betydelsefulla kräver aktiva insatser för att den gradvis ökande grad av tilltro som krävs i kommande steg av slutförvarsprogrammet ska kunna uppnås. Tillgången på tillräcklig kompetens inom korrosionsområdet är viktig och kräver aktiva insatser för att understödja de forskningsmiljöer som har bäst förutsättningar att producera forskningsresultat på en hög vetenskaplig nivå.

Korrosionsförsök kan i grova drag delas in i två kategorier, dels de som genomförs under korta tider och accelererade betingelser med målsättningen att studera specifika korrosionsmekanismer i laboratoriemiljö, dels de som typiskt har genomförts under in-situ förhållanden och/eller som åtminstone i vissa avseenden har utformats för att uppnå representativitet med avseende på en realistisk slutförvarmiljö. SSM bedömer att SKB:s redovisade satsningar inför kommande Fud-period som främst avser den förstnämnda kategorin som rimligt väl avvägda. Beträffande den andra kategorin utgör grundförutsättningen för SKB:s planerade aktiviteter att samtliga befintliga försök i Äspölaboratoriet kommer att avslutas inom ett antal år mot bakgrund av att hela underjordanläggningen kommer att avvecklas. SSM anser att en strategi för SKB:s kommande försöksverksamhet efter Äspölaboratoriets avveckling behöver tas fram och redovisas.

SSM bedömer det vara angeläget att SKB efter att forskningen vid Äspö har avslutats sammanfattar hittills uppnå erfarenheter och resultat från långtidsförsök med bäring på både praktiska frågor och teoretisk förståelse. Detta material bör sedan utgöra en utgångspunkt för en analys av förutsättningar för ett fortsatt långsiktigt program för korrosionsförsök under rimligt representativa slutförvarsförhållanden. Målsättningen bör vara att på bästa sätt utnyttja möjligheten att uppnå ökad tilltro till förståelsen för korrosionsprocesser med försök som genomförs under representativa former och med längre exponeringstider. De behöver inte nödvändigtvis vara fråga om tidsperioder på årtionden som för de nyligen avslutade LOT-försöken etapp S2 och A3. Försöken kan exempelvis komma att utgöra en del av försöksverksamhet i Forsmark efter att



tillfartsvägarna har etablerats, men de kan också delvis komma att genomföras på andra platser om så skulle visa sig vara möjligt och lämpligt.

SSM instämmer med SKB att olika former av sulfidkorrosion är den process som långsiktigt förväntas ha den största betydelsen för kopparkapselns korrosionsförlopp. Det är därför angeläget att omständigheter som kan påverka sulfidkorrosion blir väl utforskade. Ett tillräckligt underlag innefattar inte enbart resultat från laboratorieförsök utan även att SKB fortsätter den platsspecifika forskningen som syftar till fördjupad förståelse av såväl hydrogeologi som grundvattenkemiska processer samt ge ett väl underbyggt underlag för att avgöra platsspecifika förutsättningar för korrosionsprocesser, exempelvis med vilken fördelning av hastigheter som sulfidjoner kan komma att tillföras kopparkapseln i slutförvarsmiljön vid Forsmark under olika faser i slutförvarets utveckling.

I samband med tillståndsprövningen kom det fram att det fall som associerades med den mest omfattande sulfidkorrosion under i tidsperioden fram till några 1000 år efter förslutning avsåg en långsiktig omättad buffert och mikrobiell sulfatreduktion i ett återfyllnadsmaterial som både innehåller sulfat och nedbrytbart organiskt material. Fallets potentiella betydelse beror på att transport av gasformig sulfid kan vara flera tiopotenser snabbare än den diffusion av främst vätesulfidjoner som äger rum i buffertens porvatten. Både materialvalet för återfyllnaden, och beräknade återmättnadstider för olika lokala bergförhållanden invid deponeringshål har betydelse. SSM finner det angeläget att SKB i tillräcklig utsträckning beaktar och analyserar detta fall, särskilt huruvida en långsiktigt förekommande mikrobiell sulfatreduktion kan uteslutas för aktuella återfyllnadsmaterial (vilket är en förutsättning för fallets relativt stora betydelse).

Beträffande sulfidkorrosion som sker genom att koppar reagerar med vätesulfidjoner i omkringliggande grundvatten är både möjligheter och svårigheter kring planerna att undvika deponeringshålspositioner med högre grundvattenflöden av betydelse och bör därför identifieras och utredas. SKB bör också eftersträva att utöka databasen vad gäller mätpunkter för på förvarsdjup representativa grundvattenprover inklusive sulfidhalter, halter av reaktivt organiskt material etc., eftersom den befintliga tillgången från provtagningen under platsundersökningsfasen är ganska begränsad. SSM förväntar sig dock inte några avgörande framsteg förrän mätprogram i samband med uppförande av slutförvar har genomförts, vilket sannolikt ligger ganska många år in i framtiden.

Samverkan mellan olika korrosionsmekanismer kan i många fall uteslutas eftersom de avser olika faser i slutförvarets utveckling eller möjligen om de avser processer som konkurrerar med varandra, men vissa former av samverkan behöver värderas explicit och i vissa fall undersökas experimentellt. SSM bedömer i likhet med remissinstanserna KTH och KVA att SKB kan behöva flera undersökningar av olika aspekter av strålningspåverkan på koppar och sulfidinducerad korrosion. Detta gäller exempelvis betydelsen av en långsiktigt långsam pågående sulfidkorrosion för att kunna på hög detaljningsnivå värdera kapselns ytskikt och tidiga utveckling under 1000-talet år efter förslutning. Förutom pH, redox, jonstyrka samt halter av klorid, sulfat, tillgång på upplöst oxiderbart organiskt material samt sulfidjoner finns möjligen andra grundvattenkemiska parametrar som kan förväntas variera i slutförvarsmiljön och samtidigt ha en viss påverkan på korrosionsförloppet.

SSM instämmer vidare med Naturskyddsföreningen m.fl. föreningar kring betydelsen av den av SKB i Fud-program 2022 aviserade fortsatta forskningen kring den eventuella betydelsen av en sulfidinducerad spänningskorrosion av koppar. Beträffande Naturskyddsföreningens och Uppsala universitets förslag med avseende på ytterligare analys av LOT-försöken exempelvis med avseende på ursprunget av ytdefekter på koppar



så har vissa möjligheter till ytterligare mätningar i samband med brytning av det kvarvarande LOT-försöket S3 i Äspölaboratoriet identifierats (Hicks, Baldwin och Scully, 2021; SSM2021-1539-1).

Beträffande matematisk modellering av kopparkapselns korrosionsförlopp anser SSM att ytterligare uppmärksamhet krävs för fallet med kapselpositioner för vilka bufferten långsiktigt skulle kunna eroderas. Bakgrunden är att detta fall hanterades på ett förenklat sätt i säkerhetsanalysen SR-Site. Betydelsen kan motiveras av att det är ett fall för vilket fler än en barriär skulle kunna falla under en tidsskala som potentiellt kan vara mindre än 100 000 år. Det som särskilt behöver studeras är materieöverföring av sulfid i en situation utan buffertens barriärfunktion att förhindra advektion finns tillgänglig. De mest korroderade ytornas storlek är fortfarande osäker för rimligt realistiska fall.

En fråga som SKB bör undersöka är om några skillnader med avseende på korrosion föreligger som en följd av fosfortillsatsen till kapselkoppar. Frågan har en betydelse för de fall där experimentella studier av kopparkorrosion har genomförts med ren koppar snarare än fosforlegerad koppar. Det är väl känt att betydande skillnader mellan OF och OFP koppar föreligger med avseende på materialets mekaniska egenskaper. Det finns kanske inte några uppenbara skäl att misstänka att motsvarande gäller för materialets korrosionsegenskaper, men frågan bör ändå undersökas experimentellt, om inte annat för att helt kunna utesluta förekomsten av en sådan effekt. SSM har själva initierat viss forskning inom området som kan utgöra en utgångspunkt för mera omfattande insatser kring betydelsen av fosfor (SSM2016-4485-15).

SSM har noterat SKB:s samarbetsprojekt inom kopparkorrosionsforskning som genomförs tillsammans med tre andra avfallsbolag med verksamhet främst i Kanada. Ett sådant samarbete är positivt eftersom det medför ett effektivt resursutnyttjande. Det är dock även betydelsefullt att det finns en viss redundans kring kapacitet att undersöka olika korrosionsformer och detta bör därför beaktas vid den fortsatta planeringen ytterligare korrosionsförsök. SSM instämmer med Naturskyddsföreningen m.fl. föreningar att de samarbetsmöjligheter som tillkommit inom EU med EURAD programmet behöver uppmärksammas ytterligare och tas tillvara.

SKB omnämner liksom Naturskyddsföreningen kapseln som den viktigaste barriären i KBS-3 systemet. SSM instämmer att kopparkapseln har en stor betydelse i barriärsystemet mot bakgrund att den ger den mest påtagliga effekten för inneslutning av radioaktiva ämnen. Att på detta sätt rangordna betydelsen av olika barriärer kan dock vara missvisande av flera skäl, så som mot bakgrunden att all geologisk slutförvaring förutsätter att en tillräckligt stor lämplig bergvolym finns tillgänglig och kan tas i anspråk. Berggrunden kan därför i samband med geologisk slutförvaring knappast betraktas som mindre betydelsefull i förhållande till en teknisk barriär.

7.3.2 Materialegenskaper hos kapselmateriäl

SKB:s redovisning

SKB har delat in sin redovisning i Fud-program 2022 om degraderingsprocesser med bäring på kapselns mekaniska egenskaper i fyra olika områden:

- Kopparkrypning (avsnitt 8.2.1)
- Väteförsprödning i koppar, segjärn och stål (avsnitt 8.2.2)
- Strålningseffekter på koppar, segjärn och stål (avsnitt 8.2.3)
- Åldring hos segjärn och stål (avsnitt 8.2.4)

SKB:s insatser rörande kopparkrypning innefattar både experimentellt och teoretiskt arbete där man extrapolerar resultaten från provning av krypdeformation. Modelleringen av krypdeformationen under den avslutande fasen före brott (tertiärkryp) som tidigare hade inkluderats i modelleringen av kapselkoppar har nu visats vara tillämpbar upp till 250 °C (Sandström och Sui 2021). I arbetet med extrapolation av krypbrottdata har artificiella neuronnät börjat användas och kopplat till det studeras även metoder för felanalys. Användbarheten för angreppssättet att prediktera krypegenskaper med grundläggande modeller har demonstrerats genom tillämpning på andra material och i andra tekniska tillämpningar. Som exempel anges prediktering av krypbrottdata för ett austenitiskt stål (Sanicro 25) med hög kryphållfasthet kring den kritiska temperaturen 700 °C, för avancerade typer av värmekraftverk (He och Sandström 2019).

Arbetet med kvantkemiska beräkningar för att studera effekten av hur föroreningsatomer samverkar med korngränser har fortsatt genom att lägga till fler typer av korngränser (Lousada och Korzhavyi 2020a) och uppskatta bindningsenergin för svavel och fosfor. Resultaten från dessa beräkningar har sedan tillämpats i modellering av kavitetsbildning i Cu-OFP (Sandström och Lousada 2021). Det underlag som använts till att inkludera fler typer av CSL-korngränser (Coincidence Site Lattice) kommer från preliminära utvärderingar av fördelningen av korngränser med hjälp av EBSD (Electron Backscatter Diffraction) som utförts hos Swerim på Cu-OFP (Hagström et al. 2020) och som visade att sigma9-korngränser är vanligare än vad som tidigare visats för koppar (Mishin et al. 1997). En systematisk studie med EBSD pågår hos Swerim där mätning av fördelningar av CSL-korngränser, kornstorlek och kristallplan ingår. Ytterligare kvantkemiska beräkningar pågår. Preliminära resultat visar till exempel att sigma9-korngränser och sigma5-korngränser kan fungera som kraftiga sänkor för vakanser och dessa är i sin tur nödvändiga för segregation av fosfor- och svavelatomer till korngränser.

Fosfors inverkan på krypegenskaperna hos koppar har studerats vidare experimentellt: först genomfördes en inledande studie av rekristallisation (Sundström et al. 2020), följt av en systematisk provning av material från rör vid temperaturer i intervallet 230–255 °C. Eftersom Auger-spektroskopi på krypprovat material visat på partiklar av fosfor (Sundström et al. 2020) har även dessa studier fortsatt, och nu även med transmissions-elektronmikroskopi (TEM). Syftet var att vidare undersöka hypotesen att deformerat material innehåller anrikning av fosfor, vilket preliminärt bekräftats. Metoden att använda långsam dragprovning vid olika temperaturer har också använts på ett material med förhöjd halt av zink, vismut och tellur (cirka 5 vikt-ppm av varje), vilket visar på en något minskad duktilitet jämfört med Cu-OFP (Andersson-Östling och Sundström 2021). Krypprovning av materialet pågår för att ge en mer komplett bild av vad den långsamma dragprovningen kan visa med avseende på materialegenskaperna. SKB anger att resultaten från krypprovning under perioden 1985–2018 har sammanställts från olika underlagsrapporter och publicerats i en samlad rapport (Andersson-Östling 2020).

Forskningsprogrammet angående kopparkrypning kommer att innehålla flera insatser under kommande Fud-period. Med hjälp av den utökade serien av rekristallisationsdata kommer en rekristallisationsmodell, utgående från Avrami-ekvationen (IUPAC 1997), att tas fram och användas för extrapolation till slutförvarstider. Studien av fosforanrikning kommer att färdigställas och SKB kommer att undersöka om diffusion av fosfor kan förklara anrikningen vid deformation. Faktorer som kan varieras vid fortsatta studier är halt fosfor i materialet, temperatur och tid för krypprovning. De kvantkemiska beräkningarna av den relativa stabiliteten hos olika atomära defekter i koppars struktur kommer att fortsätta genom att studera diffusionen av fosfor-, svavel- och väteatomer i koppar samt koppars självdiffusion. Vidare planerar SKB att mäta tid till krypbrott för provtillverkad kapselkoppar vid hög temperatur och höga spänningar samt använda resultaten till att justera SKB:s empiriska modeller som används vid praktisk

krypprovning och driftsituationer. Även inverkan av mindre variationer i kapselkopparnas sammansättning, struktur och kornstorlek kan utvärderas vid försöken. SKB planerar att sammanställa och publicera det mångåriga arbetet med utveckling av kryppmodeller som utförts av Rolf Sandström, KTH.

Rörande väteförsprödning i kopparmaterial planerar SKB att minska risken för väteförsprödning av kapselmaterialet genom användning av väl karakteriserat material som innehåller låga halter väte och syre vid deponering. SKB anger att utgångsmaterialet för kopparkapslarna ska vara tillräckligt rent för att väteförsprödning inte ska utgöra något problem samt att det behöver säkerställas att materialet inte påverkas vid svetsning av kapslarna eller i slutförvaret (genom radiolys eller korrosion) på ett sådant sätt att väteförsprödning skulle kunna uppstå och påverka kapsegenskaperna negativt.

I samband med tidigare experimentella försök att få in väte i koppar har det visat sig vara svårt eftersom lösligheten av väte i koppar är mycket låg. Det har även varit svårt att hitta en metod för att tillförlitligt mäta halten på olika ställen i materialet. I några försök där koppar i vatten har utsatts för en stråldos motsvarande den i slutförvaret har man observerat måttliga ökning av vätehalten i kopparmaterialet. Vid dessa försök observerades ytliga korrosionseffekter, men ingen bildning av porer på djupet. Detta redovisades i samband med Kapselkompletteringen.

I sitt fortsatta forskningsprogram avseende väteförsprödning avser SKB att fokusera vidare på väteinträngning och vätediffusion i koppar. Detta görs inom ramen för ett konsortium vid CanmetMATERIALS, Kanada. Vidare, pågår studier vid VTT, Finland, för att kvantifiera eventuell väteladdning i koppar till följd av sulfidexponering under dragspänning. Arbetet pågår även för att bättre säkerställa noggrannheten hos mätningar av väte i koppar.

Kvantkemiska beräkningar har utförts för att bättre förstå hur väte interagerar med kopparmetallens ytor, med dess inre kristallstruktur samt med korngränser (Lousada och Korzhavyi 2020b). Beräkningarna visar bland annat att vätekoncentrationen inne i metallen blir mycket låg även om kopparytan vore helt belagd med väte. Studier har även genomförts av vätes segregation till och diffusion i korngränser (σ_9 och σ_5) jämfört med matrisen i ett kristallkorn i koppar. De kvantkemiska beräkningarna är planerade att fortsätta, dels med avseende på hur väte interagerar med dislokationskärnor vilket ger kunskap om diffusion och segregation, dels för att bättre förstå hur vakanser injekteras i koppar vid bildning av en kopparsulfidfilm och hur det samverkar med väte. Risken att väte tränger in och påverkar kopparmaterialets egenskaper på djupet har analyserats på teoretisk väg med utgångspunkt från diffusionsberäkningar, vilket beskrivs i Kapselkompletteringen. Resultaten visar att flödet av sulfid (H_2S/HS^- som vätekälla) under förvarsförhållanden är för litet för att det väte som frigörs ska ge någon signifikant påverkan på kapslarna.

Rörande väteförsprödning i segjärn, har experiment utförts genom inladdning av väte i metallen med elektrokemiska metoder i relativt aggressiva lösningar (Martinsson et al. 2009, Wu et al. 2015, Forsström et al. 2019, Sahiluoma et al. 2021). Vätet har konstaterats tränga in ytligt och gå ut ur materialet igen. Materialet har också samtidigt drag- eller kryppprovats, vilket ökar inladdningen av väte (Sahiluoma et al. 2021), men kryppprovning efter väteladdning ökar även utflödet (Martinsson et al. 2009).

Materialegenskaperna ändras i form av minskad duktilitet, men också en något minskad sträck- och brottgräns (Martinsson et al. 2009, Forsström et al. 2019, Matsuno et al. 2012). Bindningen av vätet i materialet har studerats med Thermal Desorption Spectroscopy (TDS) och kan relateras till två energimässigt olika typer av ”fällor” (Sahiluoma et al.

2021), relaterade till små hålrum och defekter (lägre vätebindningsenergi) respektive lagring i grafitnoder (högre vätebindningsenergi). Endast små mängder väte förutses vara tillgängligt under förvarförhållanden, och experiment med exponering i destillerat vatten, vilket mer liknar förvarshållanden än de aggressiva lösningarna använda för att introducera vätet, visar på duktila brottmekanismer (Forsström et al. 2019, Sahiluoma et al. 2021). SKB ser över behovet att sätta en maxgräns och analysera mängden väte i insatsmaterialen.

Beträffande strålningseffekter på koppar, segjärn och stål hänvisar SKB till den tidigare inlämnade säkerhetsanalysen SR-Site där SKB drog slutsatsen att de stråldoser som kapselmaterialen kommer att utsättas för ger försumbara effekter på kapselns mekaniska egenskaper. Slutsatsen byggde i huvudsak på beräkningar av strålskador i materialen till följd av gamma- och neutronstrålning. I samband med Kapselkompletteringen redovisades uppdaterade beräkningar av strålskador samt experiment med gammabestrålning. Därefter har SKB inte genomfört några ytterligare studier.

Modelleringsarbetet för att beräkna utfällning av kopparpartiklar i segjärn har fortsatt (Yang et al. 2022). SKB anger att modellen bekräftar den tidigare kravställda gränsen på max 0,05 procent koppar i segjärnet för att undvika försprödning. SKB anger vidare att man inte planerar några ytterligare studier av strålningseffekter på kapselmaterialen inom Fud-perioden.

SKB:s insatser rörande åldring hos segjärn och stål har fokuserat på kapselns temperatur. Nyligen publicerade rapporter om kapselns temperatur och temperaturen i kapselns närfält (Ikonen 2020, Renström 2020, Jansson et al. 2022b), visar att insatstemperaturen påverkas främst av spalterna och av bentonitens konduktivitet. Temperaturökningen utanför kapseln sker främst genom ledning och bara till viss del av direkt energideponering av gammastrålning.

Segjärn anses vara tåligt mot deformationsåldring och försprödas först vid 300–400 °C (Yanagisawa och Lui 1983). Efter en genomgång av tillgänglig litteratur och av lastfallen i slutförvaret bedömde SKB (2017) att varken statisk eller dynamisk deformationsåldring påverkar kapselinsatsens mekaniska egenskaper eller funktioner i slutförvaret. Dels krävs plasticerande laster för att fenomenen ska uppstå, medan kapselinsatsen är dimensionerad så att plasticering inte uppnås utom i osannolika fall, dels förväntas inte högre temperatur än cirka 100 °C i slutförvaret, vilket är lägre än de temperaturer vid vilka dynamisk åldring uppträder.

I tillägg till bedömningen från 2017 har SKB utvärderat kylåldring, dynamisk och statisk deformationsåldring och eventuell sprödhet genom dragprovning av segjärn från provtillverkade insatser (Sarnet 2022). Resultaten visar att dynamisk deformationsåldring observeras vid 300–400 °C för SKB:s segjärn. Inga tecken på dynamisk deformationsåldring ses upp till 125 °C. Statisk deformationsåldring kräver en kraftig fördeformation, tre procent förlängning. I genomförda studier har man inte kunnat visa att förlängningen försämras med ökad statisk deformationsåldring (Björklund 2021, Sarnet 2022).

I det fortsatta programmet planerar SKB att komplettera undersökningarna av draghastighetens och temperaturens inverkan på dynamisk åldring och fördeformationens inverkan på statisk åldring för kapselinsatsen. Kvävehalt och metallstruktur är parametrar som kan varieras i samband med försöken.

Remissinstansernas synpunkter

Naturskyddsföreningen, Jordens Vänner och Miljöorganisationernas kärnavfallsgranskning påtalar behov av fortsatt forskning inom områdena kopparkrypning och

väteförspädning av koppar, i synnerhet mot bakgrund av KTH gruppens resultat att svavel kan tränga in i koppar.

SSM:s bedömning

SSM konstaterar att SKB har fortsatt tidigare påbörjade insatser kopplade till forskning som rör krypning av koppar, med fokus på fördjupad förståelse av fosfors roll och dess inverkan på kapselkoppars krypegenskaper och duktilitet. Forskningsinsatserna innefattar både teoretiska och experimentella studier vilket SSM anser vara ett brett angreppssätt som ger goda förutsättningar för en utökad förståelse för fosfors roll i koppar.

I Fud-rapporten, inledningen till avsnittet materialegenskaper, omnämns behovet av extrapolation baserat på resultat från experimentell krypprovning samt betydelsen av fundamental förståelse av materialegenskaper. Förutom denna inledning saknas dock en mer detaljerad beskrivning av hur SKB planerar att tillämpa redovisade erhållna och kommande forskningsresultat med avseende på olika aspekter av kopparkryp för att säkerställa kapselns funktioner i slutförvarsmiljön. SSM efterlyser att krypfrågans betydelse värderas exempelvis i perspektivet av tillverkning av kopparkapslar med avseende på tillverkningstoleranser samt hur verifiering av tillräckligt goda krypegenskaper uppnås vid serietillverkning och för kapselregioner med förväntad maximal krypdeformation av koppar. En annan fråga avser hur slutförvarsmiljön med olika tidshorisonter för uppbyggnad av externa tryck runt kopparkapslarnas yta vägs in i bedömningen av om tillräckliga belägg för förståelse av extremt långsam kryp kan anses finnas tillgängliga.

I redovisningen saknas en beskrivning av SKB:s strategi för att koppla resultaten från pågående forskningsinsatser till framtida konstruktionsförutsättningar samt belysa vilken betydelse forskningsresultaten har för säkerhetsanalysen. SSM efterlyser en plan för de aktiviteter och åtgärder som är nödvändiga för att uppnå tillräckliga krypegenskaper hos kapselkoppar.

SSM ser positivt på att modellen av krypdeformation har vidareutvecklats. SSM saknar en beskrivning av hur SKB planerar att använda dessa forskningsresultat samt vilken betydelse de har för säkerhetsanalysen.

SSM noterar att SKB har fortsatt arbetet med den kvantkemiska delen av programmet för att få en fördjupad förståelse av hur tillsatser som till exempel fosfor och föreningar som till exempel svavel stabiliseras i korngränser. SSM bedömer att djupare studier av olika typer av korngränser i koppar kombinerat med den systematiska studie med EBSD som pågår hos Swerim, där mätning av korngränser, kornstorlek och kristallplan ingår, kan bidra till ökad förståelse av materialegenskaperna.

SSM bedömer att SKB bör fortsatt fokusera på att experimentellt validera orsaken till varför fosfor är en avgörande faktor till observerad förbättrad duktilitet efter fosforlegering. Det planerade arbetet med mätning av tid till krypbrott för provtillverkad kapselkoppar vid hög temperatur och höga spänningar bedöms kunna ge viss insikt i materialets beteende. SSM anser det angeläget att SKB beaktar att tidsförloppet kan variera med tanke på varierande förhållanden i berggrunden. Krypmekanismen kan skilja beroende på vilka förhållanden som råder: temperatur, spänningar, deformationshastighet, etc. De osäkerheter som finns kring hur fosfor påverkar koppars krypegenskaper och dess krypduktilitet skulle kunna få större betydelse ju längre tid det tar innan kopparhöljet har kommit i kontakt med segjärnsinsatsen. SSM bedömer att det är värdefullt att SKB planerar att studera inverkan av små variationer i materialets sammansättning, struktur och kornstorlek, eftersom det är viktigt att täcka in normalt förekommande variationer från tillverkningen.

Rörande väteförsprödning i kopparmaterial anger SKB att materialet ska vara tillräckligt rent. Det framgår dock inte vad detta innebär mer konkret. SSM ser behov av vidare insatser för att fastställa och motivera maximalt tillåtna halter av väte och syre i utgångsmaterialet för kapslarna. Även krav på tillverkningsprocesser som till exempel svetsning, för att minimera risken för väteförsprödning, behöver fastställas och motiveras.

SKB omnämner försök där koppar i vatten har utsatts för en stråldos motsvarande den som materialet förväntas utsättas för i slutförvaret. I dessa försök har måttliga ökning av vätehalten observerats. SSM anser att även totala dosraten bör beaktas. SSM ser ett fortsatt behov av att studera hur bestrålning påverkar väteupptag i koppar för att kunna bedöma risken för väteförsprödning.

SSM ser positivt på övriga planerade insatser som till exempel samarbetet med ett konsortium i Kanada för att studera väteinträngning och vätediffusion i koppar samt samarbetet med VTT i Finland för att studera eventuell väteladdning i koppar till följd av sulfidexponering under dragspänning. SSM ser även positivt på det fortsatta arbetet med kvantkemiska beräkningar, vilka kommer att bidra till ökad förståelse om diffusion, segregation och vilken roll väte har i sammanhanget.

Rörande väteförsprödning i segjärn konstaterar SSM att SKB:s forskning inom området är ändamålsenlig. SSM finner det angeläget att SKB fortsätter arbetet med att se över behovet att gränssätta och analysera mängden väte i insatsmaterialen.

Avseende strålningsinducerade effekter på kapselmaterialen noterar SSM att SKB inte planerar ytterligare studier. SSM bedömer det angeläget att SKB tar hänsyn till den bedömning som framfördes i samband med granskningen av Fud-program 2019 (SSM2018-5179-9, avsnitt 7.3.2) om vikten av att genomföra experiment på material med relevant kemisk sammansättning samt att studera samverkans effekter med hög bestrålning, tillgång till en vattenfas samt hög temperatur.

SSM:s detaljerade bedömningar rörande betydelsen av väteförsprödning respektive strålnings effekter på koppar i perspektivet långsiktig strålsäkerhet återfinns i myndighetens yttrande till regeringen avseende SKB:s komplettering (SSM2019-3222-4, avsnitt 8 respektive 9).

SSM noterar att SKB:s fortsatta forskning rörande åldring av segjärn har fokuserat på temperaturens inverkan på materialet. SSM ser positivt på planerade fortsatta studier där man bland annat avser att studera draghastighetens och temperaturens inverkan på dynamisk åldring samt fördeformationens inverkan på statisk åldring. Vidare, ser SSM ett värde i att studera hur faktorer som kvävehalt och metallstruktur påverkar materialegenskaperna.

