

Forskning

**Utvärdering av SKB:s utredningar
beträffande tillträdesvägar till slutförvarets
deponeringsområden, val av bergbrytnings-
metoder samt alternativ utformning med
horisontell deponering**

Ove Stephansson

November 2005

SKI-perspektiv

Bakgrund

SKB avser att genomföra geologisk djupförvaring av kärnbränsle enligt KBS-3-metoden. För att genomföra planerna utför SKB löpande designarbete för de två platserna Forsmark och Laxemar där platsundersökningar nu pågår. Dessutom har SKB redovisat olika bergguttagsmetoder för att bygga slutförvaret för använt kärnbränsle. Under de senaste åren har SKB också presenterat ett alternativ till KBS-3-konceptet som innebär horisontell deponering av kapslar, det s.k. KBS-3H-konceptet.

Syfte med projektet

Syftet med detta projekt är att

- Utvärdera SKB:s förslag beträffande slutförvarets design och layout inkluderande tillträdesvägar till förvaret (SKB R-03-11). Bedöma för- och nackdelar med redovisade alternativ.
- Utvärdera SKB:s metoder för bergguttag för slutförvaret för utbränt bränsle (SKB R-04-62). Bedöma för- och nackdelar med redovisade alternativ.
- Utvärdera utförbarhet och genomförbarhet för horisontell deponering av kapslar och fortsatt programförslag för detta (SKB R-01-55 och SKB R-04-42).

Resultat

Genomgången visar att av alternativa tillträdesvägar till slutförvaret förefaller ramp kombinerat med sänk-, hiss- och ventilationsschakt vara det mest fördelaktiva alternativet av de fyra alternativ som bedömts.

Beträffande metoder för bergguttag ger mekanisk brytning (TBM) minst skadezon på berget varför denna metod bedöms vara fördelaktigare för bergguttag av tunnlar (särskilt deponeringstunnlar) och eventuellt även ramp i förhållande till konventionell borrhning och sprängning.

Beträffande horisontell deponering (KBS-3H) synes metoden ha goda förutsättningar beträffande utförbarhet som eventuellt kan komma att underbyggas i samband med planerade försök i Äspölaboratoriet.

Effekter på SKI:s fortsatta arbete

Arbetet har gett SKI underlag för bedömning av SKB:s redovisningar av såväl Plan 2005 som Fud-program 2004 och kommer även utgöra ett bedömningsunderlag för SKI:s granskning av Fud-program 2007 som kommer att ha en omfattande redovisning av forskningsfrågor relaterade till slutförvaret.

Projektinformation

Ansvarig för projektet (SKI 2005/437/200509067) har varit Öivind Toverud.

Forskning

Utvärdering av SKB:s utredningar beträffande tillträdesvägar till slutförvarets deponeringsområden, val av bergbrytnings- metoder samt alternativ utformning med horisontell deponering

Ove Stephansson

Steph Rock Consulting AB
Roslagsgatan 12
113 55 Stockholm

November 2005

Denna rapport har gjorts på uppdrag av Statens kärnkraftinspektion, SKI. Slutsatser och åsikter som framförs i rapporten är författarens/författarnas egna och behöver inte nödvändigtvis sammanfalla med SKI:s.

Sammanfattning

I denna rapport redovisas resultaten av en utvärdering av SKB:s utredningar rörande tillträdesvägarna till slutförvarets deponeringsområden, bergavverkningsmetoderna som planeras komma till användning samt FUD-program och nuvarande resultat vad gäller alternativet med horisontell deponering enligt KBS-3H.

Den avslutande bedömningen efter granskning av SKB:s utredning av de olika alternativen för tillträdesvägar till ett djupförvar är, att sänkschakt samt hisschakt och ventilationsschakt enligt alternativ U4 är det mest fördelaktiga alternativet av de som studerats. Det alternativet bör därför så långt möjligt tillämpas för att anlägga tillträdesvägarna till slutförvarets deponeringsområden. Rampalternativet är enkelt att projektera, bygga och driva och dess flexibilitet är av stort värde jämfört med andra studerade alternativ. Ett rent schaktalternativ bör så långt möjligt undvikas om inte mycket särskilda platsförhållanden kräver en sådan lösning. Transport av utbränt kärnbränsle i djupa schakt med hiss bör undvikas.

För berguttaget av tunnlar och ramp har SKB valt att presentera TBM som ett alternativ till borrhning och sprängning men att TBM kan komma att bli huvudmetod för tunnarna i de fall goda till mycket goda bergförhållanden råder. Om SKB menar allvar med det uppställda kravet om att byggande och drift av deponeringstunnlar och deponeringshål skall ge begränsad påverkan på berget bör man slå fast att mekanisk brytning av tunnlar och berggrum skall ske. SKB borde också överväga att låta utreda möjligheten att även driva rampen med TBM-teknik.

Erfarenheterna från kontrollsystemet som installerades vid utbyggnaden av CLAB saknas i rapporterna. Ett fungerande övervakningssystem av de enskilda salvornas funktion och erhållna vibrationer tillsammans med registrering av synliga halvpipor och graden av sprängskador och sprickbildning ger den bästa informationen för att kontrollera och åstadkomma minimal skadezon (EDZ).

Den nya tunnelprofil som SKB nu lanserar är i det närmast rund (fyrkantig med rundade hörn) och är därför inte optimal för platser med höga bergspänningar och där spänningsdifferenserna är stora. I det fall att den största horisontella spänningen och vertikalspänningen är i det närmaste lika är den föreslagna tunnelprofilen bra.

Frågan när SKB skall mer tydligt offentliggöra den horisontella metoden som ett alternativ är inte bara ett kommunikationsproblem utan i än större grad en fråga om förtroende. Om SKB fortsätter att studera horisontell deponering men inte klart och tydligt informerar om sina planer kan kritiken och misstroendet från allmänheten komma i ett kritiskt skede av slutförvarsprojektet där beslut om förvaringsmetod skall fastslås. Den genomförda utvärderingen av SKB:s utredningar om KBS-3H-metoden visar tydligt att metoden har en stor potential. Om de pågående demonstrationsförsöken i Äspö ger ett positivt resultat förstärks detta intryck.

Innehåll

1 Föroord	1
2 Sammandrag och slutsatser av utvärderingen	2
Utredning rörande tillträdesvägar till djupförvarets deponeringsområden (SKB R-03-11)	2
Choice of rock excavation methods for the Swedish deep repository for spent nuclear fuel (SKB R-04-62)	5
Forsknings-, utvecklings-, och demonstrationsprogram för ett KBS-3-förvar med horisontell deponering (SKB R-01-55).....	10
KBS-3H Summary report of work done during Basic Design (SKB R-04-42)	12
3 Utvärdering av innehållet i tekniska rapporter	14
Utredning rörande tillträdesvägar till djupförvarets deponeringsområden (SKB R-03-11)	14
Choice of rock excavation methods for the Swedish deep repository for spent nuclear fuel (SKB R-04-62)	23
Forsknings-, utvecklings-, och demonstrationsprogram för ett KBS-3-förvar med horisontell deponering (SKB R-01-55).....	34
KBS-3H Summary report of work done during Basic Design (SKB R-04-42)	38
4 Referenser	42

1 Förord

SKB har uppgiften att utforma ett system och bygga ett säkert slutförvar för det svenska kärnavfallet. I uppgiften ingår design av anläggningarna inklusive tillträdesvägarna, val av metod att slutförvara avfallet samt utforma den utrustning som krävs för deponeringen i ett geologiskt djupförvar. SKB har för avsikt att använda KBS-3-metoden för slutförvaringen. I nuvarande skede använder SKB vertikal deponering enligt KBS-3V-metoden som referenskoncept och metoden med horisontell deponering enligt KBS3-3H-metoden som alternativ. För att genomföra planerna om slutförvaring genomför SKB löpande designarbete för de två platserna Forsmark och Laxemar. I designarbetet ingår bl a att utforma tillträdesvägarna till slutförvaret, bestämma bergavverkningsmetoder för uttaget av bergmassorna för de olika underjordskonstruktionerna samt välja deponeringsmetod enligt något av förslagen med vertikal eller horisontell deponering.