7.3.3 Konstruktion

SKB:s redovisning

Angående kraven på sammansättningen av materialet för kopparhöljet anger SKB i avsnitt 8.3 att grunden är materialbeteckningen Cu-OFE enligt SS-EN 1976:2012 som även specificerar krav på föroreningar, exempelvis nickel och järn. De senaste publicerade och nu gällande konstruktionsförutsättningarna (Posiva SKB 2017) anger syrehalten till maximalt 5 vikts-ppm, vilket är en uppdatering från vad som angavs i ansökan (SKB TR-10-14). Övriga krav på materialsammansättning är oförändrade sedan ansökan. Vidare



lägger SKB till ett krav på minsta sträckgräns för kopparmaterialet för att säkerställa att tänkt hantering av kapseln inte påverkar dess egenskaper.

I det fortsatta programmet planeras nya utredningar rörande den största kvarstående deformation som kopparhöljet kan komma att utsättas för. Tillåtna hanteringslaster kommer att utredas, liksom tillåten storlek på hanteringsdefekter i kopparhöljet. Effekterna av dragspänning i kopparlocket kommer att undersökas och vid behov kommer den detaljerade kapselutformningen att optimeras. SKB kommer även att formulera krav på renhet i kopparhöljet samt hur kravet ska verifieras i produktion.

SKB har arbetat vidare med att formulera kraven med avseende på mekaniska egenskaper i insatsen. SKB anger att utformningskraven har diversifierats för centrala delar som inte tar någon last, så att inget krav ställs på brottförlängning i ett cirkulärt område med radien 100 mm i centrum av insatsens tvärsnitt (Posiva SKB 2018). Utöver de mekaniska egenskaperna har tillverkningskrav på mikrostruktur ytterligare specificerats för de parametrar (grafit och perlit) där en direkt koppling till materialets egenskaper identifierats.

För att säkerställa att insatsen är tillräckligt tät så att kravet på gastäthet i Clink kan uppfyllas, krävs en tätning till insatsens stållock. I tidigare redovisad design består denna tätning av en traditionell o-ring av gummi, vilket inte uppfyller de övergripande kraven att kapseln inte ska innehålla organiska material. Därför har alternativ design av både stållocket och dess tätning utvärderats. Grundprinciperna i den nya designen är ett skruvförband i lockets periferi istället för en centrumbult och att en planpackning placeras i detta skruvförband med liknande principer som för en topplockspackning.

I det fortsatta programmet drivs ett projekt med syftet att utveckla en alternativ konstruktion av kapselns insats som möjliggör robust tillverkning och enklare kontroll och provning. Projektet omfattar alternativ konstruktion där insatsen tillverkas utan ingjuten stålkasset och alternativa konstruktioner som tillverkas av konventionella standardprodukter. I samband med denna utredning planeras en översyn av tillverkningskraven för insatsen.

SSM:s bedömning

SSM ser positivt på att SKB har ställt upp tydliga krav på kopparmaterialets sammansättning, inklusive krav på föroreningar som till exempel nickel och järn. Det anges också ett krav på maximalt 5 vikts-ppm syre, dock saknas motivering till varför detta anses vara en lämplig gräns. SSM ser positivt på att SKB planerar att ställa krav på en minsta sträckgräns för att klara av hantering av kapseln utan att påverka dess egenskaper. Planerade utredningar i det fortsatta programmet kopplade till kvarstående deformation av kopparhöljet, tillåtna hanteringslaster, tillåten storlek på hanteringsdefekter, etc. bedöms ändamålsenliga.

Pågående arbete med att formulera konstruktionskrav på segjärnsinsatsen där man beaktar variationen i mekaniska belastningar bedöms rimligt. SSM anser det angeläget att SKB tydliggör krav på mikrostruktur, med avseende på till exempel perlithalt, nodulstorlek, etc., samt krav på defekter såsom porer, oxidinneslutningar, etc. SSM anser att tydliga krav i en framtida materialspecifikation, där man tar hänsyn till konstruktionskrav och tillverkningskrav, ger en bra grund för kvalitetssäkrad serietillverkning. Exempelvis har SSM även tidigare nämnt att SKB vid kravställning av maximal kopparhalt i insatserna bör ta hänsyn till att tillverkningsprocessen kan medföra att koppar blir inhomogent fördelad.

7.3.4 Tillverkning, kontroll och provning

SKB:s redovisning

SKB anger i avsnitt 8.4 att förnyade analyser och planering av produktionssystemet för kapslar kommer att genomföras under Fud-perioden för att fastställa omfattning och tidsplan för etablerandet av produktionssystemet. Den teknikutveckling som pågår och planeras, förutom optimering och design av kapselkomponenter, avser främst processer för att styra och kontrollera kvaliteten på tillverkning av komponenter till kapseln, svetsning av kopparbotten och förslutning av locket samt utveckling av kontroll och provning av komponenter och svetsar.

Beträffande tillverkning av koppardelar har SKB under föregående Fud-period fortsatt att utveckla smidesprocessen för att minska variationer i kornstorlek och förekomsten av smidesveck vid smide av kopparlock. Tillverkningen görs som tidigare med sänksmide. Genom att utnyttja större krafter än tidigare har processen kunnat förenklas till användning av ett enklare smidesverktyg och färre processteg. Bland annat har det avslutande steget med räcksmede, som i den tidigare processen orsakat de smidesveck som uppkommit, exkluderats. Tillverkning av kopparlock med den optimerade processen har resulterat i komponenter som uppfyller ställda krav på geometri och materialstruktur. Genomförd ultraljudprovning av tillverkade lock pekar på en homogen låg ljuddämpning i hela volymen, vilket indikerar en homogen finkornig materialstruktur som i sin tur möjliggör en god provbarhet. Prov från de tillverkade locken bekräftar en homogen och finkornig materialstruktur med en medelkornstorlek på 60–120 µm. I det fortsatta programmet avser SKB att arbeta vidare med tillverkningsförsök med syfte att ta fram underlag för processfönster för temperatur vid smide av kopparlock.

För utveckling av processen för tillverkning av kopparrör har ytterligare kopparrör extruderats. Syftet har varit att samla ytterligare information om lämpliga processparametrar och underbygga tidigare utprovade temperaturer för de olika stegen i varmformningsprocessen. Det krävs ytterligare arbete för att säkerställa inom vilka gränser som olika processparametrar ska tillåtas variera. För den alternativa tillverkningsmetoden dornpressning har ingen utveckling skett under Fud-perioden.

I det fortsatta programmet avser SKB att arbeta vidare med processkartläggningar och försöksplanering av processparametrar som i sin tur kommer att ligga till grund för kommande kvalificering av tillverkningsprocesserna för hela tillverkningskedjan för kopparkomponenter. Bland annat planeras tillverkningsförsök med syfte att ta fram underlag för processfönster för processparametrar vid de olika stegen vid extrusion av kopparrör. SKB planerar även att utarbeta provprogram avseende förstörande provning med syfte att identifiera behov av provning vid kvalificering och produktion av kopparkomponenter. Vidare, planerar SKB att genomföra initiala försök för att utvärdera alternativa tillverkningsmetoder för kopparrör för att säkerställa tillgång till alternativa leverantörer under produktion.

Vad gäller tillverkning av insatser anger SKB att man har genomfört ett provningsprogram för de senaste tre tillverkade BWR-insatserna respektive två senaste PWR-insatserna. Provningsprogrammet har bland annat innefattat oförstörande provning av både intakt insats och provskivor samt förstörande provning av prover från kontrollskiva ur överlängd samt från insatsens volym. Materialprovning visar att krav på brottseghet och sträckgräns uppfylls i provade positioner. Däremot finns osäkerheter gällande brottförlängning och brottgräns. Utöver detta har vissa defekter indikerats som i storlek bedöms vara på gränsen till vad som kan accepteras.



SKB har infört ändrade tillverkningskrav för stålkassetten efter gjutning. Dragprovning av material från stålkassetten kanaler efter gjutning har visat att egenskaperna inte uppfyller de nya kraven avseende sträckgräns och brottförlängning. För att utreda orsakerna till försämrade materialegenskaper i segjärnet mellan kanaler samt i stålkassetten kanaler efter gjutning, har experimentella studier av kontraktion och expansion av gjutjärn som funktion av svalningshastighet utförts. Numerisk modellering av spänningsbilden i segjärnsinsatser till följd av termisk utvidgning samt strukturundersökning och fraktografi av segjärn och stål har inkluderats. Experimenten visar att små mikrosprickor bildas vid hög temperatur och att huvudorsaken är att segjärnet respektive stålet i kassetten expanderar och kontraherar olika vid temperaturväxlingar. Analys av mikrostrukturen visar att kol har diffunderat från segjärnet till stålet, på grund av en koncentrationsgradient mellan de två materialen. Koldiffusionen medför att materialegenskaperna ändras både i stålet och i segjärnet. Stålets mikrostruktur förändras och materialet tappar seghet. I segjärnet kommer kisel segra till de avkolade zonerna i närheten av kanalrören och materialet förväntas bli sprödare. SKB har identifierat ett behov av fortsatt teknikutveckling och utredningar för att reducera osäkerheter kring tillverkningen av insatser.

I det fortsatta programmet avser SKB att arbeta vidare med utveckling av alternativa metoder för tillverkning av insatsen där kanalrören skapas utan ingjuten stålkassett. Även alternativa insatskonstruktioner baserade på standardiserade och utprovade material kommer att utvärderas. SKB kommer även att utarbeta provprogram avseende förstörande provning med syfte att identifiera behov av provning vid kvalificering och produktion av insatser.

Den nya designen för lockutformning med skruvförband och planpackning kommer att detaljkonstrueras.

För svetsning av kopparhöljet har utvecklingsarbetet varit inriktat på produktionsanpassning genom förenklad foggeometri, fastställande av toleranser för passning, utveckling av invändigt gasskydd samt kvalitetssäkring för svetsverktygets tappar.

Sedan 2019 sker svetsningen med en förenklad foggeometri där foglinjen är rak och svagt lutande i motsats till den mer komplexa referens-utformningen med en klack. Resultat från utförd oförstörande och förstörande provning visar på likvärdiga resultat som med den nuvarande referensutformningen.

Beträffande gasskydd så har detta använts utvändigt under lång tid av processutvecklingen. SKB har identifierat att det eventuellt även finns behov av invändigt gasskydd för att minimera risken för oxidpartiklar i svetsroten.

Två svetstappar har testats avseende livslängd och säkerhetsfaktor mot brott. Nu pågår ett mer omfattande arbete för att säkerställa tapparnas egenskaper genom att kvalitetssäkra bearbetningen, värmebehandlingen och ytbehandlingen av tapparna.

Kvalificering av svetsprocedur för den aktuella tillämpningen avser SKB att göra genom s.k. utfallsprovning enligt standarden ISO 15613. Baserat på de fullvarvssvetsar som utförts enligt referensproceduren finns en rapport som beskriver processfönster för de ingående parametrarna. Rapporten kommer att användas som underlag vid kvalificeringen.

SKB har tillsammans med finska Posiva startat ett projekt i syfte att kvalificera svetsprocedurer för svetsen mellan kopparrör och kopparbotten respektive kopparlock (förslutningssvets).

Remissinstansernas synpunkter

Kvalitativ Kärnavfallsinformation (KKI) konstaterar, med hänvisning till avsnitt 8.4, att det saknas kommentarer kring hur det går för Posiva med att tillverka och kontrollera kapseln. KKI saknar vidare information om vilka synergier och vinster som uppnås genom att koordinera arbetet med Posiva. KKI saknar också information om hur tidplanen för SKB och Posiva ser ut.

SSM:s bedömning

I bedömningen av 2016 och 2019 års Fud-program påpekade SSM att det saknades en tidplan som redovisar utveckling av tillverkningsprocesserna och kvalificering av dessa i industriell skala. SSM noterar att SKB har påbörjat arbetet med att planera och genomföra tillverkningsförsök för att samla information om olika processparametrar i syfte att få ett tillräckligt underlag för kommande processkvalificeringar. SSM ser positivt på att arbetet med processutveckling är påbörjat, dock saknas fortfarande en principiell tidplan som redogör för hur initialtillståndet ska uppnås vid tidpunkten för rutinmässig drift. Denna tidplan bör även inkludera aktiviteter hos Posiva där samarbete förekommer.

SSM noterar att smidesprocessen för tillverkning av koppardelar har utvecklats och ser positivt på att variationerna i kornstorlek har minskat och att risken att få smidesveck vid smide av kopparlocket har minskats.

När det gäller den alternativa metoden med dornpressning noterar SSM att SKB inte redovisar någon orsak till att det inte bedrivits ytterligare utvecklingsarbete under den aktuella perioden.

SSM noterar att arbetet med utveckling av tillverkning av segjärnsinsatsen fortskrider och att det kommer att behövas ytterligare processutveckling för att uppfylla alla krav på materialegenskaper som till exempel brottförlängning och brottgräns. Det finns även behov av förbättringar i processen för att minska storleken på defekter i materialet.

SSM noterar att arbetet med utveckling av tillverkning av stålkassetten kommer att kräva ytterligare insatser eftersom SKB:s ändrade tillverkningskrav inte har kunnat uppfyllas. SSM ser positivt på att SKB avser att arbeta med utveckling av alternativa metoder för tillverkning av segjärnsinsatsen där kanälrören skapas utan ingjuten stålkassetten samt att utvärdering av metoder för tillverkning med standardiserade och utprovade material ska genomföras. Dock förväntar sig SSM att SKB inom en relativt snar framtid kan fatta beslut om vilken tillverkningsmetodik som kommer att tillämpas. Om valet faller på den nuvarande metodiken med gjutet segjärn och stålkassetten bedömer SSM det som angeläget att SKB ser över de risker som finns med att kol diffunderar från segjärn till stål i samband med tillverkningsprocessen, vilket förändrar kemisk sammansättning, mikrostruktur och materialegenskaper för båda legeringarna.

SSM bedömer att det är fördelaktigt ur tillverknings synpunkt med en förenklad foggeometri vid sammanfogningen och ser positivt på att tillämpa en sådan, förutsatt att den ger likvärdiga egenskaper för svetsförbandet.

I Fud-program 2019 redogjorde SKB för arbetet med att undersöka hur oxider påverkar svetsgodsets duktilitet och korrosionsegenskaper och angav att ett processfönster för att optimera gasskyddet tagits fram. Dock utan någon diskussion om behov av in- eller utvändigt gasskydd. SSM noterar att det under den senaste Fud-perioden, i tillägg till utvändigt gasskydd, även identifierats ett eventuellt behov av invändigt gasskydd för att

skydda svetsroten. SSM förutsätter att invändigt gasskydd kommer att inarbetas i processen om ett behov av sådant kan påvisas för att förhindra att oxid bildas.

SSM ser positivt på SKB:s fortsatta utvecklingsarbete för att säkerställa svetstapparnas egenskaper. SSM ser även positivt på SKB:s projekt för att kvalificera svetsprocedurer för kopparkapselns svetsar och bedömer att kvalificering genom utfallsprov enligt ISO 15613 är en lämplig metodik för att kvalificera processen för svetsning av de aktuella svetsfogarna.

Hantering av kapslar i samband med transport och installation behandlas i kapitlet för Konstruktion.

7.4 SSM:s samlade bedömning avseende omhändertagande av använt kärnbränsle

När det gäller den övergripande planeringen för omhändertagande av använt kärnbränsle anser SSM att den uppdaterade genomförandeplanen som har fastställts sedan Fud-program 2019 speglar ett realistiskt svar på förändrade förutsättningar kring SKB:s program i stort. Myndigheten bedömer att SKB har försökt förmedla en tydlig logik kring sina planer mot bakgrund av nuvarande kännedom om relevanta omvärldsfaktorer. SSM vill dock i framtiden se en tydligare koppling mellan programmet för de olika anläggningarna och arbetet med framtagande av kapseltransportbehållaren, inte minst som en påminnelse om att hantering av kapslarna under transport utgör en del av vad som blir föremål för samfunktionsprovning innan systemet tas i drift. Dessutom, även om sannolikheten för att inkapslingsverksamheten inte har påbörjats innan bassängernas mellanlagringskapacitet överskrids fortfarande bedöms som låg, anser SSM att det kan vara klokt att överväga vid vilken tidpunkt, och mot vilka indikatorer, mer avancerade alternativa strategier för mellanlagring skulle behöva tas fram.

SSM konstaterar att SKB:s arbete med frågor som gäller själva bränslet har en rad olika mål. För det första handlar det om att säkerställa en fortsatt säker mellanlagring i Clabs bassänger samt senare under inkapsling. Detta återspeglas i synnerhet genom arbetet med fokus på bränsleintegritet. Sedan finns studier som syftar till att säkerställa att den information som används vid urval av bränsle för inkapsling är av den karaktär och omfattning som behövs för att optimera både verksamheten inom Clink och slutförvarets detaljutformning. Slutligen finns forskningsaktiviteter som syftar till att ytterligare förbättra kunskapsbasen kring frigörelse av radionuklider vid eventuellt kapsselfel.

SSM bedömer att inriktningen av SKB:s arbete med bränslefrågor är väl motiverad, att redovisade resultat visar på bra framsteg, och att planerade insatser för den kommande Fud-perioden är ändamålsenliga. Förbättringsmöjligheter har ändå identifierats med hänsyn till SKB:s tidplan för framtida insatser, i syfte att ge en tydligare koppling mellan de resultat som eftersträvas och varför, respektive när, de behövs. Myndigheten konstaterar också att det finns ett antal faktorer som pekar på vikten av internationellt samarbete på området, som t.ex. svårigheter med att upprätta en kritisk massa av kompetens i Sverige men också att flera vetenskapliga frågeställningar kring kunskap om använt bränsle är mer eller mindre gemensamma för flera program.

SSM konstaterar att SKB:s insatser kring kapseln i första hand syftar till att ytterligare fördjupa av kunskapen om degraderingsprocesser som kan leda till kapselbrott vid någon tidpunkt efter slutförvarets förslutning, och i andra hand kring optimering av kapselns konstruktion samt metoder för tillverkning, kontroll och provning.

Myndigheten bedömer att SKB:s program för att verifiera befintlig kunskap kring olika korrosionsformer för koppar, samt för att erhålla fördjupad förståelse för både förväntade och mindre sannolika/mindre betydelsefulla processer, är rimligt allsidigt och omfattande. SSM menar dock att en strategi behöver tas fram för att, mot bakgrund av samlade erfarenheter och resultat från verksamheten vid Äspölaboratoriet, närmare beskriva hur och i vilket syfte man avser att fortsätta med in-situ försök i slutförvarsmiljön efter att laboratoriet har avvecklats. SSM framhåller också vikten av att SKB i lämplig utsträckning fokuserar på att vidareutveckla förståelse för de omgivningsfaktorer och förhållanden (t.ex. tillgång till gasformig sulfid under perioden innan återmättnad uppnås i slutförvarets närområde, samt de förhållanden som bidrar till långsiktig erosion av bufferten) som har störst betydelse för olika korrosionsmekanismer. Myndigheten bedömer även att det finns möjlighet till ytterligare insatser med fokus på hur en förhöjd strålningsmiljö kan samverka med övriga omgivningsfaktorer under en tidsperiod på cirka 1000 år efter förslutning.

SSM anser att SKB:s angreppssätt i forskning kring kapselmaterialens egenskaper och deras utveckling efter slutförvarets förslutning ger goda förutsättningar för en fördjupad förståelse av olika degraderingsmekanismer. Myndigheten saknar dock i vissa fall (t.ex. i förhållande till koppars krypegenskaper samt risken för väteförspredning) en tydligare koppling mellan genomförda och planerade forskningsaktiviteter och hur resultaten kommer att användas – både i säkerhetsanalyser och vid precisering av krav på konstruktionsmaterial och tillverkning – för att säkerställa kapselns funktioner i slutförvarsmiljön. SSM ser också ett fortsatt behov av att studera hur bestrålning påverkar väteupptag i koppar.

Myndigheten ser positivt på de framsteg som redovisas i samband med kravställning på kapselmaterial och optimering av kapselns detaljutformning, samt det planerade arbetet under kommande Fud-period. När det gäller SKB:s utvecklingsarbete med koppling till tillverkning, kontroll och provning av kapseln ser SSM också positivt på de framsteg som redovisas för både insatsen och kopparhöljet, samt att SKB i Fud-program 2022 rapporterar att arbetet med övergripande processutveckling har påbörjats. Det noteras dock att det fortfarande saknas en principiell tidplan som visar vägen fram till att samtliga relevanta pusselbitar finns på plats vid tidpunkten för rutinmässig drift.

8 Transporter

SKB:s redovisning

SKB anger i Fud-program 2022 att transportsystemets nuvarande uppgifter är att ombesörja transport av radioaktivt material (kärnbränsle, kärnavfall och radioaktivt avfall) från de svenska kärnkraftverken till Clab och från kärnkraftverken, Studsvik till SFR. Transportsystemets olika komponenter beskrivs övergripande. Komponenterna är hamnar, ett fartyg, ett antal olika behållare för att transportera radioaktivt material samt terminalfordon för kortare landtransporter. Nästan samtliga transporter sker sjövägen med fartyget m/s Sigrid som är särskilt anpassat för sjötransport av olika typer av radioaktivt material mellan kärnkraftverken, Studsvik, SFR och Clab. Enligt SKB:s uppskattning varierar antalet sjötransporter mellan de olika anläggningarna, mellan 30 och 40 årligen. Transporter från Forsmark till SFR och från Oskarshamn till Clab sker landvägen.

Olika typer av radioaktivt material transporteras i behållare som är specialtillverkade för att uppfylla de gällande transportbestämmelserna och upprätthålla en ändamålsenlig strålsäkerhetsnivå under transporten.

Kortlivat låg- och medelaktivt avfall transporteras från kärnkraftverken, Clab och Studsvik till SFR för deponering. Kortlivat lågaktivt radioaktivt material kan transporteras



i ISO-containrar, medan kortlivat medelaktivt radioaktivt material behöver transporteras i transportbehållare (ATB) med 7-10 centimetertjocka stålväggar. Dessa transportbehållare renoveras och uppgraderas vid behov för att möjliggöra transporter av fler typer av radioaktivt material.

Långlivat drift- och rivningsavfall kommer att transporteras direkt till det framtida SFL medan långlivat avfall från Barsebäcks kärnkraftverk kommer att mellanlagras på annan plats. För att transportera långlivat drift- och rivningsavfall kommer en ny transportbehållare att utvecklas.

Långlivat radioaktivt material, t.ex. styrstavar från BWR till Clab, kommer att transporteras så länge BWR är i drift i en transportbehållare avsedd för hårdkomponenter med kraftigare stålväggar som är ca 30 centimeter tjocka.

Använt kärnbränsle transporteras från kärnkraftverken till Clab i transportbehållare med kraftiga stålväggar, ca 30 centimeter tjocka. Dessa behållare är dessutom utrustade med kylflänsar för att kyla ner det radioaktiva materialet från överhettning till följd av resteffekten och med plast för att skärma av neutronstrålningen under transporten. För att uppfylla de ökade säkerhetskraven för transport av använt kärnbränsle tas en ny transportbehållare fram som medför en anpassning på kärnkraftverken och Clab för dess hantering.

För de framtida sjötransporterna av inkapslat kärnbränsle från Clab till Kärnbränsleförvaret kommer en ny transportbehållare (KTB) att utvecklas och tas i bruk. Transportbehållaren kommer att ingå i KBS-3 systemet. Transportbehållaren kommer att certifieras av den behöriga myndigheten i det land där den tillverkas i enlighet med tillämpliga internationella transportbestämmelserna och sedan bekräftas i Sverige av SSM före användning. Tillverkning, leverans och samfunktionsprovning av KTB kommer att ske succesivt efter behov.

Utöver de vanligt förekommande transporterna kan det uppstå behov att transportera udda komponenter uppkomna vid avveckling av de kärntekniska anläggningarna. SKB konstaterar att beslutet att segmentera reaktortankarna och transportera dem i särskilda transportbehållare minskar denna typ av specialtransporter men samtidigt redovisar SKB att behovet av specialtransporter ännu inte har studerats.

SKB konstaterar i sin övergripande planering att beläggningen på transportsystemet kommer att öka från och med 2030-talet och de efterföljande decennierna. Transporter som kommer att läggas till är inkapslat använt kärnbränsle från Clink till Kärnbränsleförvaret, rivningsavfall från kärnkraftverken till SFR och med början under 2050-talet till SFL.

Det kommer att uppstå olika grader av beläggning i transportsystemet t.ex. under utbyggnaden av SFR då deponeringsstopp kommer att gälla, efter det att deponeringsstoppet har upphävts eller efter det att de sista reaktorerna har avvecklats. SKB bedömer att det nuvarande transportsystemet har en överkapacitet och att systemet därför förväntas klara den ökade transportvolymen.

SSM:s bedömning

SSM:s bedömning efter granskningen av SKB:s redovisning för transportsystemet grundar sig huvudsakligen på en jämförelse med SKB:s redovisning i Fud-program 2019, de åtgärder som har vidtagits sedan dess som svar på SSM:s observationer och även de villkor som regeringen har ställt i fråga om transport.

Ett antal helt nya och uppgraderade redan befintliga transportbehållare har bekräftats i Sverige för användning. Exempel på sådana transportbehållare är HI-STAR 80 avsedd för transport av använt kärnbränsle, ATB 1T avsedd för transport av långlivat medelaktivt radioaktivt material och TN17/2 som är avsedd för transport av kärnbränsle och har fått

nya bottenstötdämpare. SSM anser att detta är positivt och i linje med vad som redovisades i Fud-program 2019.

SSM noterar att SKB i sin redovisning återigen påpekar att det nuvarande transportsystemet erbjuder en överkapacitet, vilket enligt SKB ger goda utsikter att hantera den förväntade framtida ökningen av transportvolymen. SKB har i en tidigare intern utredning från 2019 uppskattat transportsystemets logistik och kapacitet på lång sikt. I denna utredning konstaterade SKB att uppskattningen delvis bygger på ej fastlagda antaganden och att i kommande arbete med att utveckla och anpassa transportsystemet kommer dessa att genomarbetas. Vid granskningen av Fud-program 2019 uppmanade SSM SKB att fortsätta utreda frågan, men Fud-program 2022 ger inget svar på om frågan utreddes ytterligare och vad resultatet av denna utredning blev. SSM:s uppmaning till SKB att utreda och besvara frågan kvarstår.

I Fud-program 2019 framhöll SKB att den bemanning som utför externa transporter får tillräcklig kompetens för att sedan utföra specialtransporter åt de kärntekniska anläggningarna. SSM förstod delvis motiveringen, men ansåg att SKB borde återkomma till frågan under loppet av detta Fud-program med en konkret redovisning för de åtgärder som avses bli vidtagna för att säkerställa transportsystemets bemanningskompetens i framtida specialtransporter. Som svar på denna begäran ändrar SKB sitt resonemang och skriver i Fud-program 2022 att den erfarenhet som erhålls genom transporter av bl.a. använt kärnbränsle är tillräcklig för att förvärva kompetens för externa transporter. SSM:s uppmaning till SKB att utreda och besvara frågan kvarstår.

I Fud-program 2022 anges att transportflödet av KTB kommer att vara jämnt, med fyllda KTB som transporteras till Kärnbränsleförvaret och tomma som transporteras tillbaka till Clink. Av redovisningen framgår inte om SKB har tagit hänsyn till att eventuella skador på kopparkapslarna som kan uppstå efter att en sändning lämnat Clink kan göra dem olämpliga för slutligt förvar och tvinga till returtransporter med använt kärnbränsle. Av redovisningen framgår inte heller om det finns en uppskattning av sådana potentiella incidenter eller om SKB har uppskattat hur många KTB som behövs för att säkerställa en oavbruten transportkedja.

SSM anser att det stora antalet transporter av KTB mellan Clink och Kärnbränsleförvaret inte kan utesluta ovannämnda incidenter. SSM uppmanar därför SKB att i nästa Fud-program presentera utförligare information och förebyggande åtgärder som ska vidtas.

9 Kärnämneskontroll

SKB:s redovisning

I redovisningen (avsnitt 7.6) beskrivs att tillämpningen av kärnämneskontroll måste säkerställa kontinuerlig kännedom (*Eng. Continuity of Knowledge*) om kärnbränslet och att utvecklingen genomförs så att helheten beaktas. SKB beskriver att deras utveckling av kärnämneskontrollen framförallt gäller metoder för verifiering av deklarerat kärnämne, logistik, identifiering av kopparkapslar, sigill, samt hantering av onormala händelser.

SKB beskriver i avsnitt 7.2 att det finns krav på att alla bränsleelement måste verifieras före inkapsling, vilket utgör en planeringsföresättning. Gällande metoder för verifiering av deklarerat kärnämne har utveckling kopplat till verifieringsinstrumenten Differential Die-Away Self-Interrogation (DDSI) och Differential Die-Away (DDA) fortsatt. Även de etablerade samarbetena med olika internationella grupper, nationella organisationer och universitet, bl.a. Los Alamos National Laboratory, Oak Ridge National Laboratory, Uppsala universitet och Lunds universitet, pågår och kommer att fortsätta. SKB redovisar

vidare att utvecklingen av metodiken för att kombinera bränsledata med karakteriseringsmätningar kommer att fortsätta i under kommande Fud-period. Detsamma gäller för utveckling av mätstationens utformning, metodik och teknik för kärnämnesverifiering. Under kommande Fud-period planeras en ny fas påbörjas där man önskar ta fram industriellt tillämpliga metoder och att bygga en fullskaleprototyp för karakterisering av bränsle inför inkapsling.

Gällande märkning och identifiering av kopparkapslar beskriver SKB att de under perioden bidragit till den forskning och utveckling som bedrivs av EU-kommissionen, dock är SKB:s bedömning att gravering av identitetsmärkning på kapselns lock är den mest tillförlitliga metoden och den som kan accepteras i produktionsmiljö. Den fortsatta utvecklingen kommer inriktas mot teknik för säker avläsning av identitetsmärkningen.

SKB beskriver att de skickat underlag till EU-kommissionen vilka tagit fram ett förslag på ett sigill som skulle kunna användas på kapseltransportbehållaren (KTB). SKB noterar att utvecklingen kommer fortsätta i samband med utvecklingen av transportbehållaren.

Gällande använt kärnbränsle noterar SKB slutligen att de under kommande Fud-period kommer genomföra en logistikstudie med avseende på kärnämneskontroll för färdiga kopparkapslar i inkapslingsanläggningen, något som även kommer diskuteras i samarbetsforum med kontrollorganen. SKB beskriver att man även fortsatt kommer delta i det internationella samarbetet med bland andra IAEA, EU-kommissionen och SSM för att bidra till utvecklingen av metoder och principer för kärnämneskontroll, t.ex. pågående arbete med så kallade Equipment Infrastructure Requirements (EIR) vilket baseras på det utkast till grundläggande tekniska beskrivning (draft BTC) som SKB redovisat till kontrollorganen.

I sin redovisning noterar SKB även att metoder för verifiering, system för märkning, paketering, sigillhantering, transport och slutförvaring behöver utformas för avfallet från svenska historiska kärntekniska anläggningar, avfall som för närvarande lagras vid Studsvik och innehåller små mängder kärnämne. Utvecklingen behöver ta hänsyn till avfallens särart.

Remissinstansernas synpunkter

Kungliga Tekniska Högskolan (KTH) framhåller att internationella samarbeten är mycket viktiga, och enligt KTH är det viktigt att aktörer som utför forskning för SKB:s räkning och ingår i internationella samarbeten inom EU, IAEA och OECD/NEA anser KTH att det skulle vara värdefullt om SKB kunde beskriva hur dessa aktörer kan involveras.

Kvalitativ Kärnavfallsinformation (KKI) noterar sammanfattningsvis att SKB anger att det efter förslutning kan behövas kontrollåtgärder som omfattar hantering på markytan och att detta inte skulle vara i linje med principen att slutförvaret inte ska behöva övervakas. KKI anser vidare att SKB bör beskriva värdet i att utveckla ett sigill för transportbehållarna för kopparkapslarna, samt beskriva vilket scenario som kräver sigill.

SSM:s bedömning

SSM ser positivt på att SKB beskriver att aspekterna för kärnämneskontroll beaktas redan i konstruktionsskedet samt att utvecklingen avses genomföras sammanhållet. SSM ser även positivt på att SKB aktivt deltar i internationella möten och arbetsgrupper, så som arbetsgruppen inom LLC EPGR och EIR-mötena. SSM anser att det är viktigt att SKB:s fortsatta forsknings- och utvecklingsarbete sker i fortsatt dialog med de internationella kontrollorganen IAEA och Euratom.

SSM ser vidare positivt på att SKB under kommande Fud-period avser att genomföra en logistikstudie för färdiga kopparkapslar för inkapslingsanläggningen, samt att resultaten

kommer diskuteras i samarbetsforum med kontrollorganen. SSM noterar dock att logistikstudie i redovisning i Fud-program 2022 enbart beskrivs omfatta kopparkapslar jämfört med redovisningen i Fud-program 2019 då det beskrevs innefatta både kopparkapslar och bränsleelement. Av SKB:s redovisning framgår inte anledningen till denna ändring.

SSM noterar att utvecklingen av transportbehållaren och möjligheten till att applicera sigill finns omnämnt men tidshorizonten är i redovisningen är oklar. Det framgår inte om detta är något som SKB avser genomföra under nästa Fud-period. De internationella kontrollorganen IAEA och Euratom samt även SSM har vid flera tillfällen påtalat vikten av framdrift gällande designen för transportbehållaren av kopparkapslar där möjligheten att kunna sätta sigill på transportbehållaren anses som väsentligt för kärnämneskontrollen och möjligheten att upprätthålla kontinuerlig kännedom.

SSM anser, i likhet med granskningen av tidigare Fud-program, att det är viktigt att SKB vid provning av systemet även inkluderar kärnämneskontroll i samarbete med SSM och de internationella kontrollorganen. Detta är speciellt viktigt eftersom de internationella kontrollorganen kan förväntas vilja verifiera vad SKB deponerar, även om det enbart är tomma kopparkapslar.

10 Slutförvarsgemensam forskning och teknikutveckling

10.1 Cementbaserade material

SKB:s redovisning

SKB:s generella frågor i Fud-program 2022 som rör cement i slutförvar är:

- Interaktion mellan cement och grundvatten
- Gastransport i cement
- Nedbrytning av organiska komponenter i cement
- Korrosion av metaller
- Interaktion mellan cement och bentonit
- Inverkan av cementsammansättning och tillsatsmaterial
- Utveckling av återfyllnader

Den första punkten om interaktion mellan cement och grundvatten har varit föremål för SKB:s analyser under en längre tid med bl.a. fokus på pH-utvecklingen för olika förvarsdelar. Dominerande interaktioner är de som orsakas av upplösnings- och utfällningsreaktioner för den ursprungliga cementmatrisen, och som leder till långsamt fallande pH över mycket långa tider, med samtidiga förändringar av cementens materialegenskaper samt i viss mån förändringar av materialets retardationsegenskaper för radioaktiva ämnen. Under föregående Fud-period har SKB låtit ta fram en kod för modelleringen av sprickiga system, vilket har betydelse för att förstå hur sprickbildningen påverkar kemiska förhållanden inuti förvarsdelarna. SKB avser att fortsätta analyser inom ämnet med har vid tidpunkten för publiceringen av Fud-program 2022 inte någon fastställd inriktning för sådana insatser.

Beträffande gastransport tar SKB särskilt upp frågan kring risken för uppbyggnad av höga gastryck i avsaknad av gasavledningssystem. Inga nya resultat har framkommit under den senaste Fud-perioden men SKB avser att under kommande år fortsätta arbetet både med gasbildande processer och gastransport, samt att baserat på detta föreslå gasavledningssystem som förhindrar uppbyggnad av höga gastryck och som samtidigt har så liten negativ inverkan på radionuklidtransport som möjligt.

SKB har genomfört en fältstudie av nedbrytningen av organiskt material i närvaro av cementpasta i en representativ slutförvarsmiljö med avseende på grundvattenkemisk sammansättning. Detta arbete ska utgöra ett komplement till accelererade laboratorieförsök. Resultaten visar på mycket begränsad degradering av organiskt material under representativa förhållanden. Kvarvarande exponerade prover kommer att plockas upp och analyseras innan Äspölaboratoriets stängning.

Korrosion av metaller har även en betydelse för den kemiska miljön i cement, och det faktum att korrosionsprodukter har större volym än motsvarande metaller kan orsaka sprickbildning hos cement. SKB har under den senaste Fud-perioden avslutat vissa fältförsök och resultaten visar på låga korrosionshastigheter. Av särskilt intresse är att korrosionshastigheterna för zink och aluminium nu bekräftats vara mycket lägre än vad som tidigare har förutsatts. Det har även visats genom laboratorieförsök att den initialt snabba korrosionen för dessa metaller avstannar och sjunker mot låga nivåer efter att cementen har härdat, uppenbarligen beroende på bildning av passiverande korrosionsprodukter. Samstämmighet mellan resultat från fältförsök och laboratorieexperiment underbygger tilltron till slutsatsen. SKB:s fortsatta program innefattar återtag och analys av kvarvarande prover innan Äspölaboratoriets stängning.

I SFR:s silo och i det föreslagna BHA förvaret (SFL) finns en kontaktzon mellan bentonit och cement i vilken materieöverföring mellan de två komponenterna ger upphov till kemiska förändringar. Det fordras en förståelse för dessa kemiska processer för värderingen av de båda materialens barriäregenskaper på lång sikt. Befintliga försöksresultat innefattande analys av exponerade prover visar på en materieöverföring av kalcium från cement till bentonit. SKB har olika pågående experiment benämnda ”concrete and clay” i Äspölaboratoriet som ska avslutas och analyseras före laboratoriets stängning. SKB ämnar även fortsätta med vissa modelleringsstudier för att ytterligare belysa interaktioner mellan cement och bentonit.

SKB omnämner betydelsen av vanliga tillsatsmaterial till cement som förändrar materialets sammansättning och egenskaper. Frågan har undersökts både experimentellt och teoretiskt med modelleringsstudier. Modelleringsstudier pekar dock på att de mest gynnsamma resultaten erhöles för betong med mycket låg porositet, och att denna parameter hade större betydelse än sammansättningen. SKB avser att gå vidare med en känslighetsanalys som ska illustrera betydelsen av olika bindemedel i cement. De olika bergsalarna BMA, BRF och BTF i SFR kommer att återfyllas med makadam med hög hydraulisk konduktivitet. Syftet med materialvalet är att grundvattenflöde från berget ska styras till återfyllnaden och på så vis undvika kontakt med avfallet. SKB har dock identifierat betydelsen av bildning av biofilmer på återfyllnadens mineralytor som kan försämra den hydrauliska konduktiviteten och därmed minska den eftersökta effekten. SKB har av detta skäl startat upp experimentella studier av frågan vid Äspölaboratoriet som kommer pågå till laboratoriets stängning.

SKB:s specifika aktiviteter inom cementområdet för SFR innefattar:

- Utformning av bergsal 2BMA
- System för gastransport
- Hållfasthet betongtankar
- Reparation 1BMA

Beträffande 2BMA har SKB särskilt fokuserat på att ta fram en utformning som undviker en negativ inverkan av formsteg. Formsteg kan orsaka uppkomst av hydrauliskt genomsläppliga zoner i en cementkonstruktion. Det initiala förslaget att helt undvika formsteg fick dock överges, men en uppdaterad utformning med användning av skyddsror runt formstegen har undersökts. Denna metod innebär att formstegen kan avlägsnas efter gjutningen och att ett tätt cementbaserat bruk fyller igen tomrummen. Provgjutningar har visat att metoden fungerar. SKB har även undersökt olika metoder för gjutning av

innerväggar i 2BMA, men man har ännu inte kunnat fastställa vilken som är den mest fördelaktiga. I den kommande Fud-perioden kommer metodutveckling för uppförande och verifikationer av produktionsteknik för 2BMA att fortsätta. Gasavledningssystem kommer behöva utformas både för silo och för 2BMA, samt sannolikt även för 1BMA. SKB har konstaterat att de planerade täta cementkonstruktionerna medför behov av gasavledning för att inte konstruktionernas integritet ska hotas av gasbildning. Detta åstadkoms genom hål i de lock som placeras ovanpå cementkonstruktionerna. Det behövs även kanaler i avfallsdomänerna i vilka gas kan bildas som antingen lämnas tomma eller fylls igen med genomsläppligt material. SKB kommer fortsätta utvecklingen av gasavledningssystem för de olika förvarsdelarna bland annat genom att undersöka olika tänkbara genomsläppliga fyllnadsmaterial. Ett visst utvecklingsbehov kopplat till betongtanksförvaret (BTF) har också identifierats av SKB eftersom det i samband med ett försök har framkommit att betongtankarnas väggar är mycket täta. De innebär att tankarna inte kommer att återmättas så snabbt som tidigare förväntats, och därmed måste de kunna motstå höga omgivningstryck för att inte spricka. SKB avser att i kommande Fud-period närmare undersöka inverkan av höga omgivningstryck, samt utreda om det är möjligt att snabba på återmättnadsförloppet. Med tanke på viss degradering av befintliga cementväggar i 1 BMA planerar SKB att förse konstruktionen med nya utanpåliggande laggar i samband med förslutningen. Med den nuvarande utformningen förväntas inte väggarna att på sikt kunna motstå lasterna från svällande avfall. SKB har utrett såväl kostnader som dosbelastning till den personal som skulle genomföra ett sådant arbete, och funnit att ingen av dessa två aspekter kring åtgärden utgör något direkt hinder. SKB avser dock att ytterligare analysera denna frågeställning under den kommande Fud-perioden.

Beträffande bränsleförvaret har SKB under föregående Fud-period avslutat och avrapporterat det så kallade Domplu försöket i Äspölaboratoriet vars syfte var att demonstrera genomförbarhet för pluggar i ändan av deponeringstunnlar baserat på oarmerad betong av låg-pH typ. SKB avser att gå vidare med att ta fram konstruktionsförutsättningar och kravspecifikation för pluggar baserat på nya tunneltvärnsnitt för deponeringstunnlarna.

Beträffande användning av cementmaterial för injektering och bergförstärkning i bränsleförvaret utgår SKB för närvarande från föresatsen att cement på djup större än 200 m ska innehålla pH-sänkande tillsatsmaterial ("låg-pH cement"). På mindre djup än 200 m räknar man dock med att vanlig cement kan användas. Bakgrunden för användning av låg-pH cement är att om vanlig cement används på stora djup kan en pH plym sprida sig till deponeringsområden med bl.a. en negativ påverkan på bufferten, samt effekter på en eventuell spridning av radioaktiva ämnen (eftersom radioaktiva ämnens retentionsegenskaper ofta påverkas starkt av pH). SKB rapporterar dock att eftersom den analys som ligger bakom kravet 200 m är förenklad (Sidborn, 2014) håller en mera detaljerad analys av pH-plymen med mera realistiska antaganden på att tas fram. Under den kommande Fud-perioden kommer SKB att med hjälp av resultat från de förnyade modelleringsinsatserna ta ställning till om det finns möjligheter att revidera krav med avseende på till vilket djup vanlig cement kan användas.

Remissinstansernas synpunkter

Kungl. Vetenskapsakademien anser att den långsiktiga utveckling för cementmaterial i slutförvarsmiljön behöver studeras ytterligare.

SSM:s bedömning

SSM konstaterar att användning av cement och betong i sammanhanget slutförvar av radioaktiva avfall har en lång historik med tillämpning vid en lång rad slutförvar runt om i världen. Det är således ett moget vetenskaps- och teknikområde både vad gäller teori och

praktik. SKB har t.ex. en lång rad värdefulla erfarenheter från konstruktion och drift av SFR-förvaren. Den förvarstyp som i hög grad baserat på användning av cement utgör också en stor del av kommande planerade förvar inom SFL och det utbyggda SFR. Även om cement inte utgör en barriär i det planerade bränsleförvaret utgör det ett betydelsefullt konstruktionsmaterial som används vid injektering och bergförstärkningar.

SSM konstaterar att trots att cement och betong varit aktuella för både tekniska barriärer och konstruktionsmaterial under lång tid dyker fortfarande nya frågor upp som behöver besvaras, vilket illustreras av punktlistan ovan. Äspölaboratoriet har fortfarande en stor betydelse för de studier som har utförts och avser att utföras/slutföras under förvarsliknande betingelser. SKB bör därför utreda andra möjliga försöksplatser och i kommande Fud-program redovisa hur liknande behov ska kunna tillgodoses efter att Äspölaboratoriet inte längre finns tillgängligt för försöksverksamhet. SSM anser att redovisningen av cementfrågor i Fud-program 2022 delvis måste betraktas som knapphändig. Detta gäller i synnerhet den del som avser mera grundläggande vetenskapsfrågor och mindre tillämpade praktiska frågor kopplat till de specifika förvarsdelarna. För exempelvis den mycket långsiktiga utvecklingen av mineralfaser inom cement och hur de kemiska förhållandena utvecklas på lång sikt redovisas endast att olika möjligheter håller på att övervägas. I säkerhetsanalyserna för både befintliga och kommande delar av SFR utgör antaganden om både cementbarriärernas fysikaliska och kemiska långsiktiga utveckling med parametrar som genomsnittlig hydraulisk konduktivitet och pH-förhållanden viktiga förutsättningar för dos- och riskberäkningar. SKB bör långsiktigt bygga upp modelleringskapacitet och kompetens för att gradvis ta fram ytterligare underlag för underbygga dessa frågor i kommande säkerhetsanalyser. Ett viktigt exempel på grundläggande forskning inom området som SKB kortfattat tar upp i Fud-program 2022 är långsiktig inverkan av en uppsprucken cementbarriär och/eller avfallsmatrix i förhållande till en med homogena hydrauliska egenskaper. SKB menar på att effekten är lägre pH-värden som en följd av en mera begränsad interaktion med cementfaser och därmed möjligen högre korrosionshastigheter. SSM kan dock tänka sig att sprickbildning har ett flertal andra effekter som behöver belysas så som snabbare utläckage av radioaktiva ämnen genom att genomsnittliga avstånd till zoner med advektiv transport minskar. En annan fråga för vilken teoretiska och mera grundvetenskapliga aspekter inte redovisas avser den långsiktiga kemiska utvecklingen av s.k. låg-pH cement. SSM konstaterar att SKB i Fud-program 2022 saknar utblickar och redovisning om vad som sker internationellt kring cement och användning av cementbarriärer i kontexten geologisk slutförvaring av radioaktiva avfall, och vilken betydelse detta har för SKB:s prioriteringar.

Beträffande de av SKB redovisade studierna kring betongtankarnas täthet och risken för uppkomst av höga gstryck konstaterar SSM att SKB bör ta fram en tydligare strategi för hantering av frågan i förhållande till vad som redovisas i Fud-program 2022. Gasavledning och tryckuppbyggnad är också en fråga som behöver ytterligare belysas för 2 BMA.

SSM har förståelse för att cementforskning kopplad till SFL inte har någon framträdande plats i Fud-program 2022 mot bakgrund av den av SKB redovisade säkerhetsvärderingen för SFL, samt att SFL frågorna ligger långt in i framtiden. SSM har dock uppfattning att SKB för tydlighetens och fullständighetens skulle borde ha haft med någon form av redovisning av om det finns cementfrågor som är specifika för de speciella förutsättningarna för SFL. I särskilda avsnittet om SFL förvarens utformning påtalas exempelvis frågan om BHK förvaret ska utformas med armerad eller oarmerad betong.

10.1.1 SSM:s samlade bedömning avseende cementbaserade material
SSM anser att redovisningen av cementfrågor i Fud-program 2022 är något otydlig, detta gäller i synnerhet den del som avser mera grundläggande vetenskapsfrågor och mindre tillämpade praktiska frågor kopplat till de specifika förvarsdelarna. För exempelvis den mycket långsiktiga utvecklingen av mineralfaser inom cement och hur de kemiska förhållandena utvecklas på lång sikt redovisas endast att olika möjligheter håller på att övervägas.

Äspölaboratoriet har fortfarande en stor betydelse för de studier som har utförts och avser att utföras/slutföras under förvarsliknande betingelser. SKB bör därför utreda andra möjliga försöksplatser och i kommande Fud-program redovisa hur liknande behov ska kunna tillgodoses efter att Äspölaboratoriet inte längre finns tillgängligt för försöksverksamhet.

10.2 Lerbarriärer, pluggar och förslutning

SKB redogör för insatser inom forskning, utveckling och demonstration avseende området lerbarriärer, inklusive tunnelpluggar och förslutning, i slutförvar i kapitel 10 i Fud-program 2022. SSM:s granskning och kommentarer rörande frågeställningar om lerbarriärer presenteras i detta avsnitt.

10.2.1 Gasfasens sammansättning under den omättade perioden

SKB:s redovisning

Vattenmättnadstiden för bufferten i de flesta deponeringshålerna i Kärnbränsleförvaret förväntas vara längre än ett tusen år. Till följd av detta förhållande kan kapselytan utsättas för omättat tillstånd under relativt lång tid. Angrepp av korroderande ämnen i gasfasen på kopparkapsel kan vara en viktig process att beakta.

En serie laboratorieförsök har genomförts för att studera gassammansättningen i porvolymen i omättad bentonit, både under isotermiska förhållanden eller med termiska gradienter. De senaste försöken genomfördes under isoterma förhållanden med bentonit i glaskärl utan närvarande koppar. Dessa försök visar tydligt att syret i den infångade luften i porer hos bentoniten i första hand konsumeras av reducerande mineraler (främst pyrit) i bentoniten. Under den isoterma uppvärmningen av bentoniten detekterades varierande nivåer av koldioxid, väte, svavelväte, och svaveldioxid.

SKB planerar att fortsätta med laboratorieförsök med syfte att noggrannare mäta gassammansättningens utveckling samt att undersöka hur olika experimentella förhållanden såsom temperatur och vattenkvot i bentonit kan påverka gasfasens sammansättning.

Remissinstansernas synpunkter

Kungliga Tekniska Högskolan (KTH) konstaterar att SKB diskuterar hur gasfasens sammansättning kan påverka kapselkorrosion under perioden fram till mättnad. KTH upplyser om att man i USA och Frankrike har studerat hur strålning kan inducera bildning av H₂ i leror och konstaterar att detta inte nämns i SKB:s Fud-program. KTH anser att om SKB har gjort bedömningen att detta inte skulle vara relevant bör en motivering inkluderas. Annars bör frågan enligt KTH utredas (kanske först genom en litteraturstudie). Vidare anser KTH att kopplingen mellan gasfasens sammansättning och strålnings-inducerad korrosion av koppar också är viktig. För denna process kommer även luftfuktigheten enligt KTH att spela en avgörande roll och konstatera att detta dock inte nämns i avsnittet.

SSM:s bedömning

SSM instämmer med SKB att en fördjupad förståelse av gassammansättningens utveckling i bentonit är av stor betydelse. SSM bedömer att SKB:s forskningsinsatser under den gångna Fud-perioden samt SKB:s planerade fortsatta satsningar är ändamålsenliga och nödvändiga. SSM noterar från SKB:s senaste försök med isoterma förhållanden (SKBdoc 1983850) att vissa utmaningar kvarstår, exempelvis med testutrustningens isolerande förmåga med avseende på gasfasens sammansättning. SSM är angelägen om att tillförlitliga resultat kan erhållas under kommande Fud-period.

10.2.2 Kanalbildning med efterföljande erosion

SKB:s redovisning

Under den inledande fasen av vattenmättnadsprocessen kan kanaler bildas i bentoniten om hastigheten från en vattenförande spricka överstiger hastigheten med vilken vattnet absorberas i bentoniten. Konsekvenserna kan vara erosionskanaler i bentoniten och leda till ett kontinuerligt vattenflöde med fortsatt kanalbildning. Denna process av kanalbildning med efterföljande erosion kan förekomma i lerbarriären i Kärnbränsleförvaret och i bergsalen för historiskt avfall (BHA) i SFL. Lerbarriären i BHA är dock mindre känslig mot kanalbildningserosion eftersom eventuell massförslust är liten i förhållande till mängden bentonit.

Inom EVA-projektet har flera processer utöver kanalbildningserosion studerats, som självläkning av erosionskanaler och förmåga att stoppa kanalbildning. Studierna har identifierat de förhållanden i deponeringshålen vid vilka kanalbildningserosion kan uppstå och upprätthållas. Utredningen har även fastställt gränsvärdet på erosionskanalsradie under vilken erosionskanalen kan självlåkas.

SKB planerar att utföra erosionsmätningar vid realistiska testförhållanden där både buffert och återfyllning representeras i syftet att kartlägga omfördelning av bentonitmassa från deponeringshål till deponeringstunnel. SKB kommer även att vidareutveckla den konceptuella modellen för de relevanta komplexa processerna associerade med kanalbildningserosion för att öka processförståelsen. Laboratorietester planeras att genomföras för att stöda modellutvecklingen.

SSM:s bedömning

SSM bedömer att SKB:s fortgående arbete med att utreda processerna kopplade till kanalbildningserosion är ändamålsenligt samt att SKB:s planerade insatser i området är relevanta och nödvändiga. SSM ser positivt på att SKB sedan Fud-program 2016 kontinuerligt studerat fenomenet kanalbildningserosion inom ramen för EVA-projektet. SSM noterar att SKB i Fud-program 2019 redovisade planer för ett större test där både buffert och återfyllning ingår. SSM delar SKB:s uppfattning att komplexa processer är kopplade till fenomenet kanalbildningserosion och är angelägen om att SKB genomför det planerade storskaliga testet vilket kan ligga till grund för vidare modellutveckling.

10.2.3 Vattenupptag i lerbarriärer

SKB:s redovisning

Under en längre period med omättade bentonitförhållanden kan säkerheten påverkas indirekt till följd av det omättade tillståndets påverkan på lerbarriärens maximala temperatur, svällnings- och homogeniseringsprocessen samt gasfasens kontakt med kapselns yta.



Efter att utvecklade modeller för bentonitens vattenupptagsprediktion för SR-Site, har SKB genomfört flera laboratorie- och fältförsök, t.ex. Prototypförvaret, BRIE (*bentonite rock interaction experiment*) och Domplu (*dome plug experiment*). Resultaten från dessa arbeten visar på ett behov av att utveckla dels den konceptuella beskrivningen av vattenupptagprocessen, dels modelleringsverktygen för vattenupptagsprediktion.

SKB planerar att satsa på att utreda följande frågeställningar kring vattenupptag till bentonit under kommande Fud-period:

- inverkan av bergets spricknätverk på vattenupptag
- vattentransport genom bildade kanaler
- fortsatt modellering och utvärdering av Prototypförvaret
- framtagande av retentionskurvor för olika bentonitmaterial genom laboratoriemätningar
- komplettering och revidering av modeller för Kärnbränsleförvaret samt för SFL.

SSM:s bedömning

SSM bedömer att SKB:s genomförda forskning och planerade forskningsinsatser för att studera vattenupptag och återmättnad av lerbarriärer är ändamålsenlig. Det är positivt att SKB fokuserat på att förse modelleringsarbetet med realistiska platsdata samt på att modellera flera storskaliga fältförsök.

10.2.4 Svällning, homogenisering av block, pellets och hålrum

SKB:s redovisning

Lerbarriärernas skyddsförmåga bygger på att bentoniten efter vattenmättnad bl.a. har en tillräckligt hög densitet och homogenitet. SKB:s forskningsinsatser inom området är inriktade på att utreda om:

- de tidigare framtagna konstruktionsgränserna i referensutformningen kan leda till tillräcklig homogenitet i massfördelningen eller den kvarvarande heterogeniteten behöver beaktas i säkerhetsanalysen
- barriärerna kan självläka i tillräcklig omfattning för att skyddsförmåga bibehålls efter en massförlust till följd av kanalbildningserosion
- vilka krav på återfyllningens mekaniska egenskaper som behövs för att den ska kunna begränsa uppsvällningen av bufferten ur deponeringshålet.

SKB har koordinerat EU-forskningsprojektet Beacon och en av de viktigaste slutsatserna från projektet är att det finns tillgängliga verktyg för att modellera och prediktera den kvarvarande heterogeniteten hos bentoniten efter vattenmättnad. Genom fortsatt modellutveckling har SKB tagit fram en hydro-mekanisk materialmodell (HBM) som framgångsrikt har använts under olika situationer. SKB har även genomfört tre experimentella studier med syfte att jämföra homogenisering hos Ca- respektive Na-bentonit, homogenisering vid snabb och långsam bevätning, och homogeniseringsprocess i långa rör. I vilken utsträckning storleken av tomt utrymme och temperaturen påverkar homogeniseringen har också studerats. SKB har påbörjat ett modelleringsarbete för att utreda hur buffertuppsvällningen påverkas av bl.a. grundvatteninflödets läge, initial torr densitet och styvhet på återfyllningen.