SKI har uppdragit åt Prof. Ove Stephansson, Steph Rock Consulting AB att värdera SKB:s förslag beträffande tillträdesvägar till slutförvaret och brytningsmetoder för att bygga slutförvarets olika delar. Vidare ingår i uppdraget att värdera utförbarhet och genomförbarhet för horisontell deponering och fortsatt programförslag för FUD-arbetet med horisontell deponering enligt KBS-3H. I uppdraget ingår också att utvärdera den långsiktiga säkerheten av alternativet KBS-3H i förhållande till nuvarande referenskonceptet KBS-3V. För genomförande av uppdraget har särskilt innehållet i följande rapporter granskats:

SKB, 2001. Forsknings-, utvecklings- och demonstrationsprogram för ett KBS-3-förvar med horisontell deponering. SKB R-01-55. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2003. Utredning rörande tillträdesvägar till djupförvarets deponeringsområden. Schakt eller ramp? SKB R-03-11. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2004a. Choice of rock excavation methods for the Swedish deep repository for spent nuclear fuel. SKB R-04-62. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2004b. KBS-3H. Summary report of work done during Basic Design. SKB R-04-42. Svensk Kärnbränslehantering AB.

Öivind Toverud SKI har varit handläggare av detta projekt och har lämnat värdefulla synpunkter på innehållet i denna rapport.

2 Sammandrag och slutsatser av utvärderingen

Utredning rörande tillträdesvägar till djupförvarets deponeringsområden (SKB R-03-11)

När det gäller tillträdesvägarna för hanteringen av radioaktivt avfall redovisas i utredningen erfarenheter och metodval i Finland, Frankrike, Storbritannien, Sverige, Tyskland och USA. I ett försök att sammanfatta situationen för de länder som har kärntekniska underjordsanläggningar eller planerar tillfartsvägar till ett djupförvar så gäller i dagsläget att anläggningar i sedimentära bergarter har utförts eller planeras att utföras med schakt. För anläggningar i hårda bergarter utformas anläggningarna företrädesvis med kombination av ramp och schakt.

I utredningen redogör SKB för förutsättningarna vid jämförelse av alternativa utformningar. Förutom att säkerhets- och miljökrav måste uppfyllas skall arbetet med ett slutförvar bedrivas kostnadseffektivt och flexibelt, med få störningar och möjligheter att anpassa lösningar till nya krav och förutsättningar som kan komma att ske i en framtid. Dessa överordnade förutsättningar innebär en stegvis utbyggnad och drift och en utvärdering inför varje nytt steg. Till de övergripande förutsättningarna hör också att anläggningen utformas så att den klarar ett öppethållande upp till 100 år.

Fyra alternativa förslag på tillträdesvägar av totalt sju stycken ha studerats mer i detalj :

1. U2. Ramp med två separata driftområde på markytan och med kommunikationsschakt mellan undermarksdelen och markytan, kallat rak ramp
2. U3. Ramp med driftområde på markytan och med kommunikationsschakt mellan undermarksdelen och markytan, kallat spiralramp
3. U4. Ramp med ett eller två separata driftområden på markytan och med kommunikationsschakt och skipschakt för transport av bergmassor mellan undermarksdelen och markytan. Skipschaktet sänks parallellt med att rampen byggs, kallat ramp med sänkschakt
4. U5. Ingen ramp. Separata schakt för tunga transporter, för lätta transporter, för ventilation och masstransporter av berg med mera (skipschakt), kallat schaktalternativet

De tre alternativ som uteslutits gäller dubbeltunnel utan kommunikationsschakt, tillträdesplacering upp- eller nedströms förvaret samt alternativ med tillträdesvägar på avstånd till deponeringsområden som ansluts via en tunnel på deponeringsnivån. Förslaget med dubbeltunnel har tidigare rekommenderats i förstudien för ett slutförvar i Forsmark men utesluts i denna utredning.

Redan i utredningsrapportens inledning slås fast att referensutformningen bygger på att tillfartsvägar och deponeringsområden anläggs med traditionell teknik för borrhning och sprängning men att SKB avser att närmare studera förutsättningar för mekanisk avverkning med fullortsborrnig eller fräsande brytning. Det bedöms viktigt att SKB fortsätter att studera alternativen med fullortsborrnig eller fräsande brytning eftersom dessa metoder ger den i särklass minsta skadezonen (EDZ). Nackdelen med fullortsborrnig av spiralramp är den relativt sett stora radie som krävs vid varje omböjning i rampen. Fördelen med stor radie är att transporterna kan ske lättare och säkrare.

SKB redovisar i rapporten att man oavsett ramp eller schakt avser komplettera de geologiska platsundersökningarna under genomförande av anläggningsarbetena och att dessa undersökningar för rampalternativet genomförs på liknande sätt som skedde i samband med rampdrivningen för Äspölaboratoriet. I de preliminära planer och skisser över spiralramp och schaktlägen som SKB redovisar är spiralrampen utformad som en symmetrisk spiral med konstant längd på rampdelarna mellan varje kurva. SKB bör även ta ställning till om spiralrampen kan ges olika långa rakdelar för att undvika passage av kritiska svaghetszoner i berget eller för att nå intressanta områden varifrån detaljundersökningar av centralområdet eller delar av deponeringsområdet kan ske.

När det gäller utformningen av schakt med dess installationer är det speciellt frågan om driftschaktet och dess utformning som kräver en speciell kommentar. Driftschaktet är avsett för tunga transporter av transportbehållare med kapsel och en strålskyddad behållare samt transportfordon med en total vikt av 85 ton samt en hissorg som beräknas väga 58 ton så att den totala vikten utan linor för hisspelet blir hela 143 ton. Den största risken med driftschaktet är linbrott och fritt fallande hissorg med transportbehållare. För att bromsa in en fritt fallande hissorg med last föreslås installation av stötdämpare i form av en aluminiumkonstruktion i botten av schaktet efter en modell som idag tillämpas i fronten på franska snabbtåg. Även om hissens hastighet bara kommer att bli 2 m/s är dess utformning, drift och säkerhet en alldeles för stor teknisk utmaning för SKB. I Gorleben, Tyskland har man provat ut ett hisspel för 85 ton nyttig last, men ännu inte installerat och testat det. I utredningen nämns inte heller några andra exempel och tillämpningar av tung hissteknologi för transport av högriskmaterial. Transport av utbränt kärnbränsle i djupa schakt med hiss bör därför om möjligt undvikas

Projekteringen av schaktalternativet kommer desutom att vara mest tidskrävande eftersom dimensioneringen av hissarna för de olika transporterna styr dimensionerna på schakten. Spiralramp och schakt kräver också lång tid för projekteringen eftersom avsikten är att driva hissakten samtidigt med rampen och ordna förbindelserna mellan rampen och schaktlägena. Om SKB i tillägg kommer att driva rampen med TBM-teknik och anpassa rampdrivningen till de geologiska förhållandena samt eventuellt driva rampen så att information om centralområdet och driftsområdena kan inhämtas kräver detta extra tid och resurser. Det är viktigt att SKB redovisar undersökningsmetodik och strategi för genomförande av detaljundersökningarna för de olika alternativen U2-U5, senast i samband med redovisningen av resultaten av de detaljerade platsundersökningarna.