SKB planerar under kommande Fud-period att vidareutveckla och testa HBM-modellen samt fortsätta studera svällning och homogenisering genom både modellering och laboratorieförsök. Krav på återfyllningens styvhet att motverka buffertuppsvällning planeras att tas fram. Även kryp i omättad bentonit kommer att studeras genom laboratorieförsök.



I samband med brytning av kvarvarande delarna av Prototypförvaret planerar SKB att genomföra prediktiv preliminär modellering i syfte att utreda homogeniseringsprocesser inom bufferten och återfyllningen samt homogenisering mellan pellets och block i bufferten och i återfyllningen. Uppsvällningen av buffertmaterial in i återfyllningen i Prototypförvaret kommer att mätas.

Remissinstansernas synpunkter

Naturskyddsföreningen, Jordens Vänner och Miljöorganisationernas kärnavfallsgranskning anser att SKB bör studera hur lerbarriärernas svällningsförmåga påverkas av inträngning av kopparkorrosionsprodukter i leran samt hur lerbarriärernas skyddsförmåga påverkas av att leran hettas upp och sedan torkar ut.

SSM:s bedömning

SSM bedömer att SKB:s utförda och planerade forskningsinsatser i området är ändamålsenliga.

SSM ser positivt på att SKB har strävat efter att tillämpa modellerna för prediktiva modelleringar av observationer från försöken i olika skalor. SSM anser att kalibrering och validering av modeller mot storskaliga laboratorie- eller fältförsök är av stor vikt. SSM noterar att SKB planerar att utföra storskaliga försök av kanalbildningserosion med både buffert och återfyllning representerad (se avsnitt 10.2.2 Kanalbildning med efterföljande erosion i denna granskningsrapport). SSM anser att ett sådant storskaligt försök bör kunna utnyttjas även för studier av vattenupptag samt svällning/homogenisering i bentoniten.

10.2.5 Ångcirkulation

SKB:s redovisning

SKB har utifrån en teoretisk beräkning utvärderat risken för saltanrikning. Resultaten pekar på att ångtransportkapaciteten i bufferten inte är tillräckligt stor för att möjliggöra en betydande saltanrikning under en period på ett tusen år. Potentiella bidrag av ångcirkulation i form av naturlig konvektion till fuktfordelningen har utvärderats. Processen av ångcirkulation har även studerats i samband med ett fullskaligt installationstest med segmenterad buffert och en kapsel med en termisk effekt på 1700 W (SKB TR-20-16). Testet visar att det har skett en märkbar fuktomfördelning från de segmenterade ringarna runt kapseln till de segmenterade blocken ovanpå kapseln.

För att öka förståelsen av den naturliga konvektionens bidrag till fuktomfördelningen avser SKB att under kommande Fud-period genomföra laboratorieförsök och modellutveckling av fuktomfördelning från buffert till återfyllning. Ett annat planerat arbete är att göra prediktion av fuktomfördelning och saltanrikning för deponeringshål/tunnlar med lågt vatteninflöde.

SSM:s bedömning

SSM bedömer att det av SKB genomförda arbetet under den gångna Fud-perioden kring forskning av fuktomfördelning och saltanrikning till följd av ångcirkulation i buffertmaterialet är ändamålsenligt. SSM anser att SKB:s planerade arbete inom området är relevant. SSM instämmer med SKB att omfattningen av ångtransport i bufferten sannolikt inte leder till betydande saltanrikning runt kopparkapseln. SSM ser positivt på att SKB planerar att studera bidraget från den naturliga konvektionen till fuktomfördelning och saltanrikning eftersom bidraget inte explicit har beaktats i de ursprungliga säkerhetsanalyserna för SR-Site. SSM anser att det är viktigt att SKB fortsätter utreda ångcirkulationsprocessen i samband med segmenterade buffertkomponenter.

10.2.6 Mikrobiell sulfidbildning under omättade förhållanden

SKB:s redovisning

De tidigare forskningsinsatserna från såväl SKB som lärosäten och forskningsinstitut både nationellt och internationellt har påvisat att aktiviteten av sulfatreducerande bakterier (SRB) är försumbar i en helt torr eller en helt vattenmättad bentonitbuffert. Det är dock inte helt tydligt om det finns ett intervall av mättnadsstatus hos bufferten i vilken aktiviteten av SRB kan ha någon strålsäkerhetsbetydelse. SKB har genomfört en serie experimentella försök med såväl kommersiellt tillgänglig sulfatreducerande bakterier som SRB anrikade från ett borrhål vid Äspölaboratoriet. Resultaten visar att bakteriell sulfatreduktion endast sker vid de fall omättad bentonit har en synlig vattenfas. Aktiviteten uteblir även vid 100 procent relativ fuktighet. SKB bedömer att kunskapsläget på området är tillräckligt och inga ytterligare forskningsinsatser är planerade.

SSM:s bedömning

SSM bedömer att SKB:s experimentella arbete i syfte att besvara frågan om SRB-aktivitet i omättad bentonit är ändamålsenligt. SSM instämmer med SKB att de senare försöken tydligt har visat att bakterierna är aktiva endast i närvaro av porvatten. SSM anser dock att mikrobiell sulfidbildning under omättade förhållanden kan ha betydelse i samband med kanalbildningserosion (se avsnitt 10.2.2 ovan), vilket SKB bör beakta i sitt kommande program.

10.2.7 Bentonitmaterialets egenskaper i mättat tillstånd

I detta avsnitt granskas och bedöms SKB:s redovisning av bentonitmaterialets egenskaper i mättat tillstånd. I egenskaperna ingår materialsammansättning, svälltryck och hydraulisk konduktivitet samt skjuvhållfasthet som redovisas i avsnitt 10.2.1, 10.2.2 och 10.2.3 av Fud-program 2022.

SKB:s redovisning

Under den gångna Fud-perioden har SKB:s genomfört flera fältförsök i Äspölaboratoriet med olika bentonitmaterial och deras hydromekaniska och mineralogiska egenskaper. SKB har även karakteriserat andra bentonitmaterial såsom bentonitliknande material från Kirunagruvan och bentonit från Bulgarien.

SKB har utfört en omfattande studie av hållfasthet hos bentonit (SKB TR-21-13), där olika parametrars påverkan på bentonitens skjuvhållfasthet utretts. En av slutsatserna från studien är att skjuvhållfastheten är mer relaterad till svälltrycket än till bentonitens densitet.

SKB planerar att fortsätta utvärdera och karakterisera bentonitmaterial från olika platser. SKB:s aktuella program på området satsar på forskning som avser att ge fördjupad förståelse för hur bentonitens materialsammansättning påverkar dess egenskaper samt fortsatt karakterisering av referensmaterial. Beträffande bentonitens skjuvhållfasthet planerar SKB att mäta bl.a. den enaxliga tryckhållfastheten från prover i deponeringshålet i Prototypförvaret.

SSM:s bedömning

SSM bedömer att SKB:s arbete med att karakterisera egenskaperna hos vattenmättad bentonit är ändamålsenligt. Även SKB:s planerade insatser i området i kommande Fud-period bedöms vara relevanta och nödvändiga. Det är positivt att SKB har kopplat sitt forskningsprogram till behovet av kvalitetskontroll inför installationen av lerbarriärer.



10.2.8 Gastransport genom vattenmättad bentonit

SKB:s redovisning

Gaser kan genereras vid anaerob korrosion av metaller och mikrobiologisk degradering av organiskt material. Om gasbildning sker i förvarsdelar omgivna av vattenmättad bentonit, behöver gaserna kunna ta sig ut utan att skada det omgivande barriärssystemet.

Fullskaleförsöket Lasgit vid Äspölaboratoriet som har pågått 5782 dygn (15,8 år) avvecklades slutligen i mitten av februari 2021. Alla resultat från Lasgit avrapporterades i SKB TR-22-06. Resultaten visar entydigt att gaser tar sig igenom en lerbarriär vid ett gastryck som är nära dess svälltryck. Det visas också att uppbyggnaden av gastrycket och gastransporten inte har någon negativ påverkan på det omgivande barriärssystemets egenskaper.

SKB anser att kunskapsläget kring gastransport i vattenmättad bentonit är bra och i nuläget planeras inga ytterligare insatser inom området.

SSM:s bedömning

SSM bedömer att SKB:s arbete med långtidsförsök av gasuppbyggnad och gastransport genom vattenmättad bentonit i lerbarriärerna (Lasgit) är ändamålsenlig. SSM instämmer med SKB att ytterligare insatser avseende gastransport genom vattenmättad bentonit inte är nödvändiga.

10.2.9 Sulfidbildning och sulfidtransport i vattenmättad bentonit

SKB:s redovisning

Under den gångna Fud-perioden har SKB genomfört laborieförsök för att bestämma densitetsgränsen för mikrobiell sulfidproduktion i vattenmättad bentonit. Metoden för analys av den bildade sulfiden har förbättrats vilket möjliggjort att testerna blir snabbare. SKB har även bestämt den effektiva diffusiviteten av sulfid i bentoniten med olika torr densiteter med hjälp av jonselektiva elektroder.

SKB planerar fortsatta satsningar inom området under kommande Fud-period för att förfinna de experimentella metoderna, att utreda faktorerna som är viktiga för processen samt att generera tillräckligt mycket data för att få fram bra statistik.

SSM:s bedömning

SSM bedömer att SKB:s genomförda och planerade arbeten för att utreda sulfidbildning och sulfidtransport i vattenmättad bentonit är ändamålsenliga. SSM anser att SKB bör överväga att standardisera metoderna för att bestämma ett bentonitmaterials potential för sulfidbildning.

10.2.10 Kolloidfrigörelse/erosion

SKB:s redovisning

Kolloidfrigörelse/erosion kunde inte uteslutas i SR-Site och i några av deponeringshålen kunde kolloidfrigörelse leda till advektiva förhållanden. Modellen som användes i SR-Site för att beräkna förlusten av bentonitmassan har vidareutvecklats i flera etapper. Den senaste version har utvecklats under föregående Fud-period. Den utvecklade modellen kan hantera väggfriktion, flöde tillsammans med kemisk erosion och sedimentation i sprickor. Modellen har delvis validerats med experimentella data från småskaliga tester. Experimentellt arbete har pågått under den gångna Fud-perioden i syfte att studera



expansion, erosion och sedimentation som funktion av exempelvis sprickapertur, sprickornas skrovlighet, spricklutning, bentonittyp och flöde.

Under kommande Fud-period avser SKB fortsätta modellutvecklingen för kolloidfrigörelse/erosion. Utvecklingen omfattar bl.a. numerisk optimering, experimentell validering och modellering av flockbildning och transport av flockulerade partiklar. De experimentella försöken planeras fortgå som idag i såväl omfattning som inriktning, med syfte att ta fram data som stöd till utveckling och validering av modellen.

SSM:s bedömning

SSM bedömer att SKB:s satsningar inom området, under såväl den gångna Fud-perioden som för den kommande Fud-perioden, är relevanta och ändamålsenliga. SSM ser positivt på att SKB vid utvecklingen av modellen har strävat efter att kalibrera och validera modellen så långt som möjligt.

10.2.11 Mineralstabilitet

SKB:s redovisning

Lerbarriärernas skyddsförmåga i ett slutförvar beror till allra största delen på de unika egenskaperna hos mineralet montmorillonit i bentoniten. Det är därför viktigt att montmorillonit är stabilt under långtid. Bentonits mineralogiska stabilitet påverkas främst av temperatur, halt av kalium, pH-värde och redoxförhållande. Joniserande strålning kan möjligen försämra mineralstabiliteten men inverkan brukar vara begränsad pga. den relativt låga strålningsstyrkan som lerbarriärerna utsätts för i ett slutförvar.

SKB:s studier av mineralstabilitet i lerbarriärer under den gångna Fud-perioden har fokuserat på att utreda bentonitmaterialen från fältförsöken LOT och AMB i Äspölaboratoriet. Bentoniten från AMB5 som utsätts för extremt hög temperatur (200°C) visade ingen märkbar mineralomvandling. Förutom järnkorrosionsprodukter, har endast ackumulation av Mg, Ca, S och Cl närmare järnvärmaren observerats. Den höga temperaturen och följande uttorkning orsakade omfattande sprickbildning och förändrad CEC (*cation exchange capacity*) hos bentoniten. Svälltrycket och hydraulisk konduktivitet hos de återkompakterade bentonitproverna från AMB5 har visat sig vara jämförbara med egenskaperna hos den ursprungliga bentoniten, vilket bekräftar observation att inga större mineralförändringar inträffat under uppvärmningen.

Under den gångna Fud-perioden har SKB:s arbete i området fokuserat på att analysera kemiskt innehåll, vattenhalt och andra övergripande parametrar hos bentoniten från försöken LOT A3 och LOT S2 i Äspölaboratoriet. Reduktion av strukturellt järn hos montmorillonit har observerats genom analys av proverna från LOT A3, LOT S2 och andra fältförsök exempelvis Prototypförvaret. Mekanismen bakom järnreduktionen har ännu inte fullt ut förklarats men den verkar inte vara temperaturberoende. Arbetet pågår och en rapport med mer fokus på bentonitens mineralogi och kemi kommer att sammanställas under den kommande Fud-perioden.

SKB har påbörjat en studie på ett analogt lermaterial, dioktaedrisk smektit observerad i Kirunagruvan. Smektiten i gruvan utgörs av upp till 50 meter tjocka omvandlingszoner i anslutning till järnmalmen med liknande berggrundförhållandena som i Forsmark. Karakterisering av Kirunasmektiten pågår.

SKB planerar att under kommande Fud-period bryta och analysera prover från olika fältförsök i Äspölaboratoriet. Det inkluderar Prototypförvarets inre sektion, LOT S3 och återstående ABM paket. Mineralogiska och hydromekaniska analyser planeras att genomföras för mineral från Kiruna. Interaktionen mellan olika typer av bentonit och

kopparkorrosionsprodukter ska studeras experimentellt med försök i olika skalor. Fortsatta modelleringsinsatser planeras för modellering av bentonit-cement interaktion, retrogradupplösning av mineral och omfördelning av anjoner under den omättade perioden, samt att validera modeller mot observationer av bentonitmaterialen från Prototypförvaret och Task Force EBS. För att öka kunskapen om järnets redoxkemi planerar SKB utföra röntgenabsorptionsspektroskopi på bentonitprover.

Remissinstansernas synpunkter

Kungliga Tekniska Högskolan (KTH) konstaterar att en fråga som inte berörs är i Fud-program 2022 är i vilken utsträckning strålningsinducerade processer kan påverka bentonitens barriäregenskaper. Enligt KTH finns det en del studier av detta och menar att det kanske är möjligt att utifrån dessa dra slutsatsen att effekterna är försumbara. Det skulle dock enligt KTH vara bra om detta framgick av Fud-programmet (med tydlig motivering). Även i detta fall kan neutronstrålning enligt KTH bidra till effekterna och frågor om detta har studerats/utvärderats.

Naturskyddsföreningen, Jordens Vänner och Miljöorganisationernas kärnavfallsgranskning anser att SKB bör utreda lerbarriärernas säkerhetsfunktioner hos lera/bentonitpluggar i tunnlar/schakt i Kärnbränsleförvaret.

SSM:s bedömning

SSM bedömer att SKB:s forskningsinsatser, både de som har genomförts under den gångna Fud-perioden och de som planeras för kommande Fud-period, är ändamålsenliga. Det är särskilt positivt att SKB har satsat på naturanalogstudier av Kirunasmektiten. SSM anser att det är nödvändigt att fördjupa förståelsen av mekanismerna för järnreduktion i montmorillonit och ser positivt på att SKB avser fortsätta arbetet med järnets redoxkemi i bentonit. SSM är angelägen om att SKB i sitt fortsatta arbete även utreder om reduktion av strukturellt järn hos montmorillonit möjligen kan påverka bentonitens skyddsförmåga.

SSM anser, i enlighet med KTH, att resultaten från de senaste årtiondenas studier av strålningsinverkan på mineralstabilitet och egenskaper hos bentonit bör beaktas. SSM anser att med fördjupad förståelse av mekanismerna för järnreduktion, som nämndes ovan, bör även möjlig inverkan av gammastrålning beaktas.

I Fud-program 2022 (avsnitt 10.4, 10.5 och 10.6) redovisades frågorna kring utformning, tillverkning, kontroll och provning, samt installation av lerbarriärerna. SSM anser att dessa frågor är starkt kopplade till kommande steg i den stegvisa processen för godkännande av säkerhetsredovisningen av Kärnbränsleförvaret och kommer att granska och kommentera dem i detalj då. Detta gäller även SKB:s redovisning i Fud-program 2022 (avsnitt 10.7 och 10.8) avseende förslutning av undersökningsborhål och Kärnbränsleförvaret.

10.2.12 SSM:s samlade bedömning avseende lerbarriärer, pluggar och förslutning

I avsnitt 10.1, 10.2 och 10.3 i Fud-program 2022 redogörs för SKB:s satsningar i forskning och utredning kring lerbarriärernas egenskaper och utveckling innan respektive efter barriärerna blir vattenmättade. SSM kan konstatera att SKB:s satsningar i området är i linje med de behov som identifierades vid SSM:s granskning av SKB:s ansökan om KBS-3-systemet. SSM bedömer att SKB:s samtliga satsningar rörande lerbarriärer är rimliga och ändamålsenliga. SSM förväntar sig att SKB i kommande Fud-program mer explicit redovisar motivering till satsningarna i just sådana områden, med hänsyn tagen till frågornas säkerhetsbetydelse. SSM är medveten om att SKB tidigare har redovisat sådan motivering i t.ex. SR-Site, men motiveringen anses behövas dels för att uppdatera tidigare

resonemang om det behövs, och dels för att Fud-programmets redovisning hålls mer pedagogisk.

SSM anser att de finns ett antal frågor som i allmänhet är unika och utmanande kopplade med lerbarriären i BHA i SFL-slutförvaret. SSM är angelägen att SKB så tidigt som möjligt börja redovisa satsningarna i dessa frågor.

10.3 Berg

I detta avsnitt framförs myndighetens synpunkter på SKB:s program för studier inom området berg (kapitel 11). Området omfattar geologiska, hydrogeologiska och hydrogeokemiska frågeställningar. Kapitlet berör dels karaktärisering av berggrundens egenskaper, dels forsknings som syftar till att öka förståelsen av de processer inom området Berg som är av vikt för strålsäkerheten efter förslutning. SSM noterar att avsnitten tunnelproduktion och detaljundersökningar inte ingår i Fud-program 2022. Dessa delar är ett viktigt underlag i den preliminära säkerhetsredovisningen (PSAR) för att uppföra Kärnbränsleförvaret. SSM ser därför, i likhet med SKB, inget skäl till att dessa delar ska redovisas i del II. Däremot kan dessa delar på ett övergripande sätt redovisas i Fud-programmets del I, se även avsnitt 3.11 i denna granskningsrapport. Även övriga delar som berör tillståndsgivna slutförvar kommer redovisas på en högre detaljnivå i till myndigheten inlämnade ansökningar om att uppföra respektive bygga ut Kärnbränsleförvaret och SFR. För att inte föregripa en eventuell granskning av PSAR under kommande Fud-period är SSM:s synpunkter på SKB:s program på området Berg på en övergripande nivå.

10.3.1 Bergets mekaniska egenskaper och beteenden

SKB:s redovisning

I avsnitt 11.1.1 redovisar SKB bergets mekaniska egenskaper och beteenden, vilken utgår från en karakterisering av bergets mekaniska egenskaper och modellering av bergets långsiktiga beteende. Modelleringen bygger på konceptet syntetisk bergmassa (SRM, Syntetic Rock Mass), numeriska simuleringar av bergmassan, där diskontinuitetsnätverket explicit representeras tillsammans med den ”intakta” bergdelen däremellan och där de båda komponenterna kan deformeras och gå till brott. Under den senaste Fud-perioden har SKB arbetat med utveckling och effektivisering av numeriska modelleringsverktyg som används för SRM modellering. Utvecklingsinsatserna har lett till förbättringar såsom kortare beräkningstid och möjlighet att skapa ett kvantitativt samband mellan en DFN (Discrete Fracture Network) baserad modell och dess effektiva elastiska egenskaper.

SKB planerar att vidareutveckla ett gemensamt DFN-baserat ramverk för uppskattning av bergmassans egenskaper som inkluderar bergmassans hållfasthet och hydromekaniskt kopplade egenskaper. SKB:s program inkluderar projekt för att öka förståelsen av spänningstensorns påverkan på flödemönster över enskilda sprickor och spricknätverk.

Remissinstansernas synpunkter

Statens geotekniska institut (SGI) noterar att programmet beskriver ett antal aktiviteter som ämnar beskriva hur bergspänningssituationen kan påverka sprickapertur och transmissivitet, vilket är grundläggande för att förbättra den hydromekaniska förståelsen av sprickor.

SGI ser gärna att det finns en plan för hur denna kunskap kan översättas till en robustare modell för att kunna sätta egenskaperna på sprickor identifierade från borrhål, där undersökningsdata enbart avspeglar en begränsad yta (extrapolering från punktskala till

den 3D strukturen), och hur denna modell kan ta hand om variabiliteten och osäkerheter i tolkningen.

SSM:s bedömning

SSM ser positivt på SKB:s insatser under Fud-perioden, särskilt vidareutvecklingen av metoder för SRM modellering. De hydromekaniska egenskaperna hos enskilda sprickor har stor betydelse för bergets barriärfunktion. SSM ser därför positivt på SKB:s planerade insatser gällande beräkning och DFN-modellering för att öka förståelsen av sprickors egenskaper.

10.3.2 Inducerad rörelse i bergmassan orsakad av termisk, seismisk eller glacial belastning

SKB:s redovisning

I avsnitt 11.1.2 redovisar SKB genomförda och planerade studier som berör inducerade rörelser i bergmassan på kortare och längre sikt. På kortare sikt berör omfattningen av bergskadезonen i samband med bergguttaget och efterföljande spjälkning. SKB medverkar dels i ett industridoktorandprojekt omfattande experimentella laboriebaserade metoder för bedömning av spjälkningspotential, dels i ett doktorandprojekt som fokuserar på modellering av spjälkning. Doktorandprojekten avses avslutas under den kommande treårsperioden.

Under den senaste Fud-perioden har SKB genomfört ett flertal studier som fokuserar på sprickutvecklingen på kort och lång sikt. Processer som undersökts berör sprickdeformation, sprickbildning, spricktillväxt, sprickkorsning och sprickavslutning. Dessa studier kommer fortsätta under den kommande Fud-perioden.

Remissinstansernas synpunkter

Statens geotekniska institut (SGI) påtalar att förstå sprickegenskapernas variabilitet är ytterst viktig för den långsiktiga säkerhetsanalysen av förvaren, men också är nödvändig för att kunna karakterisera sprickorna under uppförande och på detta sätt minska osäkerheten. SGI ser gärna att det finns en tydligare beskrivning av hur denna kunskap kan stödja en identifiering av t.ex. kritiska strukturer.

SGI anser att analysen av inverkan på transmissiviteten, samt utvecklingen av processförståelse för att omsätta den lokala inverkan på "stor skala" bör ingå som aktivitet.

SSM:s bedömning

SSM bedömer att SKB:s forskning inom området är ändamålsenlig. Vidare ser SSM positivt på att SKB medverkar i doktorandprojekt vid svenska lärosäten.

10.3.3 Bergspänningar

SKB:s redovisning

SKB har uppdaterat metodiken för bergspänningsmodellering och har baserat på LVDT-metoden utvecklat ett program för kompletterande bergspänningsmätningar. SKB har även påbörjat en vidareutveckling av den tensorbaserade probabilistiska metodiken för regelbunden uppdatering av bergspänningsmodellerna. Överbörning utan spänningsmätningar på borrkärnor från 550 meters djup i det planerade kärnbränsleförvarets rampområde visar bra bergkvalitet och inga tecken på skivuppsprickning.

Planerade aktiviteter består bland annat av revidering av befintliga data och vidareutveckling av den tensorbaserade metodiken för karakterisering och kvantifiering av spänningsfältet.

Remissinstansernas synpunkter

Statens geotekniska institut (SGI) noterar att den uppdaterade 3D spänningsmodellen är ett viktigt steg mot en bättre förståelse av spänningarnas variabilitet som är styrande för förvarslayouten.

SGI anser att det bör tydliggöras om inverkan av mindre deformationszoner på bergspänningsmodellen och variabiliteten av spänningarna ingår i analysen.

SKB:s 3D modellering visar att även om överensstämmelsen mellan mätningar och simuleringar är relativt god, kan det förekomma stora skillnader punktvis, både med lägre och högre spänningar. Spänningsmätningar kommer att utföras under uppförandeskedet, och det kan förväntas en del variation i resultat med mer eller mindre avvikande mätvärden, Slutsatsen från den uppdaterade 3D modellen visar att dessa "avvikande" mätningar inte per automatik kan förkastas.

SGI anser att SKB bättre bör beskriva metodiken för att kvalitetssäkra mätdata och bedöma rimligheten i mätresultaten samt att inverkan av mindre deformationszoner bör studeras för att bättre rama in spänningsfältets variation inom förvarsvolymen.

SGI anser också att det kan finnas behov att studera andra möjliga deviatoriska fält som avspeglar andra spänningsregimen, samt hur detta skulle påverka förvarets stabilitet och utformning, och vilka anpassningsbehov som eventuellt skulle bli nödvändiga.

SSM:s bedömning

SSM ser positivt på att SKB genomfört de planer som redovisades i Fud-program 2019 med en uppdatering av bergspänningsmodellen. Vidare bedömer SSM att SKB:s redovisade planer inom området bergspänningar inför byggstart av Kärnbränsleförvaret är ändamålsenliga.

10.3.4 Modellering av diskreta spricknätverk

SKB:s redovisning

SKB har utvecklat en metodik för modellering av diskreta spricknätverk (DFN – *Discrete Fracture Network*) som tar hänsyn till både bergmekaniska och hydrogeologiska egenskaper (R-20-13). Detta inkluderar utveckling av genetisk sprickgenerering, kvantifiering av osäkerheter i geometriska mätdata och studie av effekten av heterogenitet på olika skalor.

Under kommande Fud-period kommer SKB att samla resultat och lärdomar från relevanta spricknätverksmodelleringar i ett levande dokument. SKB:s program inkluderar programvaruutveckling med avseende på DFN-modellering, och avrapportering av studien om alternativa kanalnätverksmodeller. Arbetet med uppskalning av deformationszoner beskrivna med DFN-modeller och efterföljande nerskalning fortsätter, vilket inkluderar effekten av flera deformationzoner i en modell omgiven av bakgrundssprickor.

Remissinstansernas synpunkter

Statens geotekniska institut (SGI) noterar utvecklingen av diskreta spricknätverk som tar hänsyn till både bergmekaniska och hydrogeologiska egenskaper är ett positivt steg mot mer realistiska spricknätverksmodeller. Det fortsatta arbetet med kopplingen mellan DFN och Marfa är en spännande utveckling, dock blir resultatet inte bättre än de egenskaper

som används som indata, vilket leder till tidigare kommentarer kring osäkerheter i deformationszonsmodellen samt ingående parametrar för deformationszonerna.

SGI saknar en övergripande redovisning av strategi för bedömning av dessa modeller samt användningsområden, och huruvida vissa modeller kan utnyttjas under uppförande som stöd till dimensionering av t.ex. injektering.

De preliminära resultaten visar att koppling mellan sprickstorlek och -apertur är viktiga komponenter för att återspegla den naturliga flödeskaraktären. Sprickstorleksfördelningen (sprickradie) bedöms utifrån antagande från undersökningsdata i borrhål, som under uppförandet kommer att kunna kompletteras med observationer i tunnelskala, och är behäftad med en viss osäkerhet, och en viktig fråga är hur detta antagande kan verifieras. Mer information skulle kunna presenteras kring hur data från detaljundersökningsprogrammet för SFR alternativt SFK kan bidra till ökad förståelse av sprick egenskaper från borrhål och hur dessa kan påverka DFN modelleringsmetodikerna.

SGI anser att olika koncept och metodiker för DFN-modellering behöver utvärderas och att begränsningar och möjligheter för de olika metodikerna tydligt sammanställs. SKB bör beskriva hur effekten av den hydromekaniska kopplingen i nya DFN modelleringsmetodikerna jämförs med antagandet av djuptrend i hydraulisk transmissivitet som presenterades i SDM-Site. Vidare bör SKB beskriva kopplingen mellan detaljundersökningsprogram, in-situ hydrauliska data, och verifiering av djuptrend i hydraulisk transmissivitet.