Det är ställt utom allt tvivel att rampalternativet ger en långt bättre flexibilitet för transporter av maskiner och utrustning samt deras underhåll. Vidare krävs långt mindre förrådsutrymmen och utrymmen för service och underhåll under jord. Schaktalternativet kräver en mycket detaljerad planering av logistiken för anläggning och drift av slutförvaret.

Den optimeringsmetodik som SKB utvecklat innehåller 8 steg där varje steg motsvarar en aktivitet med tillhörande kommentarer för valet av schakt eller ramp. Det andra och viktigaste steget i optimeringsprocessen gäller de mål som önskas uppnås och innehåller frågor om förvarets långsiktiga säkerhet, kärnsäkerhet, arbetsolyckor, omgivningspåverkan, tidsplaner, kostnader, effektivitet, flexibilitet och risker. Sammanfattningsvis har SKB redovisat en relativt enkel optimeringsmetodik för komplexa beslut med specifika kommentarer för valet av schakt eller ramp som tillträdesvägar till slutförvarets deponeringsområden. Metodiken bedöms tillämpbar och upprättandet av MIFU-dokument (Motiv för Utformningen) gör att besluten om schakt eller ramp kan spåras i SKB:s kvalitetsdokument. En fullständig och systematisk riskanalys för de olika alternativen saknas. SKB bör uppmanas att inleda arbetet

med riskanalys för de olika alternativen för att ha såväl metodik som delresultat klara när det egentliga projekteringsarbetet startar för de olika platserna. Möjliga och sannolika projektrisker kan få avgörande betydelse för valet av alternativ och eventuell modifiering av dessa.

SKB har gjort en relativt omfattande utredning av effekterna av tillträdesvägarna på eventuell nuklidtransport efter förslutningen och har bl a beräknat tiderna för transport från förvaret till markytan, nuklidtransport vid försämrad återfyllning av transportvägarna samt inverkan av klimatrelaterade förändringar. Utredningen visar att det kan vara en viss fördel att placera tillfartsvägarna uppströms förvaret med hänsyn till radionuklidtransporten och att en spiralramp har bästa förutsättningarna att fördröja transport. Utan tillgång till platsspecifika data från Forsmark och Laxemar går det inte att klart utsäga att något av alternativen U2-U5 är att föredra med hänsyn till den långsiktiga säkerheten, klimatförändringar eller i det fall återfyllningens funktion försämras.

SKB redovisar totalkostnader för de olika alternativen, räknat som nuvärde vid tidpunkten för planerad byggstart den 1 januari 2009 men reserverar för att kostnadsöversikten innehåller stora osäkerheter. Det billigaste alternativet är schaktalternativet U5, totalkostnad 550 milj. kr, följt av alternativet med ramp och sänkschakt U4, totalkostnad 870 milj. kr samt slutligen rampalternativen U2 och U3, totalkostnad 1 850 milj. kr. Den höga kostnaden för alternativen U2 och U3 hänger samman med den mycket längre byggtiden samt fördyrade driftkostnader.

Tidsomfång för anläggning av de olika alternativen i det fall byggstart kan ske 1 januari 2009 är följande:

- | | |
|--|-----------------|
| • Rak ramp, alternativ U2 | 8 år, 5 månader |
| • Spiralramp, alternativ U3 | 8 år |
| • Spiralramp med sänkschakt, alternativ U4 | 6 år, 9 månader |
| • Schakt, alternativ U5 | 6 år, 9 månader |

Den betydligt längre byggtiden för rampalternativen utan sänkschakt leder till den högre kostnaden för dessa bägge alternativ.

En faktor som talar för rampalternativet, men som inte nämns i utredningens sammanfattande bedömning, är att SKB har erfarenhet av rampdrivning från sina nuvarande berganläggningar och att nordiska entreprenörer har erfarenhet av tekniken med praktisk taget saknar erfarenhet av djup schaktsänkning och schakt drivning med undantag av vertikal fullortsborrning.

I den sammanfattande bedömningen av alternativen i förhållande till de uppsatta målen dvs. låg stråldos, inga olyckor under bygge och drift, låg omgivningspåverkan, hushållning med resurser, låg totalkostnad, kort genomförandetid, hög flexibilitet och små projektrisker vinner alternativet ramp och sänkschakt enligt alternativ U4.

I utredningen redovisar SKB sin syn på tillsynsprocessen. Ansökan om drifttillstånd, som innebär att de drifttekniska säkerhetsföreskrifterna är godkända av SKI, kommer att inges innan den inledande driften påbörjas. SKB förutsätter här att detaljundersökningarna som utförts under drivning av schakt och ramp, och som redovisas löpande till SKI, verifierar resultaten av platsundersökningarna och säkerhetsanalysen. SKB räknar något optimistiskt med att tillstånd för deponering kan erhållas bara tre månader efter sista redovisningen av undersökningsresultaten lämnats till myndigheterna.

SKB konstaterar att samtliga studerade huvudalternativ U2-U5 är genomförbara och säkra. Vid en jämförelse av alternativen bedömer SKB alternativet U4 med ramp och samtidig drivning av sänkschakt vara det mest fördelaktiga när det gäller säkerhet, miljö och tidsplan. Kostnaden är 100 miljoner kronor högre än för det billigaste alternativet med bara schakt men ca 600 miljoner kronor billigare än det dyraste alternativet med bara ramp. SKB förordar vidare en lösning med bara ett driftområde (spiralramp) eftersom detta ger en mer rationell drift. På tre rader i rapporten avförs alternativet U5 (bara schakt) och alternativet U1 (dubbeltunnel) som möjliga alternativ om inte de platsspecifika förutsättningarna uppenbart föranleder att alternativen bör utredas vidare. Denna slutsats att avföra alternativet U5 kommer något överraskande i ett av de avslutande kapitlen i utredningen och utan närmare motivering. Exempelvis så erhåller schaktalternativet U5 samma poängtal i den sammanfattande bedömningen som alternativen med både rak ramp, U2 och spiralramp, alternativ U3.

SKB framhåller i utredningen att referensutformningen bygger på att rampen sprängs och att möjligheten att en rak ramp drivs med TBM-teknik utreds vidare. Efter denna granskning av utredningen föreslås att SKB även utreder möjligheterna att driva spiralramp med TBM-teknik. Det är således för tidigt att avföra TBM som möjlig och lämplig teknik vid anläggning av spiralramp.

Den avslutande bedömningen efter granskning av SKB:s utredning av de olika alternativen för tillträdesvägar är att sänkschakt samt hisschakt och ventilationsschakt enligt alternativ U4 är det mest fördelaktiga alternativet av de som studerats. Det alternativet bör därför så långt möjligt tillämpas för att anlägga tillträdesvägarna till slutförvarets deponeringsområden. Att ett rent schaktalternativ avförs om inte särskilda platsförhållanden kräver detta är en uppfattning som delas med SKB efter denna granskning.

Choice of rock excavation methods for the Swedish deep repository for spent nuclear fuel (SKB R-04-62)

I denna studie om alternativa metoder för berguttag för slutförvarets olika tunnlar och bergtrum redovisar SKB resultaten för de enskilda metoderna och deras tillämpningar på de olika delarna av ett slutförvar. Vidare gör SKB en jämförelse av metoderna mot sex stycken uppställda mål. Resultaten som presenteras i rapporten bygger på ett antal specialstudier som SKB genomfört i samarbete med inhemska och utländska maskinleverantörer och konsulter. Några av SKB:s egna experter har också deltagit i studien och redovisningen av projektresultaten.

De olika bergbrytningsmetoderna har jämförts med hänsyn till förvarets långsiktiga säkerhet, arbetarskydd, drift och förslutning samt miljöpåverkan, tidplaner, kostnader, flexibilitet, risker och möjligheter. Utvärderingen av de olika metoderna har skett med samma metodik – bästa tillgängliga teknik – som tidigare utvecklats och använts för utvärderingen av tillfartsvägar till slutförvaret. Denna granskning av rapporten visar att SKB uppfyllt målen med undantag av att det saknas en historisk översikt hur teknik- och metodval har utvecklats sedan de bergtekniska delarna av SKB-projektet började växa fram i slutet av 1990-talet.