SSM:s bedömning

SSM konstaterar att SKB följer den plan som redovisades i Fud-program 2019. SSM noterar att SKB:s program ger en tydlig beskrivning av konceptuella osäkerheter kopplade till DFN-modelleringen, vilket beaktar SSM:s granskning av Fud-program 2019. Studien om effekt av heterogenitet i ett DFN på olika skalor är av intresse mot bakgrund av resultat från forskning finansierad av SSM som indikerar att DFN-representationen av vattenföringen i en sprucken bergmassa är mer lämplig i en större än i en mindre skala (SSM2021:14).

10.3.5 Seismisk påverkan på säkerhet efter förslutning

SKB:s redovisning

Området delas upp i tre delar. De två första, seismisk övervakning (avsnitt 11.3.1) och undersökning av paleoseismicitet (avsnitt 11.3.2) syftar till att ge en bättre förståelse av den rumsliga variabiliteten av jordskalvsfrekvenser och magnituder över tid och bidrar till att minska osäkerheterna i jordskalvsprognoserna och ökar förståelsen kring de mekanismer som driver glacialt inducerade jordskalv. I den tredje delen (avsnitt 11.3.3) redovisar SKB modelleringsutveckling inom området jordskalvsmodellering.

Seismisk övervakning utförs av det svenska nationella seismiska nätet (SNSN) vilket varit i drift sedan år 2000. Idag omfattar nätverket 68 permanenta fasta stationer. Under 2021 installerades ett nätverk av 13 temporära seismiska stationer nordväst om Iggesund. Installationen ingår i ett projekt SKB genomför i samarbete med Uppsala universitet och SGU, med syftet att identifiera källan till det seismiskt aktiva stråket. En hypotes är att det kan röra sig om en hittills oupptäckt, glacialt inducerad förkastning i Iggesundsområdet. Mätningarna ska pågå åtminstone under tre år och inkluderar en 3D-strukturgeologisk modellering över undersökningsområdet. Eventuellt kan undersökningsdiken tvärs över potentiella förkastningsplan grävas ut.



Under föregående Fud-period har SKB genomfört en studie rörande utformningen av ett mikroseismiskt nätverk i anslutning till det planerade Kärnbränsleförvaret (P-17-32). Under den kommande Fud-perioden ska det lokala mikroseismiska nätverket i Forsmark driftsättas. Data som samlas in kommer utgöra ett underlag till en planerad utbyggnad av det mikroseismiska nätverket, modelleringsstöd för jordskalv och förbättrad platsförståelse. SKB:s program för kommande Fud-period innefattar även en uppdatering av de magnitud-frekvenssamband samt sannolikhetsberäkningar för jordskalv som låg till grund för utvärdering av seismisk fara på kort och lång sikt för Kärnbränsleförvaret.

Inom området paleoseismicitet har SKB under föregående Fud-period genomfört flera studier. En fältundersökning av potentiella förkastningsbranter har genomförts (Öhrling och Smith, 2020). Fältundersökningen visar att de linjära strukturer som observerats utifrån en högupplöst LiDAR-baserad höjdmödel över Uppland (R-18-10) inte är kopplade till seismiska händelser. Under föregående Fud-period har SKB finansierat en studie som utvärderat i vilken mån observerade erosionsytor och andra sedimentära strukturer i den postglaciala stratigrafien i centrala Sverige kan kopplas till en eller flera paleotsunamis (Smith och Öhrling, 2022). Studien visar att det inte finns trovärdiga bevis att paleotsunamier inträffat i centrala Sverige under Holocen. Under de senaste tre åren har undersökningarna fortsatt kring den glacialt inducerade Burträskförkastningen i Sveriges mest seismiskt aktiva område. Rapportering av Burträskprojektet pågår och innefattar en förbättrad bild av förkastningsplanet och jordskalvens placering samt en beräkning av det vertikala rörelsebeloppet. Genom modellering av glacialt inducerade förkastningsrörelser vid olika modellantaganden (exempelvis variationer av materialegenskaper, spänningar, portryck och position av hypocentrum på förkastningen) och jämförelser med observationer av förkastningsrörelser på markytan från Burträskområdet, är målsättningen att undersöka vilka parametrar som främst inverkar på förkastningens stabilitet och rörelse. Utöver avrapportering från undersökningarna vid Burträskförkastningen och omvärldsbevakning planerar SKB inte för ytterligare studier på området. Vid behov kan nya undersökningar kring utvecklingen av seismicitet och glacialt inducerade förkastningar under en glacial cykel genomföras.

Under den senaste Fud-perioden har SKB:s insatser inom jordskalvsmodellering främst inriktats på att reducera konservatismen inom modelleringen. I ett pågående arbete som är i rapporteringsfasen sammanfattas resultaten från studier kring effekten av spänningsfältets variabilitet, i både riktning och magnitud, på beräknade sekundära skjuvbelopp samt kvantifiering av dessa effekter till storlek och plats. Övriga arbeten som är under avrapportering inkluderar bl.a. effekten av modellupplösning med hänsyn till målsprickornas diskretisering, effekten av 2D-modellering på sprickstabilitet och målsprickors konceptualisering (främst med avseende en sprickas råhet) under statisk och dynamisk last. SKB:s program för fortsatt modellering av seismisk påverkan på Kärnbränsleförvaret omfattar bland annat en uppdatering av sannolikhetsberäkningar för kritiska kapselpositioner, modellering av sekundära rörelser vid ett jordskalv på en flackt stupande förkastning under det planerade Kärnbränsleförvaret och en utredning av vilken påverkan alternativa jordmodeller och islasthistoriker har på beräknade sprickrörelser.

Remissinstansernas synpunkter

Statens geotekniska institut (SGI) anser att det är positivt att ett lokalt seismiskt nätverk byggs upp i Forsmark, som kan mäta de ostörda seismiska förhållandena innan utbyggnaden av SFR och uppförandet av Kärnbränsleförvaret. SGI tycker att det vore intressant att ta fram en plan för användning av detta system och uppföljning av mätningarna under uppförandet och utbyggnaden.

SSM:s bedömning

SSM noterar att SKB:s redovisning för områdena seismisk övervakning och paleoseismicitet beaktar flera synpunkter som SSM förde fram vid granskningen av Fud-

program 2019. SSM anser att det är positivt att SKB fortsätter med forskning för att öka kunskapen om de mekanismer som styr seismiciteten på kort och lång sikt under varierande förhållanden. Vidare är en bättre kunskap om fördelningen av skalvaktiviteten över tid och rum av stort intresse inte bara för slutförvar av använt kärnbränsle utan även för andra kärntekniska anläggningar vid utvärdering av seismisk fara.

10.3.6 Hydrokemiska processer

SKB:s redovisning

SKB har genomfört ett antal studier inom geokemiområdet under den gångna Fud-perioden med fokus på reaktivitet hos organiskt upplöst material i djupa grundvatten. Resultaten från laboratorieförsök antyder att sådant material är svårnedbrytbart (vilket dock inte gäller geogaser och nekromassa), och därmed kommer ha begränsad betydelse för mikrobiell sulfatreduktion och därmed sulfidbildning.

SKB har även studerat förutsättningarna för mikrobiell uranreduktion med kommersiella SRB-stammar, dock i detta fall genom artificiell tillförsel av organiskt material i form av acetat snarare än naturligt organiskt material i grundvatten. Man fann dock att uranreduktionen var mera betydande i kontrollprover med acetat men utan SRB i jämförelse med de prover som innehöll både SRB och acetat.

Ett intressant fenomen som SKB har studerat under den gångna Fud-perioden avser de svarta utfällningar som observerats i Äspö-tunnlar. Undersökningarna visar att utfällningarna är resultatet av mikrobiell manganoxidation. Dessa fällningar skulle kunna ha betydelse som sorbenter för radioaktiva ämnen, men SKB bedömer för närvarande effekten som försumbar.

SKB har genomfört lakningsprover med prover från Forsmarkberg (platsprogrammet för Forsmark) samt med neutronaktiverade prover (i Finland) med syftet att förstå sammansättningen av matrisvatten och dess isotopgeokemi. Denna typ av resultat har betydelse för förståelsen av matrisdiffusion, och betydelsen av matrisvatten för salthaltsutveckling hos grundvatten. Resultat med avseende på mineralogi och förekomst av an- respektive katjoner kommer att rapporteras.

Grundvattnets innehåll av järn(II) kan ha en betydelse både för att begränsa koncentration av sulfidjoner (tack vare den låga lösligheten för järnsulfider) och förekomsten av syre i grundvatten. SKB har därför undersökt det lösta järnets ursprung från mineralet biotit via laboratorieförsök. Trots tillsatsen till vattenfasen av komponenter i mineralet biotit som kalium och magnesium kunde förekomst av löst järn(II) konstateras bildas i samtliga försök. SKB avser nu att gå vidare med studier av ursprunget av löst järn i Forsmarksvatten genom att mäta stabila isotoper.

SKB har i samarbete med Posiva infogat samtliga studier som avser belysa förekomst av sulfid i grundvatten i ett integrerat projekt ISP ("Integrated sulphide project"). I projektet ingår de aktiviteter som beskrivs ovan med koppling till sulfid och järn(II) men även motsvarande studier som syftar beskriva risken för sulfidbildning kopplat till lerbarriärerna. Projektet har vid tidpunkten för sammanställning av Fud-program 2022 nått ungefär halvvägs.

En viss ytterligare provtagning av grundvatten i borrhål som avser GAP-projektet på Grönland har genomförts under Fud-perioden. Man har också påbörjat en studie kring lakning av katjoner från ytliga jordlager för att underbygga analysen av buffererosion.



Man har också utvecklat beräkningsverktygen Pflotran och Darcy tools för modellering av helium och datering av grundvatten.

SKB:s program för den kommande Fud-perioden innefattar i korthet och med något undantag fortsättningar på de studier som beskrivs ovan.

SSM:s bedömning

Enligt SSM:s bedömning har SKB ett mot bakgrund av frågeställningar i säkerhetsanalysen rimligt avvägt forskningsprogram inom hydrokemiområdet. Redovisningen i Fud-program 2022 måste dock delvis betraktas som otydlig. Det finns ingen samlad beskrivning över säkerhetsanalysens behov av ytterligare forskningsresultat inom området och hur och varför detta har styrts och prioriterats som har gjorts. Det är inte uppenbart på vilka grunder några av de olika forskningsprojekten motiveras. SSM konstaterar dock mot bakgrund av tidigare granskningar av SKB att kemifrågornas motivering kan hänföras till minst fyra delområden inom säkerhetsanalysen: 1) kapselns långsiktiga beständighet i Forsmarks djupa grundvatten (analys av korrosion), 2) bentonitbuffertens och i viss mån återfyllningens långsiktiga beständighet (analys av erosionsrisk och kemiska omvandlingar), 3) radionuklidtransport från deponeringshålspositioner till markytan, 4) generell förståelse av plats-specifika geokemiska och hydrologiska processer som en grund för scenarioanalys. Det finns också ett behov att särskilja forskningsaktiviteter som specifikt kopplas till Forsmarksplatsen och de som har en mera generisk innebörd. För Forsmark finns också distinktionen mellan vilka aktiviteter som är inriktade mot befintliga grundvattenkemiska förhållanden och de som är inriktade mot förståelse av deras möjliga långsiktiga utveckling.

Enligt SSM:s bedömning är biokemiska processer i grundvatten som involverar svavel och särskilt långsiktig förekomst av vätesulfidjoner på förvarsdjup en av de viktigaste frågorna. Det finns en bra grund för ytterligare insatser inom området baserat på de plats-specifika mätningar som gjorts vid Forsmark. Även analys av mätningar på andra platser kan bidra till den grundläggande processförståelsen som behövs. Av betydelse för analysen av kopparkapselns långsiktiga integritet är de fåtalet mätningar vid Forsmark som pekar på en eller flera tiopotenser högre sulfidhalter än normalt. Vilka processer eller omgivningsbetingelser styr dessa, och är de temporära eller långsiktigt beständiga? SSM bedömer således att SKB:s och Posiva:s gemensamma projekt ISP är välmotiverat, även om det idag är för tidigt att avgöra om det finns förutsättningar för att på något avgörande sätt öka förståelsen av naturligt förekommande sulfidhalter och deras rumsliga och tidsmässiga variationer. SKB:s forskning kring förekomst av järn(II) samt förekomst och nedbrytbarhet för organiskt material för djupa grundvatten är också välmotiverade mot bakgrund av ovanstående överväganden. Järn(II) har bl.a. betydelse för förståelse av redox-betingelser, och för löslighetsbegränsningar för sulfidjoner.

Ett annat område av betydelse för säkerhetsanalysens behov och beräkningar som syftar till att underbygga analys av kravuppfyllelse utgörs av djupa grundvattens långsiktiga salthaltsutveckling mot bakgrund av dess betydelse för risken för buffererosion. Den långsiktiga inverkan och relativa betydelsen av olika fenomen som vittringsprocesser nära markytan och på större djup, matrisdiffusion i anslutning till vattenledande stråk i berggrunden och fördelningen av grundvattenflöden bör ytterligare beläggas och underbyggas med hjälp av forskningsinsatser. SSM anser därför att SKB:s redovisade mätningar avseende lakning av katjoner och sammansättning av matrisvatten är välmotiverade mot bakgrund av säkerhetsanalysens behov. SKB bör eftersträva ett samlat grepp kring forskningsbehov och kommande modelleringsinsatser som speglar den relativa betydelsen och tillförlitligheten kring förutsägelser av processer av betydelse för salthaltsutveckling för grundvatten invid en fördelning av deponeringshålspositioner. Inom särskilt detta område bör samtliga tillgängliga data för djupa grundvatten utnyttjas.



Data från t.ex. inlandslokaliseringar kan användas som en kompletterande grund för att värdera betydelsen av olika processer.

Ett tredje område med koppling till säkerhetsanalysens behov utgörs av värdering av risken för inträngning av syre till förvarsdjup, och dess eventuella betydelse för kapselkorrosion och radionuklidtransport. SKB:s studier syftande till att underbygga förståelse för observationerna kring halter av järn(II) i berggrunden har en betydelse i detta sammanhang. SSM bedömer dock att denna fråga har mindre betydelse i förhållande till de två ovanstående (sulfidhalter och salthaltsutveckling).

SSM konstaterar avslutningsvis att SKB:s program på ett rimligt sätt underbygger frågeställningar av betydelse för säkerhetsanalysen och finner det därför rimligt att ungefär samma inriktning fortsätter under kommande Fud-period. Laboratorieförsök, studier av individuella kemiska processer, modelleringsstudier och ytterligare tolkningar av befintliga fältdata kan fortsätta att tillföra betydelsefullt underlag för kommande säkerhetsanalyser. En väsentligt utökad platsförståelse för grundvattenkemiska förhållanden vid Forsmark är dock kopplad till ytterligare mätningar och grundvattenprovtagning. SSM konstaterar att genomförande av de av SKB planerade detaljundersökningarna är ett betydelsefullt tillfälle att uppdatera och vidareutveckla den platsbeskrivande modellen med avseende på grundvattenkemi

10.3.7 Transport- och retardationsprocesser

SKB:s redovisning

SKB:s arbeten inom området under föregående Fud-period har inriktats mot framtagande av en förbättrad och mera avancerad metodik för transportmodellering som siktar på kommande säkerhetsanalyser och platsbeskrivande modeller. Modelleringsstudier som har genomförts avser dels modellering i en större förvarsskala för säkerhetsanalysens behov, dels en mindre cm- till dm-skala med fokus på processförståelse samt att etablera mera realistiska underlag för uppskalning. Exempel på särskilt viktiga frågor avser betydelsen av heterogena bergförhållanden, samt den relativa betydelsen av de olika domänerna sprickfyllnadsmineral, omvandlat berg invid vattenförande sprickor, samt den opåverkade bergmatrisen i perspektivet retardation av radioaktiva ämnen.

Beträffande modellering av den mindre cm- till dm-skalan, har ett flertal studier genomförts med syftet att förstå betydelsen av bergets småskaliga egenskaper som diffusionstillgänglig porositet och dess aperturfördelning, samt bergets elektrostatiske egenskaper för förståelsen av migrationen av laddade joner. Olika koder har modifierats (Pflotran, Comsol Multiphysics) för att explicit kunna ta hänsyn till elektrostatiske interaktioner mellan joner och mineralytor, samt även för att kunna modellera genomförda elektromigrationsförsök. Den sistnämnda typen av försök syftar till att erhålla relevanta migrationsdata för laddade upplösta ämnen på kortare tid genom att studera transport i ett elektriskt fält. Syftet med samtliga dessa studier är att erhålla en förståelse för vilka faktorer som behöver beaktas när resultat från småskaliga försöken ska extrapoleras till den betydligt större förvarsskalan.

Relevanta mätresultat för området har i första hand erhållits från olika fältförsök som LTDE-SD vid Äspölaboratoriet, samt WPDE samt REPRO vid Onkaloanläggningen i Finland. Försöken syftar till att kvantifiera såväl sorption som matrisdiffusion i fältskalan genom tillämpningen av spårämnesförsök. Resultaten ger också visst underlag för formulering av modelleringsstrategier. SKB avser att använda erfarenheter från dessa fältförsök för att planera ett program för verifierande tester av radionuklidtransport på platsen för uppförande av kärnbränsleförvaret (Forsmark).

Andra småskaliga laboratorieförsök som SKB och Posiva låtit genomföra, bl.a. inom det europeiska EURAD-programmet, avser sorption av radium på berg och dess beroende av platsspecifika faktorer. Man studerar bl.a. hur sorption påverkas av faktorer som krossning av bergprover (som ofta tillämpas vid genomförandet av laboratorieförsök), samt olika vattenkemiparametrar. Det är tänkt att mätresultaten ska kombineras med resultat från termodynamiska beräkningar för att explicit kunna värdera betydelsen av såväl mineralogi som vattenkemi vid definition av en fördelning av K_d -värden för tillämpningen i fältskalan ("smart K_d approach"). Det finns även en intention att som komplement till traditionella sorptionsstudier även explicit genomföra experiment för desorptionsfasen. Några mera specifika frågor som har undersökts med särskild tillämpning på det planerade SFL-förvaret är huruvida sorption på korrosionsprodukter kan vara betydande i förhållande till den mera väl karakteriserade och beaktade sorptionen på cementfaser. En annan intressant specifik fråga som SKB har undersökt är huruvida modellering av desorption av naturligt förekommande radioaktiva ämnen från bergmatrisen kan ge underlag för att värdera matrisdiffusionsparametrar.

Genomförd reaktiv transportmodellering har också i något enstaka fall haft en betydelse för icke-radioaktiva ämnen. Studier har genomförts för att studera betydelsen av en möjlig syrenedträngning till förvarsdjup för heterogena bergförhållanden. Processer som har beaktats är förutom grundvattenflöde och matrisdiffusion, konsumtion av syre genom reaktion med järn(II) som frigjorts från mineralet biotit som finns i berggrunden. Resultaten pekar på en ännu mera begränsad betydelse av syrenedträngning (i samband med en möjlig framtida påverkan från glaciala smältvatten) i jämförelse med vad som varit känt från tidigare mera förenklade studier.

SKB:s planer inför den kommande Fud-perioden motsvarar i grova drag en fortsättning av ovanstående aktiviteter. Av särskilt stor betydelse är framtagning av den framtida modelleringsstrategin för transport av radioaktiva ämnen, innefattande bl.a. val och implementering av beräkningskoder. Av betydelse i närtid är också framtagande av ett platsspecifikt mätprogram för att få fram underlag inför kommande säkerhetsanalysen, vilket gäller det planerade bränsleförvaret men också en sannolikt mera närstående uppförande av ett utvidgat SFR. Ett utökat inslag i den fortsatta försöksverksamheten kommer vara verifierande tester för att bekräfta den kunskap man redan har, bl.a. genom en försöksserie på den tilltänka slutförvararplatsen för använt kärnbränsle (Forsmark).

Remissinstansernas synpunkter

Kungl. Vetenskapsakademien anser att ytterligare forskning krävs av komplexbildning av radionuklider med organiska komponenter i grundvatten respektive kring betydelsen av kolloidtransport samt pH-variationer. Plutoniums rörlighet i mark och vatten påtalas också särskilt, i synnerhet mot bakgrund av inverkan av reducerande/oxiderande miljö, och organiska syror (humus).

SSM:s bedömning

SSM bedömer att SKB har ett i huvudsakligen lämpligt forskningsprogram för studier av transport och retardationsprocesser för radioaktiva ämnen. Om de olika delprojekten visar sig framgångsrika finns förutsättningar för framtagande av ett mera avancerat och vetenskapligt välmotiverat koncept för modellering av radionuklidtransport i berg. Redovisningen i Fud-program 2022 ger samtidigt ett något ostrukturerat intryck. Det hade varit enklare att förstå de olika delprojektens betydelse om kopplingar hade förtydligats kring hur olika mätningar, modeller och databaser planeras att tillämpas och hur de är relaterade till varandra. Planer för att utveckla säkerhetsanalysen utgör uppenbarligen den grundläggande förutsättningen för prioriteringen av olika insatser, men exakt hur är ofta inte explicit angivet.

Det i tidigare säkerhetsanalyser tillämpade angreppssättet att modellera sorption enbart under beaktande av matrisdiffusion i intakt berg och grundvattenflöde i sprickor motiverades med utgångspunkt från att modellen sannolikt är konservativ och kan parametreras med utgångspunkt från data inhämtad från mätningar som utgår från borrhålskärnor från platsundersökningar. Rent konceptuellt avviker det dock från den vetenskapliga förståelse som SKB ger uttryck för i Fud-program 2022. Den omvandlade regionen av berget närmast vattenförande sprickor är särskilt betydelsefull förutom dessa två domäner, medan däremot beläggningar av sprickmineral inte anses vara avgörande. SSM bedömer att SKB:s planerade vidareutveckling är lämplig men konstaterar samtidigt att utmaningarna att ta fram ett mindre konservativt angreppssätt kan vara betydande. Förutom tillgång till de matematiska verktygen krävs tillgång till data som underbygger parametreringen av transport och retardation i de regioner som är mest betydelsefulla dvs. den del av berget som ligger närmast vattenförande sprickor. Särskilda experiment för att komma åt sådana regioner kan komma att krävas. SKB behöver överväga hur tillgång till data kan säkras med utgångspunkt dels från de provtagningar som redan genomförts, dels från ett fortsatt provtagningsprogram i samband med en uppförandefas.

SSM ser positivt på SKB:s planerar att vidareutveckla metoderna för att karaktärisera radionuklidtransport i berg via både fältförsök och laborieförsök. För laborieförsök har länge batchförsök med krossat berg varit en betydelsefull metod, men här är osäkerheten kring betydelsen av nytillkomna mineralytor och hur dessa kvantifieras en betydande osäkerhet. Det är betydelsefullt för förtroendet för SKB:s förståelse att samstämmighet mellan försök av olika typer kan uppnås alternativt att detaljerade och välmotiverade förklaringar finns tillgängliga som motiverar eventuella skillnader i försöksresultat.

Med tanke på befintliga tidsplaner för slutförvaret kommer det ta lång tid innan SKB kan påbörja spårämnesförsök vid Forsmark av den typ som redan länge utförts vid Äspölaboratoriet (TRUE experimenten). SSM anser det dock vara bra att SKB redan nu har börjat planeringen av ett sådant mätprogram. SSM instämmer vidare med KVA att beaktande av både förekomst av organiska ämnen (humus och fulvosyror) samt små mängder kolloider i grundvatten är faktorer som behöver beaktas. De tas ofta inte med i laborieförsök, men beaktas implicit i fältförsök åtminstone för den geokemiska miljön som gäller vid försökstillfället.

10.3.8 SSM:s samlade bedömning avseende berg

SSM bedömer att SKB:s arbete med att karakterisera och modellera bergets egenskaper och beteende, vilket redovisas i Fud-program 2022 avsnitt 11.1, är ändamålsenligt. Den fortsatta karakteriseringen av bergets egenskaper kommer i högre upplösning fortskrida inom ramen för detaljundersökningsprogrammet i samband med uppförandet av slutförvarsanläggningarna. SSM bedömer att det fortsatta arbetet med att karakterisera berggrunden för tillståndsgivna verksamheter lämpligen görs på ett övergripande sätt i Fud-programmets del I. När uppförandet inleds kommer Fud-programmets betydelse inom vissa områden att minska. SSM bedömer att karakterisering av berggrunden är ett sådant område där det kan förväntas att en dialog på årsbasis eller oftare upprättas liknande den för SKB:s arbete med kontroll och underhåll av berg och bergförstärkningar för befintliga anläggningar. Delar som i högre utsträckning berör utvecklingen efter förslutning, som modellering av berggrundens termiska, mekaniska, hydrologiska och kemiska utveckling efter förslutning kommer framgent vara av intresse att redovisa i del II.

SSM ser positivt på SKB:s uppgivna arbete med modellering av diskreta spricknätverk (Fud-program 2022, avsnitt 11.2) och seismisk påverkan på säkerhet efter förslutning (Fud-program 2022, avsnitt 11.3): SSM kan notera att det arbete SKB utför rörande

seismisk påverkan efter förslutning även är av stort intresse för andra kärntekniska anläggningar vid utvärdering av seismisk fara. En utvärdering likaså är av stor nytta vid en eventuell utbyggnad av nya reaktorer i Sverige.

Inom området grundvattenflöde, grundvattenkemi och transport av lösta ämnen (Fud-program 2022, avsnitt 11.4) bedömer SSM att det redovisade forskningsprogrammet är ändamålsenligt. Redovisningen inom hydrokemiområdet (Fud-program 2022, 11.4.2) är dock stundtals otydlig med avseende varför olika forskningsprojekt ska genomföras. Det finns ingen samlad beskrivning över säkerhetsanalysens behov av ytterligare forskningsresultat inom området och hur och varför detta har styrts de prioriteringar som har gjorts.

10.4 Ytekosystem

SSM lämnar i detta kapitel samlade synpunkter på redovisningen avseende ytekosystem i Fud-program 2022. Bedömningarna avser SKB:s redovisningar i avsnitt 12 Ytekosystem, avsnitt 4.8 Planerade insatser för ytekosystem samt delar av avsnitt 5.2 Forskning, 5.5 IT-arbetsverktyg och 5.6 Kompetens och resurser.

SKB beskriver att avseende ytekosystem är de aktuella forskningsfrågorna för de olika förvararna till stor del överlappande och att även om huvudsyftet är att skapa underlag för beräkningar av exponering av människor och andra organismer efter förslutning, så genereras också kunskapsunderlag relevanta för anläggningar i drift. SSM lämnar också synpunkter angående ytekosystem under kapitel 3.11 Övervakning under uppförande och drift.

SKB:s redovisning i Fud-program 2022 anger samma fyra forskningsområden (se följande fyra avsnitt) som i Fud-program 2019 inom vilka de viktigaste kvarstående frågorna finns. Redovisningen av program för de kommande åren inom respektive område anges mycket kortfattat i punktform. SKB anger att syftet med redovisning i punktform är att ge en tydlig och övergripande sammanställning av de forskningsinsatser som planeras att pågå under Fud-perioden (1.2.3 Fud-program 2022). SKB framhåller också att i avsnittet om ytekosystem ges en kort redovisning av de frågor inom ytekosystem som bedöms vara viktigast under Fud-perioden samt kortfattat vilka planer SKB har för att arbeta med dessa frågor.

10.4.1 Upptagsvägar och upptagsmekanismer för radionuklider hos olika organismer

SKB:s redovisning

SKB beskriver att företaget genomfört mätningar av halter av många olika ämnen i såväl organismer som omgivande miljö (vatten, mark och sediment). Sådana undersökningar har t.ex. gjorts inom platsundersökningarna, och på senare tid inom studier på Byle gård och i Kronosekvensprojektet. Resultaten används bl.a. till att ta fram platsspecifika koncentrationsfaktorer (CR-värden). Då det är stora osäkerheter förknippade med användandet av empiriska CR-värden har SKB också arbetat långsiktigt med att utveckla alternativa metoder för att uppskatta upptag av radionuklider till organismer. Då studierna vid Byle gård och inom Kronosekvensprojektet också ger annan information om ekosystemen än halter i organismer och miljö kan resultaten även användas till att utveckla processororienterade modeller. För sitt framtida program anger SKB att de ska fortsätta studierna vid Byle gård, ytterligare analysera data från Kronosekvensprojektet, utföra koordinerade provtagningar av mark- och växtprover i Forsmark med fokus på våtmarker, samt utveckla mekanistiska upptagsmodeller.