Den stegvisa implementeringen av slutförvaret presenteras bra och överskådligt i text och bild. Bland annat redovisas det generiska förslaget där skipschaktet sänks samtidigt med att spiralrampen drivs (Fig. 2-10). SKB redovisar en klar uppfattning att i det fall rampen drivs med TBM så leder det till en betydande tidsbesparing som gör att schaktet kan sänkas med

stigortsborrning och där de utborrade massorna transporteras till markytan med trucktransport i ramp.

SKB tillämpar den framtagna BAT-tekniken och redovisar möjliga och bäst lämpade metoder för bergavverkning för var och en av utrymmena; ramp, centralområde, schakt, pilot-, tranport och huvudtunnlar, KBS-3V deponeringstunnlar, deponeringshål samt KBS-3H deponeringshål. Metodiken tillämpas för nio olika bergavverkningsmetoder:

1. Borrning och sprängning, (DB)
2. Tunnelborrningsmaskin, TBM
3. Vertikl stigortsborrning (V-RBM)
4. Horisontell stigortsborrning med dragning, (HD-RBM)
5. Horisontell stigortsborrning med tryckning, (HT-RBM)
6. Clusterborrning, (Wassara)
7. Nedåtgående upprymning för deponeringshål, (D-RBM)
8. Schaktborrningsmaskin för deponeringshål, (SBM)
9. Mobile Miner

Resultatet av SKB:s metodstudie vad gäller lämpligaste och möjlig alternativa bergavverkningsmetod för var och en av de olika delarna av slutförvaret kan sammanfattas på följande förenklade sätt:

<u>Konstruktion</u>	<u>Huvudmetod</u>	<u>Alternativ</u>
• Tillfartsramp	DB	TBM
• Centralområde	DB	
• Skipschakt	DB	TBM
• Övriga schakt	RBM	
• Huvudtunnel	DB	TBM
• Pilottunnel	DB	TBM
• Deponeringstunnel	DB	TBM
• Deponeringshål KBS-3V	D-RBM	SBM
• Deponeringstunnel KBS-3H	RBM	D-RBM, Wassara

I detta liksom tidigare projekt redovisar SKB borrrning och sprängning som huvudmetod vad gäller bergavverkning för tunnlar, bergtrum och sänkschakt. Av de underhandsrapporter om metoder som SKB kommer att lämna i sin ansökan om att få bygga slutförvaret kommer borrrning och sprängning att anges som huvudsaklig brytningsmetod. För berguttaget av tunnlar och ramp har SKB valt att presentera TBM som ett alternativ till borrrning och sprängning. SKB framhåller dock i denna rapport att TBM kan komma att bli huvudmetod för tunnlar i de fall goda till mycket goda bergförhållanden råder. Forsmark nämns som ett exempel där så är fallet. SKB:s slutsats förutsätter dock att inga bergutfall kommer att ske under borrrningen som följd av de relativt höga horisontella bergspänningarna.

Den geometriska toleransen för tunnlar och deponeringshål som SKB beskriver är relevanta och bedöms kunna uppfyllas av de avverkningsmetoder som redovisas. Modifieringar i teknikval och metod kan komma att ske efter det att licensiering och byggande har skett. I de fall ändringarna har betydelse för förvarets säkerhet skall ändringarna på sedvanligt sätt granskas och godkännas av SKI

Eftersom borrrning och sprängning för närvarande är den viktigaste bergavverkningsmetoden för slutförvarets tunnlar och bergtrum lämnas i rapporten också en utförlig och bra beskrivning

av metoden, maskiner och utrustningar, det nuvarande teknikläget och möjliga tekniska utvecklingar. För teknikområdet borring konstaterar SKB helt korrekt att tiden är mogen för att göra en teknikutveckling och att den utrustning som kommer att krävas för projektet bör specialtillverkas för att helt säkert uppfylla de ställda kraven på prestanda, precision för positionering och borriktningar. Detta är särskilt viktigt för borringen av deponeringstunnlarna för såväl vertikal som horisontell deponering.

SKB förordar användning av emulsionssprängämnen eftersom dessa gör det möjligt att anpassa den specifika laddningen till bergförhållanden och upprättade laddningsplaner för bästa möjliga kontur. Icke-elektriska (NONEL) eller elektronisk initiering av sprängsalvorna förutsätts. Elektronisk initiering kan förutses vara väl utprovad vid tidpunkten då utsprängningen av deponeringstunnlarna kommer att ske. Slätsprängning tillsammans med försiktig sprängning kommer att tillämpas i projektet. Metoden försiktig sprängning har till uppgift att reducera vibrationerna från sprängningen. Under utbyggnaden av andra berggrummet för CLAB lät SKB installera ett särskilt övervakningssystem för utsprängningen av tillfartstunnel och berggrum. Systemet fungerade bra och var till stor hjälp för SKB och myndigheterna vid kontrollen av uppställda vibrationsgränser samt kontroll av de enskilda salvornas funktion. Erfarenheterna från kontrollsystemet som installerades vid utbyggnaden av CLAB saknas i rapporten. Ett fungerande övervakningssystem av de enskilda salvornas funktion och erhållna vibrationer tillsammans med registrering av synliga halvpipor och graden av sprängskador och sprickbildning ger enligt författaren den bästa informationen för att kontrollera och åstadkomma minimal EDZ.

I rapporten behandlas bergskrotning relativt ingående och SKB kommer till slutsatsen att vattenjetskrotning är speciellt lämpad för de delar där slätsprängning tillämpas. Metoden är relativt ny men rapporterade resultat av tekniken är positiva. Förutom ett bra skrotningsresultat fås bergytorna rensade och rengjorda innan bergkartering och sprutbetongförstärkning sker, vilket är en fördel.

SKB lanserar i rapporten en ny tunnelprofil för deponeringstunnlarna. Den nya tunnelprofilen är mer kvadratisk än tidigare tunnelgeometri och hörnen i den nya profilen har större radie för att minska sprängskador och EDZ. Eftersom borring och sprängning är en flexibel metod är det också möjligt att modifiera den nya föreslagna profilen så att den även får en form som tar hänsyn till rådande spänningstillstånd i bergmassan. Detta är särskilt viktigt för platser med höga horisontalspänningar som bl a är fallet i Forsmark.

SKB förutsätter att en ny specialbyggd borrhög kommer att behövas för borringen av deponeringstunnlarna. Författaren delar denna uppfattning. En sådan nykonstruerad rigg kan förses med speciella riktningssinstrument, speciella bommar med stor böjstyvhet, speciella bormaskiner för olika borrhingsarbeten vid stoffen samt inspänningsutrustning av maskinen mot väggarna i tunneln.

För utvärderingen av tunnelborrningsmaskiner för bergavverkningen har SKB anlitat Robbins Company i USA som räknas till en av de ledande TBM-tillverkarna idag. Sverige har redan en del erfarenhet av TBM tillämpningar för tunneldrivning i hårt berg - kraftverkstunnlarna Kymmen, Klippen och dräneringstunneln Ormen Långe i Stockholm. SKB har vidare egen erfarenhet av TBM i samband med byggandet av Äspölaboratoriet där en 409 m lång lutande tunnelsektion drevs med mycket gott resultat vad gäller drivningshastighet och stabilitet och bemästrande av grundvatteninläckning under drift.

I SKB:s studie av TBM tekniken har man undersökt två olika metoder för drivning av rotorhuvudet och rekommenderar 'Variable Frequency Drive (VFD) framför hydraulisk drivning. Provborrningsrigg för provbörning framför borrhuvudet och i tunnelriktningen och för vertikala bulthål samt utrustning för injektering och sprutbetongförstärkning kommer också att finnas på SKB:s planerade TBM.

Stigortsbörning av schakt och tunnlar med tyngdpunkten på börning av horisontella tunnlar redovisas i rapporten. Stigortsbörning av schakt är känd teknik sedan 1960-talet och SKB har egen erfarenhet av stigortsbörning av schaktet vid Äspölaboratoriet. För slutförvaret kommer SKB att använda tekniken för börning av person-och materialschaktet samt för ventilationsschakten.

SKB studerar för närvarande möjligheterna för horisontell deponering enligt den s k KBS-3H-metoden där kapsel och kompakterad bentonit förpackas i behållare som förs in i ca 300 m långa deponeringstunnlar med en diameter av 1,85 m. Toleranskraven på raket och diameter är mycket stränga. SKB redovisar tre olika möjliga metoder för bergavverkning av deponeringsöppningarna, nämligen horisontell dragande rymning, horisontell tryckande rymning samt vattendriven hammarbörning. I rapporten beskrivs också olika metoder som idag finns på marknaden för att styra börningen så att kraven på raket kan uppfyllas. Den horisontella dragande rymningen är känd teknik. I Norge har man borrar en 285 m lång horisontell tunnel med diametern 1,8 m med gott resultat. Några prestanda på utrustning eller data om indrifter lämnas inte i rapporten. SKB räknar med att en utrustning för horisontell börning av deponeringsutrymmena kan borra ca 5 tunnlar per år. För att använda metoden med horisontell dragande upprymning krävs en extra servicetunnel som senare måste återfyllas. Genom att använda horisontell tryckande rymning undviker man servicetunnel.

SKB har tillsammans med det svenska borrhöretaget Wassara AB utvecklat och testat en bormaskin där det första pilothålet och två efterföljande upprymningar sker med vattendriven hammarbörning och där den roterande och slående börningen sker nära borkronan. Detta är ny och intressant teknik vad gäller de enskilda bormaskinerna liksom det kluster av 12 sammankopplade bormaskiner som används för upprymningen av hålet. Nackdelen med börningsmetoden är den stora vattenförbrukningen. SKB har genomfört ett fältförsök med den nya utrustningen i Oslo med gott resultat.

Metoden med börning/sprängning alstrar vibrationer som fortplantar sig i berget och eftersom konstruktionsarbetet kommer att drivas parallellt med deponeringen krävs ett säkerhetsavstånd mellan områden med dessa aktiviteter som SKB för närvarande anger till 80 m. Vibrationerna från TBM och andra börningsmetoder är mycket lägre än för börning/sprängning och kräver inga långa säkerhetsavstånd. Det är dock viktigt att SKB analyserar behovet av säkerhetsavstånd i det fall TBM metoden kommer att användas eftersom detta kan ha betydelse för arbetscyklernas utformning och transporterna mellan deponeringsområdena och konstruktionsområdena.

EDZ har en inverkan på förvarets funktion och säkerhet i alla sina skeden. Utvecklingen av EDZ med tiden kan under vissa betingelser leda till att sprickinitiering, sprickpropagering och skjuvning längs befintliga sprickor fortgår kontinuerligt eller intermittent med tiden efter deponeringen och förslutningen (höga bergspänningar, låg berghållfasthet/brottseghet) eller att tidigare utvecklad EDZ upphör och tidigare bildade sprickor tätas och läks genom mineralutfällningar. Risker med EDZ är en förhöjd grundvattenströmning och försämrad stabilitet.

SKB framför helt korrekt åsikten att för måttliga till låga bergspänningar sker utbredningen och omfattningen av EDZ oberoende av tunnelgeometri. Vid höga bergspänningar och särskilt i de fall att spänningsdifferenserna är stora i riktning vinkelrätt mot tunnelns axel finns riskerna för bergutfall (breakouts/spalling) i riktning av den minsta spänningen. En anpassning av tunnelformen så att den längsta dimensionen sammanfaller med riktningen på den största huvudspänningen är det mest gynnsamma. Den nya tunnelprofil som SKB nu lanserar är i det närmast rund (fyrkantig med rundade hörn) och är därför inte optimal för platser med höga bergspänningar och där spänningsdifferenserna är stora. I det fall att den största horisontella spänningen och vertikalspänningen är i det närmaste lika är den föreslagna tunnelprofilen bra.

SKB framhåller i rapporten fördelarna med att borra längre tunnlar med TBM än de 300 m som det nuvarande generiska utformningen omfattar. En förvarsutformning där långa tunnlar senare kompletteras med en sekundär huvudtunnel som korsar deponeringstunnlarna på lämpligt avstånd från den egentliga huvudtunneln lanseras i rapporten. Denna utformning är naturligtvis attraktiv men kräver ett stort sammanhängande bergområde. I de fall att deponeringsområdet korsas av många förkastningar och svaghetszoner som kräver ett respektavstånd till deponeringsområdena kommer dessa ytor att bli små och borring/sprängning är därför en bättre metod.

SKB förutser inga direkta svårigheter med att byta bergavverkningsmetod under pågående konstruktionsarbete och att val av metod kan komma att ändras under projektets gång om förhållandena visar sig vara gynnsamma. I sammanfattningen av avsnittet om flexibilitet, risker och möjligheter poängterar SKB att borring/sprängning är den mest flexibla metoden eftersom tunnelarea, profil och EDZ kan varieras salva för salva och anpassas till bergkvaliteten. Metoden är också den mest tillämpade i hårt berg och det finns ett relativt stort antal entreprenörer som kan driva tunnlar med borring/sprängning. Slutligen finns i Serige ett antal maskinleverantörer och sprängämnestillverkare som kan utveckla och tillhandahålla material och utrustning som är särskilt avpassade för tunneldrivningen i ett slutförvar.

SKB arbetar för närvarande med målsättningen att i sin licensansökan för att bygga slutförvaret redovisa vertikal deponering och senare ifall detta visar sig tekniskt och säkerhetsmässigt genomförbart ändra deponeringssättet till horisontell deponering. Om SKB ansöker om licens för vertikal deponering och efter en tid ansöker om ändring till horisontell deponering innebär detta ett betydande dubbelarbete för bägge organisationerna. Vidare är det en känslig förtroendefråga. Om SKB i dagsläget finner horisontell deponering både tekniskt, säkerhetsmässigt och ekonomiskt fördelaktigt bör man överväga att omprioritera utvecklingsarbetet och säkerhetsanalyserna till förmån för denna deponeringsmetod och söka ett ännu intensivare samarbete med de organisationer som sedan en längre tid arbetat med denna deponeringsmetod, exempelvis NAGRA och ENRESA.

I den sammanfattande bedömningen av de olika bergavverkningsmetoderna och den gjorda utvärderingen gentemot uppställda bedömningfaktorer kommer SKB till slutsatsen att borring/sprängning kan kvarstå som den metod SKB föredrar för utsprängning av deponeringstunnlarna även om metoden är beroende av den mänskliga faktorn och sammanhängande risker. Författaren delar inte denna uppfattning. Om SKB menar allvar med det uppställda kravet om att byggande och drift av deponeringstunnlar och deponeringshåll skall ge begränsad påverkan på berget bör man slå fast att mekanisk brytning av tunnlar och bergrum skall ske.

Forsknings-, utvecklings-, och demonstrationsprogram för ett KBS-3-förvar med horisontell deponering (SKB R-01-55)

SKB inledde mer ingående studier av horisontell deponering i samband med en jämförande underskning av vertikal deponering enligt KBS-3V och horisontell deponering med flera kapslar i samma deponeringshål, långa tunnlar och djupa borrhål. Studien gavs namnet Projekt Alternativ Studie för Slutförvar, PASS-projektet, och genomfördes i samarbete med Posiva i Finland och rapporterades 1992 (SKB, 1992). Av de tre alternativa metoder som studerades rankades horisontell deponering med flera kapslar i samma borrhål högst och visade sig vara mest kostnadseffektiv men också mer komplicerad än vertikal deponering.