SKB redogör vidare för det arbete som utförts för att bättre förstå transport och upptag av kol, där en viktig frågeställning är i vilken mån radioaktivt kol-14 från ett slutförvar kan nå atmosfären i form av metan och därmed inte vara tillgängligt för upptag i växter och resten av näringskedjan. För det kommande programmet anger SKB att studier kring metanomsättning ska fortsätta och att SKB ska fortsätta med aktivt deltagande i Bioprota bl.a. avseende frågor kring kol-14.

SKB beskriver även att studier har gjorts avseende transport, upptag och ackumulation av klor i olika delar av ekosystemen, och att SKB avser att fortsätta arbetet med att utveckla modeller för transport och ackumulation av klor-36.

SKB redogör också för forskning som genomförts för att belysa de speciella förhållanden som kan råda i rinnande vatten jämfört med sjöar avseende omsättning, transport och ackumulation av radioaktiva ämnen. SKB drar slutsatsen att betydelsen av olika processer bör utredas grundligare och anger att forskningsprogrammet kommer innehålla fortsatt utveckling av modeller och kunskapsunderlag för upptag av olika ämnen hos organismer som förekommer i rinnande vatten.

När det gäller exponering av växter och djur redogör SKB för hur deras metodik har utvecklats från SR-Site till SR-PSU. SKB avser att inom det kommande programmet fortsätta följa den internationella utvecklingen och att ytterligare uppdatera metodiken när detta är motiverat.

SKB anger också att de inom kommande program aktivt kommer delta i arbete inom IAEA-programmet Methods for Radiological and Environmental Impact assessment (MEREIA) och Bioprota (ett internationellt forum för frågeställningar kring hantering av radioaktivt avfall och biosfären).

Remissinstansernas synpunkter

Stockholms universitets generella uppfattning är att SKB har ett ambitiöst och relevant arbete för att öka kunskap och förståelse av processer och mekanismer av betydelse för hur radionuklider kan röra sig i ekosystemet om/när de når dit, och hur de kan omfördelas över tid – kunskap som är nödvändig för att beräkna dos till människa och bedöma risk. Universitetet anser att det är viktigt att det planerade arbetet genomförs.

Universitetet konstaterar att SKB:s arbete med att öka kunskapen om hur radionuklider tas upp i biota baserar sig på både modelleringsstudier och egna mätningar. Universitetet anser att det inom ramen för Fud-programmet finns många bra exempel på hur SKB jobbar för att förbättra processförståelsen och underlagen för antaganden och/eller parameterisering av modellverktygen.

Universitetet anser att det är bra att SKB strävar efter att komplettera, eller till och med ersätta, dosberäkningar med alternativa metoder till generiska koncentrationsfaktorer (CR:s), exempelvis med mätningar på Byle gård eller inom Kronosekvensprojektet. I SKB:s program för kommande år anges att de ska jobba med att ta fram alternativa eller mekanistiska upptagsmodeller för att beskriva växtupptag. Universitetet anser att det är viktigt att det sker för både terrestra och akvatiska ekosystem, vilket troligen är planerat men inte tydligt angivet i Fud-programmet.

Universitetet konstaterar att SKB även har initierat arbete för att beskriva omsättning av metan i ekosystem. Som programpunkt anges att SKB ska fortsätta sina undersökningar för att öka kunskapen om betydelsen av metanomvandling för kol (C-14) som når bäckar, sjöar och våtmarker via grundvatten. Universitetet föreslår att SKB även ska inkludera



grunda kustområden, såsom exempelvis vassbälten, vegetationsklädda bottnar, etcetera, såvida det inte bedöms täckas in av den kunskap som tas fram för sjöar.

SSM:s bedömning

SSM anser att SKB:s val att beskriva programmet för framtida forskning och utveckling i kortfattade generella punkter gör det svårt att förstå hur SKB kommer att arbeta med ytekosystem de närmaste sex åren. Det är oklart vilka konkreta projekt som planeras och vilka deras specifika syften är.

Den verksamhet som SKB beskriver har genomförts under den senaste Fud-perioden är i linje med vad SKB planerade för i Fud-program 2019 även om vissa konkreta planer, såsom t.ex. en validering av och en jämförelse mellan resultat erhållna från användning av CR-baserade metoder respektive allometrisk metod, inte tydligt diskuteras. SSM bedömer att programmet för den kommande tidsperioden i huvudsak innebär fortsatt forskning inom samma frågeställningar som tidigare och att inga nya stora frågeställningar tillkommer eller att äldre frågeställningar stängts.

Liksom tidigare anser SSM att de frågeställningar som SKB fokuserar sitt program på, såsom utveckling av kunskap och alternativa processbaserade modeller för upptag i biota, specifik modellering av rinnande vatten samt ökad kunskap och modelleringsförmåga kring omsättning av klor-36 och kol-14 är viktiga, och liksom Stockholms universitet ser SSM positivt på att SKB fortsätter denna utveckling.

SSM instämmer med Stockholms universitet vad gäller vikten av att SKB fortsätter studera alternativa upptagsmodeller för att beskriva växtupptag och att det sker för både terrestra och akvatiska ekosystem.

SSM är av samma mening som Stockholms universitet om att SKB:s studier av metanomvandling även bör inkludera grunda kustområden, såsom exempelvis vassbälten och vegetationsklädda bottnar, om de inte bedöms täckas in av den kunskap som tas fram för sjöar.

SSM ser positivt på att SKB avser att fortsatt följa utvecklingen av skyddet av andra organismer än människa i internationella fora som IAEA och ICRP. SSM ser också gärna att SKB deltar aktivt i denna utveckling t.ex. avseende ekosystemtjänster.

10.4.2 Temporal och spatial heterogenitet i landskapet

SKB:s redovisning

SKB beskriver i sin redovisning under avsnitt 12.2 att landskapets utseende och framtida utveckling är viktiga faktorer för beräknad dos vid ett utsläpp av radionuklider och beroende på typ av ekosystem kan den beräknade stråldosen påverkas flera storleksordningar. I SKB:s analys av säkerhet efter förslutning identifierar de potentiella utsläppsområden och biosfärsobjekt inom vilka stråldos till människa och biota beräknas.

För att undersöka hur den lokala topografin och jordlagertjocklekar påverkar transport och heterogen ackumulation av radionuklider inom ett utströmningsområde redovisar SKB i sitt program att kompletterande platsundersökningar kommer utföras gällande regolitens stratigrafi och fysikaliska och kemiska egenskaper i potentiella utströmningsområden. SKB kommer även att utföra undersökningar för att bättre kunna beskriva igenväxningsförloppet av vikar, sjöar och myrar i Forsmarksområdet eftersom variation i ekosystemsuccession kan leda till heterogenitet i utströmningsområden. SKB beskriver även att deras program omfattar att landskapsutvecklingsmodellen kommer att fortsätta utvecklas genom att de arbetar in nya data från platsundersökningar, inklusive höjd- och



jorddjupsmodeller samt att genom fortsatta simuleringar med Untamo uppdatera beskrivningen av landskapsutvecklingen i Forsmark inför kommande analyser av säkerhet efter förslutning.

SKB beskriver vidare i sitt program att de kommer att utvärdera och sammanställa data från Byle gård för att belysa i vilken grad platsen är en lämplig analog för Forsmarks framtida odlingsområden.

För att beskriva effekter av ett framtida kallare klimat kommer SKB i sitt program tillämpa data och kunskaper från Grasp-projektet och Krycklanområdet på landskapsnivå i Forsmarksområdet. SKB kommer även att sammanställa kunskapsläget när det gäller markanvändning och vattenförsörjning under andra klimatförhållanden så som varmare klimat.

Inom sitt program kommer SKB att slutföra det pågående arbetet med att utvärdera metoder för att beskriva förekomsten av framtida våtmarker i Forsmarksområdet då det i de flesta av SKB:s analyser visats att det är den uppodlade myren som ger den högsta stråldosen efter förslutning för flertalet radionuklider.

Avslutningsvis redovisar SKB i sitt program i avsnitt 12.2. att de kommer att fortsätta att arbeta med Comsol-verktyget för att besvara och illustrera flera frågor kring beskrivningen av landskapet, med fokus på den rumsliga upplösningen på och avgränsningen av ingående biosfärsobjekt.

Remissinstansernas synpunkter

Stockholms universitet anser att SKB:s planerade arbete inom området temporal och spatial heterogenitet i landskapet är bra och relevant.

Miljörelsens kärnavfallssekreteriat (Milkas) framför sammanfattningsvis att utsläpp av radionuklider kan ha en negativ effekt på levande organismer.

SSM:s bedömning

Som Milkas har påpekat kan inte effekter på organismer uteslutas vid höga nivåer av radionuklider i miljön. Detta understryker vikten av att SKB har en god kunskap om i vilken typ av ekosystem utsläpp kan ske, landskapets utseende och framtida utveckling i Forsmarksområdet och hur det kan påverka hur radionuklider från slutförvar kan transporteras och ackumuleras i landskapet.

Liksom Stockholms universitet anser SSM att SKB:s planerade forskningsprogram inom området temporal och spatial heterogenitet i landskapet är bra och relevant. SSM vill dock i likhet med påpekandet om avsnitt 12.1 i Fud-program 2022 framföra att SKB:s val att beskriva programmet för framtida forskning och utveckling i kortfattade generella punkter gör det svårt att förstå hur SKB kommer att arbeta med ytekosystem de närmaste sex åren. Det är oklart vilka konkreta projekt som planeras och vilka deras specifika syften är.

SSM ser positivt på att SKB studerar hur variationer i den lokala topografin, jordlagerföljd och ekosystemsucceSSION kan leda till heterogenitet i radionuklidackumulation inom ett utströmningsområde.

Vidare ser SSM det som värdefullt att SKB studerar möjliga analogier för framtida odlingsområden och fortsätter utvärdera metoder för att beskriva förekomst av framtida våtmarker i Forsmarksområdet.



SSM ser positivt på att SKB fortsätter studera möjliga effekter av ett framtida kallare klimat och att SKB planerar att sammanställa kunskapsläget om markanvändning och vattenförsörjning vid ett framtida varmare klimat.

SKB:s fortsatta studier av beskrivning av landskapet med fokus på rumslig upplösning och avgränsning av ingående biosfärsobjekt ser SSM som värdefulla. SKB nämner dock inte om man planerar att studera hur användningen av ett heterogent kontaminerat område av människa och biota skulle kunna påverka den beräknade stråldosen, vilket enligt SSM vore av intresse.

10.4.3 Transport- och ackumulationsprocesser

SKB:s redovisning

SKB har använt ett beräkningsverktyg för modellering och simulering av komplexa fysikbaserade system (Comsol) för att i detalj studera mekanismer som drivs av fysikaliska, kemiska och biologiska processer, samtidigt som SKB kan använda landskapet som en drivande faktor för vattenflöden. SKB:s program innebär arbete med högupplöst fysikalisk och kemisk modellering med Comsol-verktyget för att förstå fastläggningsprocesser och underbygga distributionskoefficienter (Kd-värden) som erhållits från mätningar.

SKB har finansierat flera forskningsstudier i det väl undersökta och dokumenterade avrinningsområdet Krycklan. SKB kommer i sitt program att fortsätta med studier av lakning, mobilisering och ackumulation av ämnen i ett landskapsperspektiv i Krycklanområdet.

SKB framhåller i avsnitt 12.3 liksom i avsnitt 12.1 att det framtida programmet innebär fortsatt utveckling av den hydrologiska modellen för rinnande vatten.

I programmet ska SKB genomföra insatser för att reducera modellkomplexiteten i hydrologiska modeller med bibehållen förmåga att fånga huvuddragen i nyckelprocesser för transport och ackumulation i biosfären. Enligt SKB syftar insatserna till att möjliggöra stokastiska tillämpningar av numeriska 3D-modeller med förkortade beräkningstider.

SKB framför att de i SE-SFL visade betydelsen av osäkerheter i yhydrologiska parametrar för transport av radionuklider i en känslighetsanalys (SKB TR-19-05). Vidare menar SKB att det pågår en genomgång av förenklade hydrologiska modeller för att kunna hantera hydrologiska parameterosäkerheter i Biotex-modellen. SKB framhåller även att det pågår en studie som syftar till att minska beräkningstiden för Mike SHE genom modellförenklingar. Målsättningen för utvecklingsarbetet menar SKB är att osäkerheter i yhydrologin i framtiden ska kunna fångas som dataosäkerhet, vilken kan propageras till säkerhetsanalysen i form av probabilistiska transportberäkningar med Biotex. SKB kommer i sitt program att arbeta med validering av den hydrologiska modellen som användes för Biotex i SR-PSU.

SKB:s program innebär fältstudier av nyckelparametrar för den yhydrologiska modelleringen, såsom hydraulisk konduktivitet och infiltrationskapacitet i regoliten, för att därmed kunna minska osäkerheter i modelleringen.

SKB har påbörjat en validering av ytnära hydrologiska modeller i Krycklan genom att använda CFC (chlorofluorocarbons) för att bestämma grundvattnets ålder. SKB kommer att fortsätta arbetet med utveckling av CFC som valideringsmetod för hydrologiska modeller, och metoden planeras appliceras i Forsmark.

SKB kommer i sitt program att fortsätta att arbeta för att beskriva hur den markkemiska miljön kommer att förändras över tid i Forsmark, med särskilt fokus på effekter av kalkiturlakning, för att i förlängningen kunna ta hänsyn till hur ämnens rörlighet och fastläggning kan förändras i ett framtida landskap.

Remissinstansernas synpunkter

Stockholms universitet anser att SKB:s planerade arbete inom området transport- och ackumulationsprocesser är bra och relevant. Universitetet understryker att det är bra och viktigt att arbetet fortsätter med att ta fram platsspecifika Kd-värden för radionuklider för förhållanden som är relevanta för SKB:s säkerhetsanalyser.

SSM:s bedömning

SSM anser att beskrivningen av programmet för transport- och ackumulationsprocesser är mycket kortfattat och saknar tydliga angivelser för de kommande sex åren inom området.

SSM anser liksom i granskningen av Fud-program 2019 och i likhet med Stockholms universitet att den forskning som SKB finansierar om platsspecifika Kd-värden är viktig.

SSM ser positivt på att SKB fortsätter finansiera forskning inom hydrologi och hydrologisk modellering. SSM menar att det är av betydelse att SKB kontinuerligt följer forskning inom hydrologiområdet och initierar forskning som behövs för att de hydrologiska modeller som SKB använder i säkerhetsanalyser ska ge så tillförlitliga resultat som möjligt.

SSM bedömer att SKB:s forskningsinsatsning i avrinningsområdet Krycklan är värdefullt och ser positivt på att SKB fortsätter med studier av lakning, mobilisering och ackumulation av ämnen i ett landskapsperspektiv i Krycklan.

SSM saknar en koppling/referering mellan kapitel 12 och kapitel 11 i Fud-program 2022 vad gäller planer inom hydrologi.

10.4.4 Radiologiska, biologiska och kemiska egenskaper hos betydelsefulla ämnen

SKB:s redovisning

SKB redovisar att programmet kommer att innehålla sammanställning och utvärdering av kemidata från SKB:s undersökningar, tillsammans med tillgängliga kemidata från andra platser i Norden, för att bestämma sorptionsdata (Kd) och koncentrationsfaktorer (CR) och för att öka kunskapen om hur den kemiska miljön påverkar Kd och CR. SKB lyfter också fram att programmet innebär att en översyn kommer att göras av metodiken för val av värden för sorption och upptag (Kd och CR), och för bestämning av dessa värden osäkerhetsintervall, vid analys av säkerhet efter förslutning.

Kompletterande provtagningar (parade prover) för olika ämnen inom provtagnings- och övervakningsprogrammet för Forsmark, Byle gård eller i kampanjer kommer att genomföras anger SKB. Prover ska företrädesvis insamlas från potentiella utströmningsområden och jordbruksmarker. SKB menar också att utöver elementkoncentrationer mäts andra fysikaliska och kemiska markegenskaper, bland annat pH, organisk halt, lerhalt samt närvaro av komplexbildare i vattenprover.

SKB planerar att i sitt program utvärdera mildare lagningsmetoder vid analys av olika ämnen i jordprover, med syfte att erhålla resultat som är mer representativa för den kemiska miljö som råder i utströmningsområden.



SKB beskriver att programmet innebär fördjupade studier och utvärdering av fördelningsmönster för klor för att kunna knyta fördelningen till ämnets egenskaper och till processer i ekosystemen, och för att bättre kunna modellera klorets kretslopp i ekosystemet.

SKB framhåller att programmet kommer att innehålla utvärdering av hur den markkemiska miljön i Forsmark förändras över tid.

Vidare kommer SKB att bedriva fortsatta studier i Krycklanområdet för att öka kunskapen om urlakning och anrikning av olika ämnen i en bäcknära zon.

SKB lyfter fram att programmet kommer att innehålla en utredning om hur järnkolloider och löst organiskt kol (dissolved organic carbon, DOC) påverkar transporten av mer svårslösliga radionuklider.

SKB menar också att den studie av hur man kan använda lantanoider som spårämnen för lakning som har påbörjats i Krycklan kommer att fortsätta i Forsmarksområdet.

Avslutningsvis redovisar SKB i sitt program i avsnitt 12.4. att de kommer att genomföra en genomgång av data från platsundersökningsområdena för isotoper som ingår i de naturliga sönderfallskedjorna samt kompletterande undersökningar av isotoper i urankedjan.

Remissinstansernas synpunkter

Kungl. Vetenskapsakademien (KVA) bedömer sammanfattningsvis utifrån nulägesbeskrivningen och föreslaget program att analys av ytekosystemen och konsekvenserna av spridningen av radionuklider har ökat i omfattning och betydelse. KVA påpekar vidare att SKB:s forskning bidrar till kunskapsutveckling inom andra forskningsfält liksom att SKB kan inhämta kunskap från andra forskningsfält.

Stockholms universitet anser att SKB:s planerade arbete inom området radiologiska, biologiska och kemiska egenskaper hos betydelsefulla ämnen är bra och relevant.

SSM:s bedömning

SSM anser att beskrivningen av programmet för radiologiska, biologiska och kemiska egenskaper hos betydelsefulla ämnen är mycket kortfattat och saknar tydliga angivelser för de kommande sex åren inom området.

SSM anser att det är betydelsefullt att SKB:s program innehåller mätning och sammanställning av grundläggande egenskaper hos ämnen som är potentiellt viktiga för dos till människor och andra organismer.

Den provtagning som SKB planerar i Forsmark, på Byle gård eller i kampanjer menar SSM är betydelsefull utifrån att många olika prover planeras att samlas in och det ger en möjlighet att få nya och bättre indata till modellering av t.ex. utströmningsområden och jordbruksmarker, vilka kan spela en central roll i SKB:s säkerhetsanalyser. SSM ser också positivt på den utvärdering av mildare lakningsmetoder vid analys av olika ämnen i jordprover som ingår i SKB:s program och vars syfte är att få resultat som är mer representativa för den kemiska miljö som råder i utströmningsområden.

SSM menar att det är viktigt att SKB fortsätter att finansiera studier om klor och klor-36 för att förbättra förståelsen för och därmed modelleringen av klors kretslopp i ekosystem. SSM noterar att SKB i avsnitt 12.1 beskriver forskning om kol-14 och utgår från att SKB:s program också kommer att innehålla forskning om kol och kol-14 för att liksom för



klor förbättra förståelsen för och därmed modelleringen av kols kretslopp i ekosystem. SSM anser vidare att det är viktigt att SKB både följer och kan initiera ny forskning om radiologiska, biologiska och kemiska egenskaper hos andra ämnen som kan vara betydelsefulla vid beräkning av potentiell stråldos till människor och miljö i säkerhetsanalyser.

Den forskning som SKB beskriver om förändring av den kemiska miljön på en plats över tid och att programmet kommer att innehålla utvärdering av hur den markkemiska miljön i Forsmark förändras med tiden, uppfattar SSM som positivt.

Som framhållits i avsnitt 12.3 bedömer SSM att SKB:s forskningsatsning i avrinningsområdet Krycklan är värdefull. SSM ser positivt på de fortsatta studierna för att öka kunskapen om urlakning och anrikning av olika ämnen i en bäcknära zon.

SSM menar att SKB:s utredning, om hur järnkolloider och DOC påverkar transporten av mer svårslösliga radionuklider, som SKB presenterar som en del i programmet är värdefull för att öka kunskapen om radionuklidens mobilitet.

SSM uppfattar SKB:s val att fortsätta studera hur lantanoider kan användas som spårämnen för lakning i Forsmarksområdet som rimligt.

SSM bedömer att den forskning och utveckling som SKB finansierat för att öka förståelsen om sönderfallskedjor och de ingående isotoperna är värdefull för att kunna förbättra modelleringen av olika isotopers mobilitet. SSM menar att det är viktigt att SKB fortsätter denna forskning och utveckling.

10.4.5 SSM:s samlade bedömning avseende ytekosystem

Liksom i SSM:s yttrande över Fud-program 2019 anser SSM att det är positivt att SKB:s forskningsprogram för ytekosystem fortsätter vara baserat på en helhetssyn och syftar till att skapa underlag för beräkningar av potentiell stråldos till människa och miljö i analyserna av säkerheten efter förslutning för de olika förvaren, men också ger underlag för miljöövervakning, bedömningar av eventuell miljöförändring och för analysen av säkerheten i anläggningarna under drifttiden.

SSM anser dock att SKB:s val att beskriva programmet för framtida forskning och utveckling i kortfattade övergripande punkter gör det svårt att förstå hur SKB konkret kommer att arbeta med ytekosystem de närmaste sex åren. En mer uttömmande och tydligare beskrivning av programmet inom ytekosystem vore önskvärd för att öka förståelsen hos SSM och remissinstanserna samt hos övriga intressenter för syftet med och förväntade resultat från enskilda insatser inom SKB:s program.

SSM menar att området ytekosystem skiljer sig från t.ex. tekniska barriärer på så sätt att omfattningen av den redovisning som behövs är mer konstant över tid. Frågeställningar inom området ytekosystem är på många sätt desamma för alla tre förvaren; SFK, SFR-U och SFL. SSM anser att detta är ett skäl till varför beskrivningen av SKB:s program för området i kommande Fud-program bör vara mer utförlig än i Fud-program 2022.

SSM vill understryka att det förhållningssätt som SSM uppfattar att SKB hittills haft vad gäller granskning, öppenhet och insyn som beskrivs i avsnitt 5.2 Forskning är av stor betydelse för forskningen inom ytekosystem.

SSM vill betona vikten av att SKB fortsatt ställer höga krav på de databaser, modell- och beräkningsverktyg, undersökningsmetoder och instrument för platsmodellering, samt den

kvalitetssäkring, som används inom ytekosystem i enlighet med vad som beskrivs i avsnitt 5.5 IT-arbetsverktyg. SSM noterar att SKB i samma avsnitt anger att de strävar efter att ha egen kompetens för samtliga programvaror som används i säkerhetsanalyser. SSM vill understryka betydelsen av sådan egen kompetens vad gäller programvaror och modellering för ytekosystemet.

Vad gäller avsnitt 5.6 Kompetens och resurser vill SSM framhålla att fortsatt satsning inom vetenskapliga discipliner som stödjer forskning och utveckling inom ytekosystem är viktigt.

Stockholms universitet uttrycker i sitt remissvar gällande kapitel 4 i Fud-program 2022 att det är viktigt att SKB utnyttjar de möjligheter som erbjuds av det europeiska partnerskapet för strålskyddsforskning (The European Partnership for Radiation Protection Research, PIANOFORTE). SSM instämmer med att det är av vikt att SKB deltar i relevanta internationella sammanhang.

Vad gäller skyddet av andra organismer än människa ser SSM positivt på att SKB avser att fortsatt följa utvecklingen i internationella fora som IAEA och ICRP. SSM ser också gärna att SKB deltar aktivt i denna utveckling t.ex. avseende ekosystemtjänster.

10.5 Klimat och klimatrelaterade processer

I detta avsnitt framförs myndighetens synpunkter på SKB:s program för studier av klimat och klimatrelaterade processer (kapitel 13). Det framtida klimatet är en viktig extern faktor som påverkar ett slutförvar av radioaktivt avfall på flera olika sätt som berör bl.a. berggrundens termiska-, mekaniska-, hydrogeologiska-och hydrogeokemiska utveckling. SKB:s redovisning är uppdelad i delområdena klimatscenarioer, historiska klimatförändringar, havsnivåvariationer, denudation, inlandsisars dynamik, utvärdering av permafrost modell och GAP.

SKB:s redovisning av klimat och klimatrelaterade processer av betydelse för analysen av säkerhet efter förslutning redovisas på en mycket högre detaljeringsnivå i kommande ansökan om att få uppföra utbyggnaden av Kärnbränsleförvaret som kan lämnas in till myndigheten under kommande Fud-period. Under föregående Fud-period har SKB publicerat Klimatrapporten (TR-20-12) för PSAR Kärnbränsleförvaret samt ett flertal underlagsrapporter till Klimatrapporten. Delar av det nya material som ingår i Klimatrapporten redovisas även i Fud-2022. För att inte föregripa en eventuell granskning under kommande Fud-period är SSM:s synpunkter på SKB:s program på området Klimat och klimatrelaterade processer på en övergripande principiell nivå

10.5.1 Klimatscenarioer och historiska klimatförändringar

SKB:s redovisning

I avsnitt 13.1 och 13.2 redovisar SKB arbetet med klimatscenarioer och utvärdering av extrema klimat respektive historiska klimatförändringar. SKB:s klimatscenarioer som används i analyserna av säkerhet efter förslutning har till stor del baserats på rekonstruktioner av historiska klimatförändringar. SKB avser utvärdera hur väl det rekonstruerade klimatet kan identifiera möjliga klimatextremer som maximal tid med glaciala förhållanden, periglaciala förhållanden och tempererade förhållanden. Andra klimatrelaterade extremer rör exempelvis inlandsisarnas dynamik och antalet isfrontpassager över Forsmark under en glacial cykel. Utvärderingen ska genomföras genom rekonstruktioner av det historiska klimatet jämförelse med klimatmodellering av klimatets utveckling för de kommande en miljon åren. Viktiga ingångsvärden vid

modelleringen av det framtida klimatet är framtida variation av solinstrålning samt koncentrationen av växthusgaser i atmosfären.

SKB planerar att skala ner globala klimatmodelleringar av det framtida klimatet till Forsmark för att få fram ett underlag för analysen av framtida möjliga klimatextremer. Beroende på utfallet av utvärderingen avser SKB genomföra ytterligare studier av möjliga klimatextremers betydelse för säkerheten efter förslutning. Exempelvis potentialen för permafrosttillväxt under en längre period av periglaciala förhållanden. Det arbetet SKB genomfört för att sammanställa tidigare rekonstruktion av historiska klimat- och miljöförhållanden från föregående värmeperiod (Eem) till nuvarande värmeperiod (holocen) baserat på Sokli i norra Finland ska fortsätta. I vilken utsträckning klimatarkivet i Sokli kan utgöra en proxy för de historiska klimatförhållandena vid Forsmark ska under kommande Fud-period utvärderas genom att jämföra klimatrekonstruktionen från Sokli med andra klimatarkiv i Europa.

SSM:s bedömning

Vid SSM:s granskning av SKB:s klimatrekonstruktion vid Sokli i samband med prövning av ansökan om tillstånd för Kärnbränsleförvaret bedömde SSM att det finns vissa oklarheter rörande lokalens representativitet för Forsmark (SSM 2018:07, avsnitt 5.2.3.2). SSM bedömer att SKB tillvägagångssätt så som redovisas i Fud-program 2022 är ändamålsenligt för att bringa klarhet i denna fråga. I övrigt ser SSM positivt på SKB:s planer att utvärdera framtida klimatextremer med klimatmodellering.