1996 fortsatte SKB arbetet med horisontell deponering i det så kallade JADE-projektet med målsättningen att studera vertikal deponering med flera kapslar i ett och samma deponeringshål samt horisontell deponering med en eller flera kapslar i deponeringshålet och jämföra de olika alternativen med referensmetoden vertikal deponering med en kapsel i deponeringshålet. Projektet gav också som resultat att deponeringen skulle ske av hela paket där bentonit och kapsel omges av ett skyddande hölje.

Det nuvarande samarbetsprojektet med Posiva omfattar följande faser:

1. Förstudie (2002)
2. Konceptuell utformning (2003)
3. Genomförande (2004-2008)
4. Utvärdering (2009-2010)

Det föreslagna FUD-programmet består av följande delområden:

- Förvarsutformning
- Säkerhetsanalys
- Buffert
- Geovetenskap
- Borrning
- Injektering/förstärkning
- Deponeringsteknik
- Pluggning av deponeringshål
- Återtag

För varje område görs en presentation av kunskapsläget samt ett program för den forskning som behöver utföras.

De geovetenskapliga frågeställningar för horisontell deponering berör i första hand de tre ämnesområdena: hydrogeologi, bergmekanik och strukturgeologi. Det finns ingen information som styrker att frekvensen större svaghetszoner, förkastningar och sprickgrupper samt spricksystem skulle vara markant olika och därför ge preferens för någon av metoderna horisontell eller vertikal deponering. Den viktigaste uppgiften i FUD-programmet blir att upprätta acceptanskriterier och respektavstånd för horisontell deponering samt beräkna sannolika bortfall av deponeringspositioner för typiska berggrunder för kommande slutförvar med beaktande av bergmekanisk och hydrologisk information.

SKB har valt att hålla fast vid förslaget med deponering av hela paket som framkom som ett av resultaten av JADE-studien. Transport och deponering sker hela tiden strålskyddat och

även deponeringshålets mynning är försedd med strålskyddssluss. I det förslag till deponering som presenteras i rapporten föreslås deponeringsmaskinen vara utrustad som drivenheten på en TBM med möjligheten att stegvis trycka behållaren framför sig och även förflytta sig med omtag. SKB framhåller vidare att utvecklingsarbetet skall drivas fram till samma läge som idag gäller för konceptet med vertikal deponering och att ett ca 50 m långt deponeringshål skall borraras i Äspölaboratoriet. SKB framhåller vidare att syftet med demonstrationen är att underbygga ett eventuellt beslut om ett byte av referenskoncept.

I FUD-programmet om pluggning av deponeringshål föreslås en sammanställning av SKB:s tidigare erfarenheter av pluggar, alternativa konstruktioner av pluggar, bl a stålplugg för sektionering av deponeringshålet vid eventuellt högt vattenflöde under deponeringen. Konstruktions- och förslagshandlingar för tillverkning och demonstration av stålpluggar i kommande demonstrationsanläggning i Äspölaboratoriet skall tas fram i projektet.

SKB föreslår att återtag av paketen kan ske med uppslamning av bentoniten med saltlösning på samma sätt som antas ske vid vertikal deponering. Däremot beskrivs inte återtagsmetoder för ett långt senare skede då deponeringsbehållaren rostat sönder. Ett återtag av kapslar kräver ett tillstånd av SKI och vidare att SKB har ombesörjt ett mellanlager för de kapslar som återtas.

I slutsatserna av FUD-programmet med horisontell deponering och poängterar SKB de stora besparingarna som metoden ger vad gäller volymen avverkat berg, miljöbesparingarna och den påtagliga ekonomiska vinsten. Författaren delar SKB:s uppfattning att horisontell deponering kommer att kräva stark fokusering på teknikutvecklingen. De tekniskt svåra momenten är att borra, täta och bergförstärka de långa och raka deponeringstunnlarna samt hantera och placera de ca 50 ton tunga deponeringsbehållarna i tunnlar.

SKB framhåller vidare att ett KBS-3-förvar med horisontell deponering är inte bara ett tekniskt problem utan lika mycket ett kommunikationsproblem. SKB har under alla år sedan 1970-talet lanserat vertikal deponering. Att i nuvarande skede ändra den bild som de flesta har på sina näthinnor är givetvis ett stort och kvalificerat informationsproblem. Det finns dock skäl att framföra kritik vad gäller SKB:s information om horisontell deponering. Metoden har sällan lanserats som ett alternativ i det informationsmaterial som SKB presenterat sedan man internt beslutat studera metoden. Frågan om och när SKB skall mer tydligt offentliggöra den horisontella metoden som ett alternativ är inte bara en kommunikationsproblem utan i än större grad en fråga om förtroende. Om SKB fortsätter att studera horisontell deponering men inte klart och tydligt informerar om sina planer kan kritiken och misstroendet från allmänheten komma i ett kritiskt skede av slutförvarsprojektet där beslut om förvaringsmetod skall fastslås.

Författaren har förståelse för SKB:s uppfattning att tiden är knapp att lyfta kunskapsnivån för horisontell deponering till samma nivå som referensalternativet med vertikal deponering eftersom det råder resursbrist främst vad gäller buffert och säkerhetsanalys. SKB nu etablerat kontakt och samarbete med organisationer som arbetar med utveckling av horisontell deponering, främst Posiva i Finland, så möjligheterna att lansera KBS-3H som slutgiltig metod borde kunna föreligga ca år 2007 och något tidigare än vad som planerats.

KBS-3H

Summary report of work done during Basic Design (SKB R-04-42)

Denna rapport redovisar resultaten av SKB:s arbeten med principutformningen (Basic Design) av konceptet med horisontell deponering – KBS-3H-projektet – som genomförts under år 2003. I rapporten beskrivs principerna för horisontell deponering enligt KBS-3H-metoden samt skillnader gentemot nuvarande referensmetod KBS-3V. De viktigaste skillnaderna kan sammanfattas i följande punkter:

- Deponeringstunnlar med återfyllning behövs ej – ca 50% mindre berg behöver tas ut
- KBS-3H kräver 10-15 % mer deponeringsarea
- Temperaturlasten ändras
- Diametern på behållaren blir ca 10 cm större – 1,85 m – jämfört med KBS-3V
- Behållaren som omger den kompakterade bentoniten är en ny komponent
- Kraven på rakhet, ytojämnheter och riktning är större för behållarna i KBS-3H
- En operationskammare av ca 15 m krävs vid mynningen av varje deponeringshål
- Deponeringshålet förses med betongplugg
- Ingen byggnad eller installationsutrustning för återfyllning krävs förrän sent i projektet
- Metod och utrustning för insättning av behållare och distansblock måste utvecklas och demonstreras
- Metod för återtag av behållare måste utvecklas och demonstreras
- Kostnaderna för KBS-3H är betydligt lägre än för KBS-3V

SKB beskriver i rapporten den deponeringsutrustning som krävs och den perforerade behållare (KBS-3H super container) som kommer att användas. Kapseln kommer att omges av fyra kompakterade bentonitringar samt två bentonitpluggar vid ändarna som sedan omsluts av en perforerad stålcylander med en perforeringsgrad av ca 60 %. Ena ändytan kommer att förses med en stålplatta till vilket deponeringsmaskinen kan anslutas. Transporten i hålet kommer att ske med hjälp av vattendrivna friktionskuddar samt en palett som bildar underlag för friktionskuddarna. Införingen kommer att ske genom stegvis förflyttning av behållare och palett. Författaren delar SKB:s slutbedömning att metoden med vattenkuddar och palett som ansluts till deponeringsmaskinen är en fungerande teknik och rekommenderar den. Baserat på tillgänglig information delar författaren denna uppfattning förutsatt att den föreslagna metoden inte skadar buffertmaterialet under deponeringen och värmeproblemen i tunneln kan lösas.

SKB har genomfört och genomför fortfarande en handfull olika experiment med bentonit med sikte på att besvara de mest kritiska frågorna, bl a de som behandlar vattenupptagningen och svällningen och tätningen av mellanrummet mellan berget och den perforerade behållaren samt distansblocken mellan behållarna. Risken för erosion av bentoniten under och efter deponeringen är en annan kritisk fråga. Simulering av driftförhållanden för två behållare och mellanliggande distansblock har studerats i skala 1:10. Resultaten har visat att bentoniten sväller genom perforeringen och att det erforderliga svälltrycket uppnås.

Termiska beräkningar har utförts av både SKB:s konsulter och Posivas konsulter. I rapporten redovisas resultaten för olika utformningar av behållare, spaltutformning samt bentonitens värmeledningsförmåga. Vidare redovisas resultatet för den bästa utformningen för fallet med en 1700 W kanister. En ändring av ledningsförmågan i berget från 2,4 W/mK till 3,2 W/mK leder till ett ökat centrumavstånd för behållarna på i det närmaste 3 m för det fall maximala kanistertemperaturen är 80 °C. Bergmassans värmeledningsförmåga samt den initiella temperaturen i bergmassan har stor betydelse för bestämningen av centrumavståndet mellan

kapslarna. Vidare har beräkningsresultaten visat att kopparkapselns och stålbehållarens emissionsförmåga är av stor vikt för att rätt beräkna värmeövergången i spalterna mellan kapsel/bentonit och bentonit/ stålbehållaren.

SKB har låtit en internationell expertgrupp granska och lämna synpunkter på KBS-3H-konceptet. Gruppen fann att konceptet är ett genomförbart alternativ till KBS-3V och att den långsiktiga säkerheten kan uppnås. Gruppen identifierade viktiga frågor som SKB underhand tagit upp och studerat och utvecklat. De viktigaste är:

- Termiska egenskaperna hos bergmassan före deponering
- Detaljerade termiska analyser
- Tätningskapaciteten, risken för kanalbildning och erosion av bentoniten
- Behov av lågt pH cement för tätningar och pluggar
- Gasbildning och gasmigration, kemiska och fysikaliska effekter från korrosion av stålbehållaren

I Äspölaboratoriet kommer SKB att genomföra en demonstrationsanläggningen för KBS-3H på nivå -220 m. Kärnborring har utförts med tre borrhål i samma riktning som för de tre deponeringshål som kommer att borraras.

Sammanfattningsvis konstaterar SKB att arbetet med säkerhetsanalysen har inletts med Posiva som huvudansvarig organisation och Olkiluoto som referensplats. Den internationella utvärdering av KBS-3H-konceptet som genomfördes 2003 gav ett positivt resultat. Det bergtekniska underlaget för demonstrationsanläggningen för KBS-3H i Äspölaboratoriet genomfördes som planerat 2003. Arbetet med demonstrationsanläggningen bedrivs och rapporteras stegvis. En utvärdering av projektet kommer att ske år 2007.

Enligt författaren kan en ytterligare bedömning av KBS-3H-metoden i nuvarande skede göras först efter det att det nu inledda fältförsöket har genomförts. Om SKB kan demonstrera att långa raka hål kan borraras och behålla sin stabilitet under deponeringsperioden och att metod för återtag finns och kan demonstreras har KBS-3H-metoden en stor potential.

3 Utvärdering av innehållet i tekniska rapporter

Utredning rörande tillträdesvägar till djupförvarets deponeringsområden – Schakt eller ramp? SKB Rapport R-03-11.

SKB redovisar i rapporten resultaten av ett projekt som haft arbetsnamnet 'Tillträde till djupförvarets deponeringsområden'. I **Förordet** till rapporten beskriver SKB hur arbetet har organiserats och genomförts. Projektledare har varit Göran Bäckblom (Conrox) och för genomförande av projektet har SKB använt egna medarbetare samt externa konsulter inom olika specialiteter. Rapporten har granskats av Harry Larsson (Rox AB) samt Prof. Pekka Särkkä (Concave Oy). Delar av projektet har genomförts i samarbete med ANDRA i Frankrike och Posiva i Finland. Målet för projektet har varit att ta fram underlag för samt jämföra olika principella lösningar för tillträde till det kommande slutförvarets deponeringsutrymmen. I rapporten lämnas också principiella förslag till lämpligaste utformningarna av tillträdesvägarna till ett slutförvar vid platserna för pågående platsundersökningar i Forsmark och Simpevarp. Tilläggas skall att projektledaren Göran Bäckblom hade ansvaret för anläggningen och uppstarten av Äspölaboratoriet. Han har därför lång och praktisk erfarenhet av utbyggnad och drift av en undermarksanläggning med spiraltunnel och kombinerat person- och materialschakt. I samband med byggandet av Äspölaboratoriet genomfördes också ett undersökningsprogram för karaktärisering av bergmassan kring rampen och det kommande försöksområdet.

Det finns i princip tre olika sätt att ordna kommunikationen mellan markytan och det kommande slutförvaret på 400-700 m djup som SKB redovisar i **Kapitel 2**. Det första är en ramp som med en bestämd lutning drivs rakt eller i spiral ner till förvaringsområdet. Det andra är att med vertikala schakt ordna kommunikationen mellan markytan och förvarsutrymmet och det tredje sättet är att kombinera de två metoderna. Fyra alternativa förslag av totalt sju stycken ha studerats mer i detalj :

5. U2. Ramp med två separata driftområde på markytan och med kommunikationsschakt mellan undermarksdelen och markytan, kallat rak ramp
6. U3. Ramp med driftområde på markytan och med kommunikationsschakt mellan undermarksdelen och markytan, kallat spiralramp
7. U4. Ramp med ett eller två separata driftområden på markytan och med kommunikationsschakt och skipschakt för transport av bergmassor mellan undermarksdelen och markytan. Skipschaktet sänks parallellt med att rampen byggs, kallat ramp med sänkschakt
8. U5. Ingen ramp. Separata schakt för tunga transporter, för lätta transporter, för ventilation och masstransporter av berg med mera (skipschakt), kallat schaktalternativet

De tre alternativ som uteslutits gäller dubbeltunnel utan kommunikationsschakt, tillträdesplacering upp- eller nedströms förvaret samt alternativ med tillträdesvägar på avstånd till deponeringsområden som ansluts via en tunnel på deponeringsnivån. Förslaget med dubbeltunnel har tidigare rekommenderats i förstudien för ett slutförvar i Forsmark men utesluts i denna utredning.

I **avsnittet 2.2** av utredningen med rubriken 'Alternativa anläggningsmetoder' sägs att referensutformningen bygger på att tillfartsvägar och deponeringsområden anläggs med traditionell teknik för borrhning och sprängning men att SKB avser att närmare studera förutsättningar för mekanisk avverkning med fullortsborrning eller fräsande brytning. Det

bedöms viktigt att SKB fortsätter att studera alternativen med fullortsborrning eller fräsande brytning eftersom dessa metoder ger den i särklass minsta skadezonen (EDZ). Nackdelen med fullortsborrning av spiralramp är den relativt sett stora radie som krävs vid varje omböjning i rampen. Fördelen med stor radie är att transportererna kan ske lättare och säkrare.