10.5.2 Havsnivåvariationer och strandlinjeförskjutning

SKB:s redovisning

I kapitel 13.3 redovisar SKB genomförda och planerade studier som berör havsnivåvariationer och strandlinjeförskjutning på kort och lång sikt. På kort sikt berör studierna utformning av SFR och Kärnbränsleförvarets tillfarter och ovanmarksdelar så att slutförvaren kan stå emot en maximal höjning av havsytan fram till slutlig förslutning och avveckling. På lång sikt är kunskap om framtida havsnivåförändringarna av vikt för landskapsutvecklingen samt för analyser av geokemi och hydrogeologi. För SFR är även den inledande perioden med havstäckta förhållanden av intresse med avseende på möjligheten för oavsiktligt intrång efter slutlig förslutning. Beroende på graden av den framtida uppvärmningen kan det dröja upp till 14 000 år innan havet drar sig tillbaka från området ovanför SFR. Under föregående Fud-period har SKB uppdaterat kunskapsläget för havsnivåförändringar fram till år 2100 vilket inkluderar en probabilistisk analys av havsnivåvariationer baserad på IPCC:s RCP-scenarier (TR-19-23). Resultaten ger att endast IPCC:s högsta utsläppsscenario, RCP8.5, orsakar en transgression med två meters höjning av medelvattenytan fram till år 2100. Vid kraftiga stormar kan en höjning av vattenytan med ytterligare två meter ske. Inträffandefrekvensen för en stormflodshöjning i slutet på sekelskiftet som leder till ett totalt havsvattenstånd (stormflod plus medelvattenyta från RCP8.5) 4 meter över dagens nivå är en gång per 100 000 år.

Kommande Fud-period avser SKB fortsätta utvecklingen på området och vid behov göra nya sammanställningar av kunskapsläget, vilket berör båda framtida havsnivåvariationer och tänkbara förändringarna i salthalt i Östersjön. SKB ska även utveckla en modell som kombinerar eustatiska projektioner med den isostatiska återhämtningen i Forsmark, vilket kan öka kunskapsläget om framtida havsnivåvariationer på kort och lång sikt.

SSM:s bedömning

SSM ser positivt på SKB:s utförda arbete inom området liksom på SKB:s uppgivna program för den kommande Fud-perioden.

10.5.3 Denudationsprocesser

SKB:s redovisning

I kapitel 13.4 redovisar SKB genomförda och planerade studier rörande denudationsprocesser som påverkar bergytan, inklusive kvantifiering av historisk och framtida glacial erosion. SKB har under föregående Fud-period genomfört flera studier av den historiska denudationen över Forsmark för att utvärdera i vilken utsträckning berggrundsytan kan sänkas under kommande glaciationer (TR-19-07, TR-19-18, TR-19-21, TR-19-22). Studierna kan grupperas i geomorfologiska analyser av berggrundsytan och mätningar av kosmogena nuklider i berggrund och i block. Syftet med studierna är att öka kunskapen om erosionshastighet och erosionsdjup under den senaste glaciala cykeln (Weichsel) liksom den totala kumulativa erosionen över flera glaciala-interglaciala cykler upp till en miljon år bakåt i tiden. Glacial erosion har utgjort den viktigaste denudationsprocessen i Forsmark under de senaste miljonerna åren, och den förväntas vara det även under de kommande en miljon åren. Den flacka berggrundsytan i Forsmark har dock lett till en begränsad denudation i området under den gångna årsmiljonen. Under förutsättning att den historiska denudationen är representativ för kommande glaciationscykler bedömer SKB att den framtida denudationen är begränsad.

Den geomorfologiska analysen identifierade en ny glacial erosionsprocess kallad glacial uppsplitning. Processen är verksam i berggrundområden med ytliga subhorisontella sprickor och tros kopplas till förhöjda grundvattentryck under iskanten vid en tillbakadragande inlandsis. Grundvattentrycket i sprickorna, eventuellt i kombination med stora mängder glacialt smältvatten, och den framåtriktade isrörelsen kan ha lyft och dragit isär stora partier av berggrunden och skapat de blockrika täcken som förekommer i södra Sverige. Processen har även varit verksam vid några enstaka platser i Forsmark där den lokalt har påverkat berggrunden ner till flera meters djup.

SKB:s program för kommande Fud-period omfattar numerisk modellering av historisk och framtida rumslig fördelning av glacial erosion över Forsmarksplatsen.

SSM:s bedömning

SSM noterar att SKB genomfört ett omfattande arbete rörande den möjliga framtida denudationen av den kristallina berggrunden i Forsmark, vilket beaktar myndighetens synpunkt på området vid granskningen av SR-Site (SSM2018:7, avsnitt 6.2). SKB:s redovisade arbete och planer fram till nästa Fud-program är ändamålsenligt.

10.5.4 Inlandsisars dynamik och beteende

SKB:s redovisning

I kapitel 13.5 redovisar SKB genomförda och planerade studier som berör inlandsisars dynamik och beteende. Baserat på en numerisk termomekanisk inlandsismodell har SKB rekonstruerat transienta utvecklingar av Saaleglaciationen (TR-19-17).

Klimatutvecklingen villkorades med hjälp av geologiska data. I studien utfördes flera känslighetssimuleringar med olika parameterval och rumsliga upplösningar. Resultatet visar en långsam istillväxt under de inledande 100 000 åren av Saaleglaciationen där Forsmark är isfritt fram till ca 20 000 år innan glaciationsmaximat för ca 130 000 år före nutid. Simuleringen ger en maximal istjocklek över Forsmark på 3 500 meter. Studien ger en alternativ och gränssättande islasthistorik vid modelleringen av glacialt inducerad spänningsförändring.

SKB:s program inför nästa Fud-program fokuserar på hur lång tid det tar för en inlandsis att nå Forsmark och hur länge isfronten kan ligga över Forsmark innan den avancerar söderöver. Analysen omfattar även hur länge iskanten temporärt skulle kunna stanna över

Forsmark vid deglaciation. En ökad kunskap om dessa frågeställningar är av vikt vid uppskattningen av grundvattenflöden och bergspänningar som genereras under en glaciationscykel.

SSM:s bedömning

SSM noterar att SKB genomfört en studie som ger en alternativ och gränssättande islasthistorik till referensglaciationen utveckling. En sådan alternativ islasthistorik vid uppskattningen av glacialt inducerade spänningsförändringar efterfrågades av SSM vid granskningen av SR-Site (SSM2018:7, avsnitt 5.2.4.2). SKB:s redovisade arbete och planer fram till nästa Fud-program är ändamålsenligt och SSM har inget att tillägga till SKB:s redovisning.

10.5.5 Utvärdering permafrostmodell

SKB:s redovisning

I kapitel 13.6 redovisar SKB en genomförd utvärdering av permafrostmodellen. SKB har nyligen publicerat en utvärdering av permafrostmodellen med observationer av berggrundstemperaturen i ett 650 meter djupt borrhål beläget vid inlandsisens kant på västra Grönland (TR-21-08). Permafrostjockleken vid borrhålet är ca 400 meter. Utvärderingen har utgått från de modellversioner som använts i säkerhetsanalyserna SR-Site och PSAR för Kärnbränsleförvaret (SKB TR-10-49, TR-20-12), för säkerhetsanalyserna SR-PSU (SKB TR-13-05), och för säkerhetsvärderingen SE-SFL (TR-19-04). Utvärderingen ger att permafrostmodellens felmarginal vid uppskattningen av temperaturfördelningen i berggrunden $\pm 1,5\text{-}2^\circ\text{C}$. Osäkerhetsintervallet bedöms främst härröra från osäkerheter i indata. I och med de goda modellprediktioner som påvisats i denna studie, förväntas resultaten styrka den metodik och de slutsatser som dragits i säkerhetsanalyserna.

Beroende på vad utvärderingen av klimatextremer ger kan det bli aktuellt med ytterligare permafrostsimuleringar under den kommande Fud-perioden.

SSM:s bedömning

SSM noterar att SKB utvärderat permafrostmodellens tillförlitlighet med data från västra Grönland från GAP projektet, vilket SSM efterfrågade vid granskningen av SR-Site (SSM2018:7, avsnitt 5.2.5.2). SSM har inga synpunkter på SKB:s redovisade planer.

10.5.6 Greenland Analogue Project (GAP) och Greenland Analogue Surface Project (Grasp)

SKB:s redovisning

I kapitel 11.4.4 och 13.7 redovisar SKB utförda arbeten kopplat till GAP- och Grasp-projekten från Grönland. Under den gångna Fud-perioden har monitorering av GAP- och Grasp-platserna fortsatt. Insamlade data från Grönland har analyserats med avseende på hur grundvattenflöde och tryck i berggrunden påverkas av närvaron av inlandsisen. Resultaten visar att trycket i berggrunden reagerar mycket snabbt och känsligt på variationer hos inlandsisens hydrologi och massbalans, på dygns-, säsongs- och flerårstidsskala (Claesson Liljedahl et al. 2021). Ytterligare en studie har publicerats under föregående Fud-period av grundvattenflödesmodellering med transienta inlandsisförhållanden på Grönland motsvarande föregående glaciationscykel (R-19-17). Studien visar att den hydrauliska parametreringen av berggrunden och ovanliggande sediment samt permafrosten har stor betydelse för infiltrationsdjupet och grundvattenflöden under en glaciationscykel.



SKB finansierar ett doktorandprojekt inom området glacial och periglacial hydrologi, och är en del av nätverket CatchNet. Syftet med doktorandprojektet är att utnyttja data från de tidigare GAP- och Grasp-projekten för att öka kunskapen och förståelsen av kopplingen mellan de glaciala och periglaciala systemen, specifikt var och hur utströmning sker i så kallade taliks. Under föregående Fud-period har två vetenskapliga artiklar publicerats (Hornum et al. 2020, 2021).

Efter de aktiviteter som genomförs under 2022 planerar SKB ingen ytterligare verksamhet vid platsen för GAP-studien på Grönland. Doktorandprojektet inom glacial och periglacial hydrologi fortsätter och kommer att avslutas under 2023. Ytterligare en studie ska fokusera på användning av geokemiska data för att studera utströmning av djupt grundvatten och det sista planerade arbetet är en modelleringsstudie, som kommer att fokusera på hur det djupa och ytliga grundvattnet interagerar på den undersökta platsen på Grönland.

SSM:s bedömning

SKB:s redovisade arbete och planer fram till nästa Fud-program är ändamålsenligt och SSM har inget att tillägga till SKB:s redovisning.

10.5.7 SSM:s samlade bedömning avseende klimat och klimatrelaterade processer

SSM kan notera att Fud-program 2022 adresserar flera av SSM:s synpunkter från granskningen av den långsiktiga strålsäkerheten efter förslutning av slutförvaret av använt kärnbränsle (SSM 2018:07). Exempelvis kvantifieringen av framtida glacial erosion, valideringen av permafrostmodellen och framtagande av en alternativ islasthistorik som indata till bergspänningsmodelleringen.

Sedan Fud-program 2019 redovisades har SKB erhållit tillstånd enligt kärntekniklagen för Kärnbränsleförvaret och utbyggnaden av SFR. Huvuddelen av kapitel 13 i Fud-program 2022, klimat och klimatrelaterade processer, utgörs av publicerat underlag till PSAR för Kärnbränsleförvaret. För att inte föregripa en eventuell granskning under kommande Fud-period är SSM:s synpunkter på SKB:s program på området Klimat och klimatrelaterade processer på en övergripande principiell nivå.

10.6 SSM:s samlade bedömning avseende slutförvarsgemensam forskning och teknikutveckling

SSM anser att redovisningen av cementfrågor i Fud-program 2022 är något otydlig, detta gäller i synnerhet den del som avser mera grundläggande vetenskapsfrågor och mindre tillämpade praktiska frågor kopplat till de specifika förvarsdelarna. För exempelvis den mycket långsiktiga utvecklingen av mineralfaser inom cement och hur de kemiska förhållandena utvecklas på lång sikt redovisas endast att olika möjligheter håller på att övervägas. Äspölaboratoriet har fortfarande en stor betydelse för de studier som har utförts och avser att utföras/slutföras under förvarsliknande betingelser. SKB bör därför utreda andra möjliga försöksplatser och i kommande Fud-program redovisa hur liknande behov ska kunna tillgodoses efter att Äspölaboratoriet inte längre finns tillgängligt för försöksverksamhet.

Avseende lerbarriärer kan SSM konstatera att SKB:s utförda arbete är i linje med de behov som identifierades vid SSM:s granskning av SKB:s ansökan om KBS-3-systemet. SSM bedömer att SKB:s samtliga satsningar rörande lerbarriärer är rimliga och ändamålsenliga. SSM anser att de finns ett antal frågor som i allmänhet är unika och

utmanande kopplade med lerbarriären i BHA i SFL-slutförvaret. SSM är angelägen att SKB så tidigt som möjligt börja redovisa satsningarna i dessa frågor.

SSM bedömer att SKB:s redovisning av område berg är ändamålsenlig. För delområdet hydrokemi är dock redovisningen stundtals otydlig med avseende på varför olika forskningsprojekt ska genomföras. Det finns ingen samlad beskrivning över säkerhetsanalysens behov av ytterligare forskningsresultat inom området och hur och varför detta har styrts de prioriteringar som har gjorts. SSM bedömer att kommande redovisningen av det fortsatta arbetet med att karakterisera berggrunden för tillståndsgivna verksamheter lämpligen görs på ett övergripande sätt i Fud-programmets del I. När uppförandet inleds kommer Fud-programmets betydelse inom vissa områden att minska. SSM bedömer att karakterisering av berggrunden är ett sådant område där det kan förväntas att en liknande dialog på årsbasis eller oftare upprättas så som för SKB:s arbete med kontroll och underhåll av berg och bergförstärkningar för befintliga anläggningar. Delar som i högre utsträckning berör utvecklingen efter förslutning, som modellering av berggrundens termiska, mekaniska, hydrologiska och kemiska utveckling efter förslutning kommer framgent vara av intresse att redovisa i del II.

SSM kan notera att SKB i Fud-program 2022 adresserar flera av SSM:s synpunkter från granskningen av den långsiktiga strålsäkerheten efter förslutning av slutförvaret av använt kärnbränsle (SSM 2018:07). Exempelvis kvantifieringen av framtida glacial erosion, valideringen av permafrostmodellen och framtagande av en alternativ islasthistorik som indata till bergspänningsmodelleringen.

Liksom i SSM:s yttrande över Fud-program 2019 anser SSM att det är positivt att SKB:s forskningsprogram för ytekosystem fortsätter vara baserat på en helhetssyn och syftar till att skapa underlag för beräkningar av potentiell stråldos till människa och miljö i analyserna av säkerheten efter förslutning för de olika förvaren, men också ger underlag för miljöövervakning, bedömningar av eventuell miljöförändring och för analysen av säkerheten i anläggningarna under drifttiden.

SSM anser dock att SKB:s val att beskriva programmet för framtida forskning och utveckling i kortfattade övergripande punkter gör det svårt att förstå hur SKB kommer att arbeta med ytekosystem de närmaste sex åren. En mer uttömmande och tydligare beskrivning av programmet inom ytekosystem vore önskvärd för att öka förståelsen för syftet med SKB:s program hos SSM och remissinstanserna samt hos övriga intressenter.

11 Avveckling av kärntekniska anläggningar

11.1 Förutsättningar för avveckling av kärntekniska anläggningar

11.1.1 Begrepp och krav

SKB:s redovisning

I avsnitt 14.1 redovisas översiktligt kravbilden för avveckling av kärntekniska anläggningar enligt miljöbalken, 9 kap. SSMFS 2008:1 om säkerheten i kärntekniska anläggningar, och Kommissionens förordning (Euratom) 302/2005 om genomförandet av Euratoms kärnämneskontroll. Vidare listas andra myndigheter som ställer avvecklingsrelaterade krav. Utöver krav som är direkt kopplade till kärntekniska aspekter redogörs översiktligt för ytterligare krav från andra berörda myndigheter.

Redovisningen omfattar också en övergripande redogörelse för dels olika former av redovisningar som behöver utarbetas inför och i vissa fall löpande under avvecklingen, dels när viss sådan dokumentation behöver lämnas in till Strålsäkerhetsmyndigheten. Kravbildens illustreras i figur 14-1 i Fud-rapporten.

SSM:s bedömning

SSM bedömer att SKB:s redovisning huvudsakligen återger korrekt kravbild avseende avveckling av kärntekniska anläggningar. Sedan SKB:s redovisning togs fram har dock nya föreskrifter för kärnkraftsreaktorer i drift (SSMFS 2021:4, SSMFS 2021:5 och SSMFS 2021:6) tagits fram vilket har påverkat bestämmelserna om avveckling i 9 kap. SSMFS 2008:1. SSM håller även på att ta fram motsvarande föreskrifter för övriga kärntekniska anläggningar, varvid SSMFS 2008:1 kommer, helt eller delvis, att upphöra att gälla när de nya bestämmelserna i de nya föreskrifterna träder i kraft.

SSM påtalade i sin föregående granskning av Fud-program 2019 att hänvisningar till tillståndsvillkor för avveckling av kärnkraftsreaktorer (SSM2016-5866-26) saknades. SSM konstaterar att redovisningen i Fud-program 2022 på ett övergripande sätt anger tillståndsvillkor men även i denna redovisning är det inte specifikt att det är just tillståndsvillkor för avveckling som avses. SSM anser att redovisningen av tillståndsvillkor för kärnkraftverk under avveckling är på en acceptabel nivå, även om tydligheten i redovisningen ytterligare skulle kunna förstärkas.

11.1.2 Ansvar och arbetsfördelning

SKB:s redovisning

I avsnitt 14.2 redovisas vilka tillståndshavare som är ansvariga för avvecklingen av de olika kärntekniska anläggningarna som ingår i programmet för omhändertagande av kärnavfall och kärnämne från de svenska kärnkraftverken. I avsnitt 14.2.1 redovisas arbetsfördelningen mellan tillståndshavarna och SKB. Där anges att SKB har i uppdrag att samordna de generella metoder och rutiner för transport och slutförvaring av radioaktivt avfall som behövs för avvecklingen, t.ex. utveckla nya avfallsbehållare för rivningsavfall eller att ta fram gemensamma riktlinjer inom olika områden, såsom friklassning, avfallshantering och avveckling. Vidare beskrivs arbetsfördelningen mellan tillståndshavarna och SKB inom ett antal områden som berör avveckling, exempelvis avseende kostnadsberäkningar för avvecklingen och transportsystemet.

I figur 14-3 sammanställs principer för avbördningsvägar av kärnavfall under nedmontering och rivning och i figur 14-2 sammanställs prognostiserade mängder för rivningsavfall från de svenska kärnkraftverken för respektive avbördningsväg (konventionellt avfall, lokala markförvar samt slutförvaren SFL och SFR).

SSM:s bedömning

SSM anser att redovisningen ger en övergripande bild av ansvarsfördelningen mellan tillståndshavarna och SKB avseende ansvar och arbetsfördelning inom avveckling av kärnkraftsreaktorer. Likaså redovisas ansvarsfördelningen för kostnadsuppräknningar och SKB:s ansvar för transport av kärnavfall och kärnbränsle på ett tillräckligt sätt.

SSM ser att avbördningsvägar för rivningsavfall presenteras tillsammans med en sammanställning av prognostiserade mängder för rivningsavfall. Prognosen är övergripande och skulle kunna vara mer detaljerad, men SSM ser i sammanhanget att det finns annan dokumentation som sammanställer avfallsmängder på ett mer detaljerat sätt, och kan hållas mer levande i takt med att avvecklingen detaljplaneras och pågår hos respektive tillståndshavare. Dessutom är slutförvarens kapacitet en fråga som beaktas i tillståndsprövningarna av slutförvaren. Därmed bedömer SSM att det är tillräckligt att

SKB beskriver hur bolaget, tillsammans med tillståndshavarna, arbetar med prognoser för avfallsmängder.

11.1.3 Nationell och internationell samordning

SKB:s redovisning

I avsnitt 14.3 beskrivs nationell och internationell samordning. Nationellt redovisas att det finns flera olika forum som SKB samordnar och där tillståndshavarna ingår. Ett sådant exempel är SKB:s Fud- och plangrupp, där samordning av Fud-programmen och planrapporterna sker. Andra exempel som redovisas i texten är t.ex. de forum som finns avseende avveckling och avfallshantering. Vidare anges att SKB och de övriga tillståndshavarna deltar i ett antal internationella forum inom området avveckling, som arrangeras av bland annat IAEA, OECD/NEA respektive EU-kommissionen.

I avsnitt 14.3.2 redovisas den samordning som sker inom Uniper gällande avvecklingen av kärnkraftsreaktorer. Unipers avvecklingsprogram omfattar avvecklingen av OKG:s och BKAB:s reaktorer och den utveckling som skett inom Uniper i närtid beskrivs. Ett konsortium, med namnet Fortum-Uniper Nuclear Service har bildats år 2020/2021 och det svarar för att koordinera och utföra avvecklingen av reaktorerna på O1, O2, B1, B2. De kärntekniska tillstånden finns kvar hos OKG och BKAB och ansvaret för avvecklingen och kärnavfallet kvarstår oförändrat hos tillståndshavarna.

I avsnitt 14.3.3 redovisas den samordning som sker inom Vattenfall gällande avvecklingen av kärnkraftsreaktorer. All avveckling inom Vattenfallkoncernen samordnas genom Business Unit Nuclear Decommissioning (BUND). Samordningen är ett led i att skapa bra förutsättningar för synergier mellan det avslutade avvecklingsarbetet vid R2-reaktorn i Studsvik, det pågående avvecklingsarbetet av Ågestareaktorn och kommande avveckling av Ringhals 1 och Ringhals 2. Dessutom skapas förutsättningar för utveckling och samordning mellan avvecklingen i Tyskland och Sverige.

SSM:s bedömning

SSM anser att avsnitt 14.3 ger en tillräcklig bild av samordningen inom avvecklingsområdet på nationell nivå. Vidare nämns de internationella samarbeten inom IAEA och OECD/NEA där SKB och/eller tillståndshavarna deltar samt den samordning som pågår inom Uniper och inom Vattenfall gällande avvecklingen av reaktorer.

11.1.4 Kompetens

SKB:s redovisning

I avsnitt 14.4 redovisas att avvecklingen av kärntekniska anläggningar i Sverige kommer pågå ända fram till 2070-talet, då anläggningarna för omhändertagande av använt kärnbränsle och annat radioaktivt avfall ska avvecklas. Denna avvecklingsverksamhet kommer inte ske i ett jämt flöde, utan kommer att genomföras i tre huvudsakliga etapper; en på 2020-talet (nu), en på 2040-talet och den slutliga på 2070-talet. En utmaning är därmed att säkerställa tillgång till kompetens för de tre etapperna, eftersom behovet av avvecklingskompetens mellan etapperna kommer vara begränsat i Sverige.

Att säkra kompetens inom området beskrivs vara en strategiskt viktig fråga, på både kort och lång sikt. Inom landet kommer ett samarbete med universitet och högskolor vara en del i den långsiktiga kompetensförsörjningen, liksom att fortsätta uppmuntra samarbete inom branschen för att både behålla och attrahera ny personal inom dessa områden. Vidare redovisas att etableringen av Nordic Nuclear Trainee Program (NNTP) är ytterligare ett steg för att möta kommande behov.

Ett exempel på ett branschgemensamt samarbete som omnämns är SKC, där SSM, kärnkraftverken och Westinghouse Electric Sweden AB tillsammans med KTH, Chalmers och Uppsala universitet sedan 27 år stödjer utbildning, forskning och utveckling inom kärntekniska tillämpningar vid högskolor och universitet i Sverige. Vidare nämns KSU:s kursverksamhet inom områden såsom avfallshantering och avveckling.

Utöver detta anges att anläggningskännedom samt formell kompetens inom t.ex. strålskydd långsiktigt säkerställs. Det redovisas att detta kräver ett branschgemensamt samarbete och en samverkan med utbildningsväsendet. En del i detta anges också vara SSM:s nationella strategi för Sveriges kompetensförsörjning inom strålsäkerhetsområdet. Vidare redovisas att en viktig beståndsdel i arbetet med att säkra kompetens till framtiden är att på ett strukturerat sätt dokumentera de praktiska erfarenheter som bolagen gör under avvecklingen.

SSM:s bedömning

SSM anser att de grundläggande utmaningarna i samband med att bygga upp och säkerställa kompetens inom avveckling av kärntekniska anläggningar i Sverige redovisas i avsnitt 14.4 på ett tillräckligt sätt. Motsvarande gäller för den övergripande redovisningen av vidtagna åtgärder (både SKB och tillståndshavarnas) för att säkra denna kompetens. SSM har i sammanhanget svårt att bedöma frågor om kompetensbehov 50 år framåt i tiden, och ser därvid att den övergripande redovisningen som ges därmed är tillräcklig.

11.2 Planering för avveckling inom Uniper

11.2.1 Barsebäcks Kraft AB:s planering för avveckling

SKB:s redovisning

I avsnitt 15.1 redovisas att nedmontering och rivning av Barsebäck 1 och 2 pågår och i figur 15-2 redovisas en mycket övergripande tidsplan för reaktorernas avveckling. Den genomförda, och även den fortsatta, planeringen av avvecklingen av B1 och B2 bygger på att använda beprövad teknik och beprövade metoder. Tekniska, säkerhetsmässiga och organisatoriska beroenden har identifierats och därefter har en sekvens för delmomenten (arbetspaketen) fastställts. Utifrån sekvensen genomförs successivt detaljplanering och upphandling för respektive arbetspaket/delmoment. Under avvecklingen agerar BKAB som en beställarorganisation.

I redovisningen inkluderas en beskrivning av hanteringen av avfallet som uppstår. Det anges att material och avfall som uppkommer i samband med avvecklingen är av samma typ som det som uppkommer under drift, med skillnaden att volymerna är större under avvecklingen. I redovisningen anges att BKAB har redundans i hanteringslinjerna för rivningsavfallet för att minska risken för störningar i avfallslogistiken. Vidare redovisas information om att mellanlager har uppförts på området, men att alternativ för att kunna använda extern mellanlagring undersöks. Vidare planerar BKAB att utnyttja OKG:s markförvar som ett alternativ till att deponera det berörda avfallet i utbyggt SFR. Uppskattade avfallsmängder från avvecklingen har redovisats i avvecklingsplan respektive avfallsplan och en mer detaljerad redovisning finns i respektive delmomentsredovisning.

Dekontaminering och friklassning av byggnader planeras att vara genomförd 2028. Konventionell rivning och iordningställande av mark planeras ske därefter och i anslutning till att det radioaktiva avfallet transporteras till berört slutförvar.

SSM:s bedömning

SSM konstaterar att redovisningen i avsnitt 15.1 överlag överensstämmer med information som SSM har inhämtat genom tillsyn av BKAB, även beaktat de alternativ för lagring av avfall hos externa parter som planeras och utreds för närvarande samt SSM:s granskning av säkerhetsredovisningen för nedmontering och rivning (SSM2019-3585-6).

SSM konstaterar att det inte anges några uppgifter om beräknade avfallsmängder (av olika avfallskategorier) från rivningen av reaktorerna och anser att detta är acceptabelt mot bakgrund av att sådan information redovisas i avvecklingsplan, avfallsplan och delmomentsredovisningar med mera. Den totala mängden rivningsavfall som förväntas uppstå från rivningen av samtliga Sveriges reaktorer redovisas i kapitel 14.

11.2.2 OKG Aktiebolags planering för avveckling

SKB:s redovisning

I avsnitt 15.2 redovisas övergripande avvecklingsplaneringen för OKG Aktiebolags anläggningar, Oskarshamn 1–3 och de gemensamma anläggningarna (block 0). Figur 15-4 ger en principiell översikt av OKG:s tidsplan för avvecklingen.

I avsnitt 15.2 redovisas att nedmontering och rivning av Oskarshamn 1 och 2 pågår. Den genomförda, och även den fortsatta, planeringen av avvecklingen av O1 och O2 hanteras som stora projekt, där standardiserade planeringsprocesser baserade på Lean-principer tillämpas (Lean – metodik för att maximera nytta och minimera slöseri). Tekniska, säkerhetsmässiga och organisatoriska beroenden har identifierats, varefter en sekvens för genomförandet av de olika delmomenten (arbetspaketen) har fastställts. Detaljplaneringen för nedmontering och rivning byggs därefter upp successivt för respektive delmoment. Under avvecklingen agerar OKG som en beställarorganisation.

OKG redovisar även planer för avvecklingen av O3 och de anläggningar som O3 är beroende av. O3 planeras att drivas fram till 2045 och först därefter inleds avvecklingen av O3 och de anläggningar O3 är beroende av för anläggningens drift. Återställning av samtliga anläggningsplatser sker 2050–2055, i sådan omfattning att annan industriell verksamhet kan etableras. Konventionell rivning, inklusive rivning av reaktorbyggnaderna för O1 och O2, samt återställning av mark sker i anslutning till rivning av O3 åren 2054–2055 och gemensamma anläggningar 2050–2055. Målsättningen är att avlägsna radioaktivt material och återställa anläggningen till en friklassad anläggning.

I redovisningen inkluderas en beskrivning av hanteringen av avfallet som uppstår. Det anges att material och avfall som uppkommer i samband med avvecklingen är av samma typ som det som uppkommer under drift, med skillnaden att volymerna är större under avvecklingen, vilket ställer krav på en väl fungerande material- och avfallslogistik. Avfallslogistiken byggs upp successivt baserat på flöde av material/avfall per tidsenhet, vilket kan erhållas genom att koppla ihop den tekniska rivningssekvensen med den radiologiska kartläggningen. SFR och SFL är inte tillgängliga vid avvecklingen av O1 och O2 varför material- och avfallshanteringen optimeras ur ett helhetsperspektiv, där möjliga och rimliga avbördningsvägar vägs mot varandra. Redundans i avbördningsvägar eftersträvas där så är möjligt, och att en förordad avbördningsväg baseras på en samlad bedömning av faktorer, bland annat kostnad, risk, miljö och ALARA-principer.

OKG beskriver vidare motiv till utökningen av lagringskapaciteten i mellanlagret för lågaktivt avfall (LLA) samt behovet av att utöka kapaciteten för OKG:s markförvar. Utökningen av lagringskapaciteter sker i separata tillståndsprocesser. Uppskattade

avfallsmängder från avvecklingen har redovisats i avvecklingsplan respektive avfallsplan och en mer detaljerad redovisning finns i respektive delmomentsredovisning.

Dekontaminering och friklassning av O1 och O2 planeras att vara genomförd 2028. Konventionell rivning och återställning av mark sker i samband med rivningen av O3.

SSM:s bedömning

SSM konstaterar att redovisningen i avsnitt 15.2 överlag överensstämmer med information som SSM har inhämtat genom tillsyn av OKG, även beaktat de alternativ för lagring av avfall och deponering i markförvar som planeras för närvarande samt SSM:s granskning av säkerhetsredovisningen för nedmontering och rivning av O1 (SSM2018-3310-7) och O2 (SSM2018-5325-9).

SSM konstaterar att det inte anges några uppgifter om beräknade avfallsmängder (av olika avfallskategorier) från rivningen av reaktorerna och anser att detta är acceptabelt mot bakgrund av att sådan information redovisas i avvecklingsplan, avfallsplan och delmomentsredovisningar med mera. Den totala mängden rivningsavfall som förväntas uppstå från rivningen av samtliga Sveriges reaktorer redovisas i kapitel 14.

11.3 Planering för avveckling inom Vattenfall

I kapitel 16 redovisas på en övergripande nivå gemensamma aspekter av planeringen för och genomförande av avvecklingen av Ågestareaktorn samt reaktorerna i Ringhals och Forsmark. Avvecklingen av respektive anläggningen avses ske inom program och respektive avvecklingsprogram organisation anges ha som uppgift att planera och verkställa de olika ingående projekten, där kontrakterade entreprenörer avses användas som huvudsaklig arbetskraft under genomförandefasen. Vidare anges att tiden för nedmontering och rivning ska optimeras med utgångspunkten att avvecklingen påbörjas utan dröjsmål efter permanent avställning och med en sammanhållen genomförandefas. Övergripande tidsplaner för avvecklingen av Forsmark, Ringhals och Ågesta redovisas i figurerna 16-2, 16-4 och 16-6 i Fud-program 2022.

En avgörande skillnad mellan avveckling och drift av en anläggning är den betydligt större mängd avfall som uppstår under avvecklingen. Detta gör att kapaciteten för hantering av vissa avfallsströmmar måste öka väsentligt under avvecklingen för att inte hindra framdriften. Kapacitetsökningen kan uppnås på flera olika sätt, t.ex. genom att anpassa byggnader och lokaler som inte behövs efter avställningen för avfallshantering. Nya byggnader kan ändå behöva uppföras eller mobila lösningar införas på verket, för att klara av kapacitetsbehoven. Avfallshanteringen, inklusive mellanlagring och slutförvaring, avses optimeras ur ett sammanhållet drift- och avvecklingsperspektiv på koncernnivå. Utgångspunkten är att utöka kapacitet för omhändertagande av avfallet där det bäst lämpar sig ur ett helhetsperspektiv, till exempel med markförvar för mycket lågaktivt avfall.

Sluttillståndet för avvecklingen är friklassad industritomt. Sluttillstånd för respektive avvecklingsprogram kan dock vara friklassningsbar industritomt där byggnader och infrastruktur som är av nytta för fortsatt verksamhet, och som är möjliga att friklassa utan att de rivs, lämnas kvar medan övriga installationer rivs. Den konventionella rivningen av byggnader sker till cirka en meter under mark och kvarvarande hålrum återfylls med rivningsmassor. Det översta marklagret avses återställas till den status som den fortsatta industriella verksamheten på platsen kräver.



11.3.1 Ringhals AB:s planering för avveckling

SKB:s redovisning

Avvecklingen av de fyra reaktorerna i Ringhals återges i två avvecklingsplaner, en för R1 och R2 och en för R3 och R4. Drift av reaktorerna R1 och R2 pågick till slutet av 2020 samt slutet av 2019 och för reaktorerna R3 och R4 kvarstår planeringsförutsättningarna om drift till 2041 respektive 2043. I juni 2022 övergick både R1 och R2 i servicedrift³.

Sedan 2015 har arbetet med att planera nedmontering och rivning av R1 och R2, vilket idag är samlat i ett program. Fokus hittills har varit att analysera de tekniska, legala, tidsmässiga samt affärsmässiga förutsättningarna för avvecklingen samt att i detalj utvärdera hur de specifika momenten under avvecklingen ska lösas på bästa sätt. Detta inkluderar analys av bland annat rivningsmetodik, organisation och avfallshantering. På RAB bedrivs bland annat två större projekt; projekt Sture (Säker och Trygg Utfasning av R1 och R2) och projekt Split (fysisk separation av R1 och R2 från R3 och R4). Det nya avvecklingsprogrammet för R1 och R2 inkluderar de förberedande uppgifter som tidigare ingick i projekt Sture. Separation av R1/R2 från R3/R4 sker fortsatt i projekt Split.

Ringhals AB erhöll 2020 ändringstillstånd enligt miljöbalken för reaktorerna R1 och R2 att tillåtas övergå från avställningsdrift och servicedrift till fullständig nedmontering och rivning.

Eftersom slutlig avställning av R1 och R2 inträffat vid en tidpunkt då utbyggda SFR ännu inte har tagits i drift, krävs mellanlagring av det radioaktiva avfallet som uppstår. Detta kan ske lokalt på Ringhals kärnkraftverk och externt. Genom mellanlagring på kärnkraftverket minimeras de externa beroendena kopplat till avfallshanteringen, vilket gör att detta alternativ är förstahandsvalet för de flesta avfallsströmmar. Mellanlagring på kärnkraftverket ska ske i ombyggda befintliga lager för medelaktivt avfall samt, från år 2023, i ett nytt lager för lågaktivt avfall på det befintliga avfallsområdet.

I redovisningen anges att Ringhalsområdet är stort och möjliggör en effektiv logistik, eftersom det finns utrymme för exempelvis tillfällig lagring av avfall och möjlighet till olika transportvägar inom området. Avvecklingen av R1 och R2 underlättas även rent avfallslogistiskt av att den befintliga avfallsanläggningen är placerad intill R1.

Reaktortanksegment från R1 kan tack vare det relativt ringa aktivitetsinnehållet deponeras i SFR. De mest neutronaktiverade interndelarna segmenteras och paketeras för mellanlagring inför deponering i SFL. Interndelar som befunnit sig en bit från härdregionen såsom fuktavskiljare och ångseparator, planeras att segmenteras och deponeras i SFR.

Reaktortankarna och interndelarna från R2, R3 och R4 behöver till följd av sin kraftigare aktivering deponeras i SFL. För R2 finns ett inriktningsbeslut om att segmentera tank och interndelar, för R3 och R4 är sluthanteringen ännu inte beslutad. Mellanlagring sker i Ringhals till dess att SFR är utbyggt respektive SFL tagits i drift.

Uppskattade avfallsmängder från avvecklingen har redovisats i avvecklingsplan respektive avfallsplan och mer detaljerat i respektive delmomentsredovisning.

SSM:s bedömning

SSM konstaterar att redovisningen i avsnitt 16.1 överlag överensstämmer med information som SSM har inhämtat genom tillsyn av RAB, även beaktat de alternativ för lagring av avfall och deponering i markförvar som planeras och utreds för närvarande. RAB har dock

³ Övergången till servicedrift blev något försenad vilket SSM har dokumenterat i tillsyn enligt rapporten SSM2022-314-14.

inte, till SSM, inkommit med ansökan om godkännande av säkerhetsredovisningen för nedmontering och rivning. En sådan förväntas inkomma till SSM i början på 2023.

SSM konstaterar att det inte anges några uppgifter om beräknade avfallsmängder (av olika avfallskategorier) från rivningen av reaktorerna och anser att detta är acceptabelt mot bakgrund av att sådan information redovisas i avvecklingsplan, avfallsplan och delmomentsredovisningar med mera. Den totala mängden rivningsavfall som förväntas uppstå från rivningen av samtliga Sveriges reaktorer redovisas i kapitel 14.

11.3.2 Forsmark kraftgrupp AB:s planering för avveckling

SKB:s redovisning

SKB redovisar att FKA planerar för 60 års drift för sina tre reaktorer, dvs. till 2040 (Forsmark 1), 2041 (Forsmark 2) och 2045 (Forsmark 3). Den aktuella avvecklingsplanen för Forsmark 1-3 utgår från de ovan nämnda koncerngemensamma principer. Forsmark 1 och 2 förväntas komma att nedmonteras och rivas på ett sätt som maximerar synergivinster och bl.a. minimerar behovet av anläggningsseparation. Direkt i anslutningen till nedmonteringen och rivningen av Forsmark 1 och 2 planeras Forsmark 3 kunna övergå till avställningsdrift. Därmed förväntas avvecklingen av FKA:s anläggningar pågå utan uppehåll.

I sin planering utgår FKA ifrån att utbyggt SFR är i drift då reaktorerna nedmonteras och rivs. Detta begränsar mellanlagringsbehovet för kortlivat låg- och medelaktivt avfall. Därmed kan mellanlagringen begränsas till det långlivade rivningsavfallet.

Reaktortankarna från F1–F3 med sina interndelar kommer att segmenteras, vissa interndelar såsom fuktavskiljare, ångseparator och reaktortank planeras att deponeras i SFR och andra interndelar såsom härdgaller, härdinstrumentering, delar av moderatortank, moderatortanklock och bränsleuppställningsplatta planeras att deponeras i SFL.

Uppskattade avfallsmängder från avvecklingen har redovisats i avvecklingsplan respektive avfallsplan och mer detaljerat i respektive delmomentsredovisning.

SSM:s bedömning

SSM granskade under 2019 avvecklingsplanerna för F1 och F2 (SSM2019-453-2). Sedan dess har inte SSM gjort någon specifik tillsyn relaterat till avvecklingen på FKA, som ligger ca 20 år fram i tiden. SSM konstaterar att uppgifterna om avvecklingen av F1 och F2 i avsnitt 16.2 är överlag samstämmig med uppgifterna i den granskade avvecklingsplanen.

SSM konstaterar att det inte anges några uppgifter om beräknade avfallsmängder (av olika avfallskategorier) från rivningen av reaktorerna och anser att detta är acceptabelt mot bakgrund av att sådan information redovisas i avvecklingsplan och/eller avfallsplan. Den totala mängden rivningsavfall som förväntas uppstå från rivningen av samtliga Sveriges reaktorer redovisas i kapitel 14.

11.3.3 Vattenfalls planering för avveckling av Ågestareaktorn

SKB:s redovisning

SKB redovisar att Vattenfall har valt att genomföra avvecklingen av Ågestareaktorn i programform och att avvecklingsprogrammet styrs av Vattenfalls Business Unit Nuclear Decommissioning, BUND. Avvecklingens slutmål är att radioaktivt material avlägsnats så



att anläggningen, dvs. bergrummet, turbinhallen, ovanmarks- och undermarks-anläggningar kan friklassas.

I juli 2019 erhöll Vattenfall tillstånd för att påbörja nedmontering och rivning av Ågestaanläggningen enligt miljöbalken. För att uppfylla krav på genomförande av en säker avveckling har anläggningen uppgraderats i vissa delar. Avvecklingsarbetet påbörjades i juni 2020 och figur 16-6 återger tidsplanen för avvecklingen av Ågestareaktorn.

Avvecklingsarbetet har delats upp i två större delmoment, segmentering av reaktortank på plats samt nedmontering av övriga kontaminerade system, komponenter och strukturer. I delmomenten ingår borttagning av isolering och sanering av annat miljöfarligt avfall, packning av avfall i standardavfallsbehållare samt avsökning och transport till AB SVAFO för mellanlagring, i väntan på driftsättning av SFL och utbyggt SFR, alternativt för vidare hantering hos extern part. Avfallet som genereras under avvecklingen omhändertas enligt förutbestämda hanteringssteg och avfallsmängder redovisas i avfallsplanen.

Efter avslut av delmomenten bedöms bergrummet vara i ett skick som uppfyller krav för friklassning. Ansökan om friklassning planeras lämnas in till SSM under 2024 med målsättning att erhålla ett beslut runt årsskiftet 2024/2025. Efter att beslut har erhållits om friklassning, kommer alla schaktutrymmen att förslutas med betongpluggar och alla ledningar kommer att kapas och tätas. Därefter kommer anläggningen att överlämnas till Stockholm stad, som är fastighetsägare.

SSM:s bedömning

SSM konstaterar att redovisningen i avsnitt 16.3 överlag överensstämmer med information som SSM har inhämtat genom tillsyn av Ågestaverket även beaktat den externa lagringen av avfall som redovisas samt SSM:s granskning av säkerhetsredovisningen för nedmontering och rivning (SSM2019-6509-8).

SSM konstaterar att det inte anges några uppgifter om beräknade avfallsmängder (av olika avfallskategorier) från rivningen av reaktorn och anser att detta är acceptabelt mot bakgrund av att sådan information redovisas i avfallsplan. Den totala mängden avfall som förväntas uppstå från rivningen av samtliga Sveriges reaktorer redovisas i kapitel 14.

11.4 Planering för avveckling av SKB:s anläggningar

SKB:s redovisning

I kapitel 17 sammanfattas övergripande avvecklingsplaneringen för SKB:s anläggningar Clink (inklusive Clab), SFR och Kärnbränsleförvaret. För SFL planeras att en avvecklingsplan tas fram i samband med F-PSAR. Avvecklingsplaner uppdaterades 2016 och även 2020 (för Clab), år 2017 (för kärnbränsleförvaret) respektive år 2018 (för SFR). Uppdateringarna genomfördes för att harmonisera med gällande föreskrifter från SSM och den gemensamma strukturen för en avvecklingsplan. I Clabs avvecklingsplan från 2020 tydliggjordes även hur nedmonteringen och rivningen planeras för de anläggningsdelar som är belägna under mark. Avvecklingsplanen för Clink uppdaterades under 2014 i samband med hanteringen av kompletteringar gällande tillståndsansökan för Clink och den kommer att uppdateras igen i samband med framtagandet av PSAR för anläggningen.

SKB:s anläggningar är bland de sista kärntekniska anläggningarna att avvecklas i Sverige och avvecklingen ligger cirka 50 år fram i tiden.



Målet med avvecklingen av Clink är att avlägsna radioaktivt material och friklassa anläggningen. Detta innebär att byggnader, inklusive all utrustning och mark ska friklassas utifrån den efterföljande verksamheten på platsen.

Målet med avvecklingen av SFR är att uppnå en friklassad anläggning. Avvecklingen påbörjas när den huvudsakliga verksamheten upphör med syfte att inte återupptas. Avvecklingen fortsätter, till dess att anläggningen ovan mark är friklassad och radiologiska skäl inte förhindrar etablering av annan industriell verksamhet på platsen.

För SFL planeras avvecklingen inledas i samband med förslutning av förvaret, vilket kan ske först när det långlivade avfallet från kärnkraftverken och från övriga kärntekniska anläggningar har omhändertagits och deponerats.

Avvecklingen av kärnbränsleförvaret vidtar efter att den huvudsakliga driften avslutats, det vill säga när allt använt kärnbränsle deponerats, deponeringstunnlarna återfyllts och pluggar installerats. Avvecklingen innebär förslutning av återstående delar av undermarksdelen och rivning av ovanmarksdelen.

En planeringsförutsättning för både kärnbränsleförvaret och SFR är att ovanmarksdelarna betraktas som konventionella då de inte innehåller något radioaktivt material. En radiologisk kartläggning av SFR kommer enligt redovisningen att göras för att utesluta eventuell kontaminering av byggnadsdelar som varit i kontakt med avfallsbehållare.

SSM:s bedömning

SSM har hittills inte granskat de uppdaterade avvecklingsplanerna för SKB:s anläggningar. SSM anser att SKB:s redovisning i kapitel 17 är tillräcklig.

SSM noterar att SKB antar att samtliga ovanmarksdelar av kärnbränsleförvaret kommer vara fria från radioaktiva föroreningar när de ska avvecklas. SSM anser att det är av vikt att lämpliga radiologiska undersökningar används vid avveckling av ovanmarksdelarna av kärnbränsleförvaret för att styrka att delarna är fria från radioaktiva föroreningar, och att de metoder som beskrivs för SFR med fördel kan nyttjas.

SSM konstaterar att det inte anges några uppgifter om beräknade avfallsmängder (av olika avfallskategorier) från rivningen av SKB:s anläggningar och anser att detta är acceptabelt mot bakgrund av att sådan information redovisas i avfallsplan/ avvecklingsplan.

11.5 Fortsatta aktiviteter inom avveckling

SKB:s redovisning

I kapitel 18 ges en översikt av det genomförda och planerade utvecklingsarbetet som rör avveckling av kärntekniska anläggningar. SKB anger att merparten av utvecklingsarbetet som sker inom SKB inte är enbart kopplat till avveckling, utan till avfallshantering generellt. Kapitlet redovisar i avsnitt 18.1 industrigemensamt utvecklingsarbete, i avsnitt 18.2 utveckling inom Uniper och i avsnitt 18.3 utveckling inom Vattenfall.

I avsnitt 18.1 redovisas bland annat ett industrigemensamt utvecklingsarbete gällande icke-reguljära bränslen. En förutsättning för att kunna påbörja nedmontering och rivning uppges vara att anläggningen är fri från använt kärnbränsle, inklusive skadat bränsle. Under 2015 initierades ett projekt med målsättningen att utveckla en metod för att omhänderta skadat bränsle. Metoden går ut på att kapsla in det skadade bränslet i specialutformade behållare (transportboxar respektive Quivers). Fyllda behållare kan transporteras till Clab för mellanlagring. I Clink kommer de att placeras i kopparkapslar,



förslutas och transporteras till och deponeras i Kärnbränsleförvaret. Projektet har under den gångna Fud-perioden slutförts och allt skadat bränsle har omhändertagits.

I avsnitt 18.2 och 18.3 redovisas utvecklingsarbete inom Uniper och Vattenfall, dels generellt, och dels utveckling inom avvecklingsprogrammen. Här omnämns exempelvis:

1. Utveckling av olika funktionella delprocesser – material- och avfallshantering, nedmontering och rivning, drift och underhåll samt skydd och säkerhet. Detta avser t.ex. utveckling och optimering av anläggningarna, markförvar, mellanlager, friklassning och logistik.
2. Förbättringar av effektivitet i samband med friklassning (av system, byggnader och mark), inklusive dekontaminering och mätsystem. Såväl förfinade statistiska metoder som robotteknik och artificiell intelligens (AI) undersöks.
3. Fortsatt volyminimering med koppling till slutförvarssäkerhet och systemutnyttjande (mycket lågaktivt, kortlivat och långlivat avfall).
4. Utarbetande av tekniska lösningar för robotisering/automatisering av avancerade rivningsmoment med målsättning att minska dosbelastning till personal.

SSM:s bedömning

SSM:s granskning gällande fortsatta aktiviteter inom avveckling har avgränsats till kapitel 18 innebärande att utvecklingsarbete som berör både drift och avveckling inte har granskats.

SSM konstaterar att det inom avvecklingsprogrammen lyfts utvecklingsarbete som eventuellt kan bidra till att både förbättra och effektivisera pågående avvecklingar. SSM ser det vidare som positivt att tillståndshavarna och SKB har avslutat projektet avseende omhändertagande av skadat bränsle.

11.6 SSM:s samlade bedömning avseende avveckling

SSM konstaterar att SKB:s redovisning i del III av Fud-programmet om avveckling av kärntechniska anläggningar i stort omfattar samma nivå på redovisningen som i Fud-program 2019. Den stora skillnaden är omfattningen av kapitel 18 (Fortsatta aktiviteter inom avveckling) relativt redovisningen i föregående Fud-programs kapitel 19. SSM ser att detta delvis beror på att det i andra kapitel i Fud-programmet redovisas information om utvecklingsarbete som berör både drift och avveckling. SSM anser att det nya upplägget är acceptabelt.

Avseende redovisningar i Fud-programmet gällande avvecklingen av reaktorer så stämmer det som redovisas i allt väsentligt överens med de uppgifter som låg till grund för SSM:s granskningar av säkerhetsredovisningarna för nedmontering och rivning respektive vad som framkommit i SSM:s tillsyn, såsom granskning av FKA:s avvecklingsplaner, anmälda delmomentsredovisningar samt utförda inspektioner och verksamhetsbevakningar. För RAB har SSM ännu inte granskat säkerhetsredovisningen för nedmontering och rivning av R1 och R2, men det planeras ske under första halvan av 2023.



Referenser

Claesson Liljedahl L, Meierbachtol T, Harper J, van As D, Näslund J O, Selroos J-O, Saito J, Follin S, Ruskeeniemi T, Kontula A, Humphrey N, 2021. Rapid and sensitive response of Greenland's groundwater system to ice sheet change. *Nature Geoscience* 14, 751–755.

Ekeröth E., Granfors M., Schild D., Spahiu K., 2020. The effect of temperature and fuel surface area on spent nuclear fuel dissolution kinetics under H₂ atmosphere. *Journal of Nuclear Materials* 531, 151981. doi:10.1016/j.jnucmat.2019.15198120

Fujiwara K, Tani J, Hironaga M, Tanaka M., 2017. Corrosion behaviour of aluminium under simulated environmental conditions of low-level waste. *Corrosion Engineering, Science and Technology* 52, 162–165.

Hidaka H., Holliger P., 1998. Geochemical and neutronic characteristics of the natural fossil fission reactors at Oklo and Bangombé, Gabon. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 62, 89–108.

Hornum M T, Hodson A J, Jessen S, Bense V, Senger K, 2020. Numerical modelling of permafrost spring discharge and open-system pingo formation induced by basal permafrost aggradation. *The Cryosphere* 14, 4627–4651.

Hornum M T, Betlem P, Hodson A, 2021. Groundwater flow through continuous permafrost along geological boundary revealed by electrical resistivity tomography. *Geophysical Research Letters* 48, e2021GL092757. doi:10.1029/2021GL092757

Rodriguez-Villagra R., Riba O., Milena-Peréz A., Cobos J., Jimenez-Bonales L., Fernández-Carretero S., Coene E., Silva O., Duro L., 2022. Dopant effect on the spent fuel matrix dissolution of new advanced fuels: Cr-doped UO₂ and Cr/Al-doped UO₂. *Journal of Nuclear Materials*, 568. <https://doi.org/10.1016/j.jnucmat.2022.153880>.

SKBdoc 1983850, ver 1.0. Åkesson M., Laitinen H., 2022. Gas phase composition during the unsaturated period. Status report June 2022. Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co.

SKB R-19-17. Jaquet O, Namar R, Siegel P, Harper J, Jansson P. Groundwater flow modelling under transient ice sheet conditions in Greenland, 2019. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB TR-10-49. Climate and climate related issues for the safety assessment SR-Site, 2010. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB TR-13-05. Climate and climate-related issues for the safety assessment SR-PSU, 2014. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB TR-19-04. Climate and climate-related issues for the safety evaluation SE-SFL, 2019. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB TR-19-07. Hall A M, Ebert K, Goodfellow B W, Hättestrand C, Heyman J, Krabbendam M, Moon S, Stroeven A P., 2019. Past and future impact of glacial erosion in Forsmark and Uppland. Final report. 07. Svensk Kärnbränslehantering AB.



SKB TR-19-17. Colleoni F, Liakka J, 2020. Transient simulations of the Eurasian ice sheet during the Saalian glacial cycle. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB TR-19-18. Krabbendam M, Hall A M, 2019. Subglacial block removal – a preliminary analysis of driving and resisting forces under different glaciological scenarios. Svensk Kärnbränslehantering AB

SKB TR-19-21. Hall A M, Krabbendam M, van Boeckel M, Hättestrand C, Ebert K, Heyman J, 2019. The sub-Cambrian unconformity in Västergötland, Sweden. Reference surface for Pleistocene glacial erosion of basement. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB TR-19-22. Goodfellow B W, Stroeven A P, Martel S J, Heyman J, Rossi M, Caffee M W, 2019. Exploring alternative models for the formation of conspicuously flat basement surfaces in southern Sweden. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB TR-19-23. Pellikka H, Särkkä J, Johansson M, Pettersson H, 2020. Probability distributions for mean sea level and storm contribution up to 2100 AD at Forsmark. Svensk Kärnbränslehantering AB

SKB TR-20-12, 2020. Post-closure safety for the final repository for spent nuclear fuel at Forsmark – Climate and climate-related issues, PSAR version. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB TR-20-16. Nord M., Eriksson P., Johannesson L.-E., Fritzell A., 2020. Full-scale buffer installation test. Test of the behaviour of a segmented buffer during the installation phase. Swedish Nuclear Fuel and Wastemanagement Co.

SKB TR-21-08. Hartikainen J, Näslund J O, Liakka J, Claesson Liljedahl L, Kolisoja P, Kouhia R, 2022. Evaluation of the SR-Site and SR-PSU permafrost models against GAP-site bedrock temperatures. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB TR-21-12. Spahiu K., 2021. Residue water and gases in a KBS-3 canister and their effect on post-closure safety. Swedish Nuclear Fuel and Wastemanagement Co.

SKB TR-21-13. Dueck A., Nilsson U., Jensen V., Börgesson L., 2022. Compressive strength of bentonites. Factors influencing results from unconfined compression tests. Swedish Nuclear Fuel and Wastemanagement Co.

SKB TR-22-06. Cuss R. J., Harrington J. F., Tamayo-Mas E., Noy D. J., Birchall D. J., Sellin P., Nord M., 2022. Large scale gas injection test (Lasgit) performed at the Äspö Hard Rock Laboratory. Final report. Swedish Nuclear Fuel and Wastemanagement Co.

SSM 2018:07, 2018. Strålsäkerhet efter slutförvarets förslutning. Beredning inför regeringens prövning. Slutförvaring av använt kärnbränsle. Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSM2018-3310-7. Granskning av NoR-SAR och tillhörande redovisningar för Oskarshamn 1 och 0AVF. Strålsäkerhetsmyndighetens diarium.

SSM2018-5325-9. Granskning av NoR-SAR och tillhörande redovisningar för Oskarshamn 2. Strålsäkerhetsmyndighetens diarium.

SSM2019-453-2. Granskningsrapport - Forsmarks avvecklingsplan. Strålsäkerhetsmyndighetens diarium.



SSM2019-3585-6. Granskning av NoR-SAR och tillhörande redovisningar för Barsebäck 1 och 2. Strålsäkerhetsmyndighetens diarium.

SSM2019-6508-8 Granskning av NoR-SAR och tillhörande redovisningar för Ågestaverket. Strålsäkerhetsmyndighetens diarium.

SSM 2021:41. Meier T. Backers T., Eberhardt E., Fisher B., Geier J., Kwon S., Min K-B., Blaheta R., Hančilová I., Hasal M., Říha J., Lanaro, F., 2021. Reliability, Feasibility and Significance of Measurements of Conductivity and Transmissivity of the Rock Mass for the Understanding of the Evolution of a Repository of Radioactive Waste. Strålsäkerhetsmyndigheten.

Sun M., Stackhouse J. Kowalski P. M., 2020. The +2 oxidation state of Cr incorporated into the crystal lattice of UO₂. Communications Materials, 1:13.
<https://doi.org/10.1038/s43246-020-0014-5>.

Öhrling C, Smith C, 2020. Sedimentologisk undersökning av misstänkt glacialt inducerad förkastningsbrant. SGU-rapport 2020:21, Sveriges geologiska undersökning.