Transporterna i rampalternativen förutsätts ske med gummihjulsburna fordon. Det är ett transportsätt som SKB idag använder för transporter vid SFR i Forsmark. Transporter med tåg i ramp behandlas inte i utredningen på grund av höga investeringskostnader och låg flexibilitet. När det gäller transporter i schakt redovisas i utredningen olika speltyper för hissar samt utformning av gejdrar. Dubbeltrummespel redovisas som den mest lämpliga speltypen för transporthissen för transportbehållaren med kapseln. Totalvikten för hisskorg, kapsel och transportbehållare uppgår till hela 143 ton. I utredningen rekommenderas en hiss med blockat dubbeltrummespel för att klara den tunga lasten. Risken med den tunga hisstransporten redovisas och diskuteras senare i denna granskning. I avsnittet som behandlar transporter redovisas kortfattat de två okonventionella transportsystemen magnetsvävare och pneumatiska rörpostsystem. Ingen av dessa system bedöms vara realistiska alternativ till gummihjultransporter i ramp och linspel i schakt.

I utredningens **Kapitel 3** redovisas gruv- och mineralbranschens och kärnavfallsindustrins val av tillträdesvägar för sin verksamhet. När det gäller gruv- och mineralindustrin är det ramper som är den helt dominerande metoden för att nå driftområden under jord. I Sverige och Finland sker mycket få schaktsänkningar, vilket också innebär att det finns relativt sett begränsad inhemsk kunskap och erfarenhet av schaktsänkning. Detta är en viktig aspekt vid valet av metod att utforma tillträdesvägarna till deponeringsområden för underjordiska kärntekniska anläggningar i Finland och Sverige.

När det gäller tillträdesvägarna för hanteringen av radioaktivt avfall redovisas i utredningen erfarenheter och metodval i Finland, Frankrike, Storbritannien, Sverige, Tyskland och USA. I Finland har Posiva valt att driva ramp som huvudsaklig tillträdesväg för den underjordiska försöksanläggningen ONKALO som senare planeras att ingå som en del i slutförvaret. Posiva har dock hiss som huvudförslag för transporten av kapslarna till deponeringsområdet. Hisstransporten planeras ske utan strålningsskyddande transportbehållare. Vid det underjordiska laboratoriet i Bure i Frankrike sänks för närvarande två schakt till det kommande försöksområdet på ca 500 m nivå. ANDRA genomför också utredningar om stötdämparmetoder för att bromsa upp ett fritt fall av avfallskapsel och hisskorg i bergschakt. I Storbritannien har Nirex urformat en referensanläggning för ett slutförvar som har både berg-och transportschakt, ventilationsschakt och ramp. Förslaget liknar i flera avseenden förslaget U4 i SKB:s utredning. För Sverige redovisas SKB:s anläggningar med följande lösningar:

- CLAB – en tillfartsramp för personal, berg och materialtransporter samt hisschakt för transport av bränsleelementen
- SFR – två parallella ramper varav en för bergtransport vid ev utbyggnad
- Äspölaboratoriet – kombinerad rak ramp och spiralramp från Simpevarphalvön till Äspö samt person-och materialschakt från ovanjordsanläggningen ner till försöksområdena under jord

I det slutliga valet av tillfartsvägar för ett kommande slutförvar så är det naturligt att tillmäta stor vikt till SKB:s erfarenhet av att driva rak ramp och spiralramp samt vertikalt fullortsborrade schakt med eller utan senare utstrossning till full diameter. Detta är dessutom beprövat och väl känd teknik hos nordiska konsulter och entreprenadföretag.

I saltformationen vid Gorleben i Tyskland har man drivit två schakt till djupen 840 och 933 meter. Dessutom har man byggt ett hisspel som är dimensionerat för 85 ton men som ännu inte installerats eller testats i något av schakten. Vid det planerade slutförvaret av utbränt kärnbränsle i Yucca Mountain i USA har man drivit en 8 km lång fullborrad tunnel med diametern 7,6 meter i vulkaniska tuffbergarter. Slutförvaret för transuranier WIPP i New Mexico har anlagts i saltbergarter på ca 650 meters djup och har fyra schakt, ett för avfallstransporter, ett för bergtransporter samt två ventilationsschakt.

SKB redovisar i tabellform (Tabell 3-1) de olika ländernas lösningar på tillfarter till anläggningarna samt de viktigaste styrande frågorna för valet av respektive lösning. I ett försök att sammanfatta situationen för de länder som har kärntekniska underjordsanläggningar eller planerar tillfartsvägar till ett djupförvar så gäller i dagsläget att anläggningar i sedimentära bergarter har utförts eller planeras att utföras med schakt. För anläggningar i hårda bergarter utformas anläggningarna företrädesvis med kombination av ramp och schakt.

I utredningens **Kapitel 4** redogör SKB för förutsättningarna vid jämförelse av alternativa utformningar. Förutom att säkerhets- och miljökrav måste uppfyllas skall arbetet med ett slutförvar bedrivas kostnadseffektivt och flexibelt, med få störningar och möjligheter att anpassa lösningar till nya krav och förutsättningar som kan komma att ske i en framtid. Dessa överordnade förutsättningar innebär en stegvis utbyggnad och drift och en utvärdering inför varje nytt steg. Till de övergripande förutsättningarna hör också att anläggningen utformas så att den klarar ett öppethållande upp till 100 år. I rapporten lämnas ett utdrag ur de övergripande konstruktionsförutsättningarna för ett slutförvar enligt KBS-3-systemet som redovisas i SKB-R-02-44 (SKB, 2002). De viktigaste dimensionerande vikterna på ingående komponenter och geometrierna är:

- Kapselns vikt med transportbehållare och transportvagn, 85 ton
- Hisskorg med kapsel, transportbehållare och transportvagn, 143 ton
- Skip för bergmassor, återfyllnadsmaterial, betong mm., 15 ton
- Hisskorg med storlek att rymma en standardcontainer, 20 fot
- Hiss för persontransporter, 20 personer
- Rampens lutning genomsnittligt, 1:10
- Ramplängd ca 5000 m
- Rampens höjd och bredd, 7 x 7m; vid mötesplats 12 x 7m
- Rampens area, 47 m²
- Totala berguttaget i rampalternativet, 1,8 millioner verkligt fasta kubikmeter, vfm³
- Totala berguttaget i schaktalternativet, 1,6 millioner verkligt fasta kubikmeter, vfm³
- Bergarbeten sker i tvåskift fem dagar i veckan, totalt 72 timmar/vecka och 46 veckor/år
- Framdrift i ramp 100 m/månad vid 20% extratid för injekteringsarbeten
- Total byggtid för deponeringsdjup 500 m är 40 år för både ramp- och schaktalternativet

SKB redovisar i diagramform det årliga berguttaget för ramp- och schaktalternativen vid en planerad start för bergarbetena 2009 och en första deponering 2019. I bägge alternativen sker en topp i berguttaget kring åren 2013-2014 i samband med att centralområdet kommer att sprängas ut. Det kan ifrågasättas om transportapparaten i rampalternativet och schaktalternativet måste ges en så stor kapacitet för att forcera utsprängningen av centralområdet och deponeringsområde 1 under dessa år. I Tabell 4-2 lämnas en översikt av transporterade mängder i olika skeden av utbyggnaden. För bergtransporter anges 440, 50 och

90 vfm³ för skedena förberedelse för inledande drift, inledande drift samt reguljär drift. I Tabell 4-3 lämnas beskrivning av transporttider för olika typer av hissar och material. För skipschaktets hiss anges en kapacitet av 108 vfm³/tim. Om ett skift räknas som 8 timmar innebär det en kapacitet av 864 vfm³/skift. Med en beräknad utnyttjandegrad av 70% över dygnet innebär det en verklig kapacitet av 605 vfm³/skift vilket motsvarar en överkapacitet på mer än 37% hos skipschaktet under förberedelserna för inledande drift. Denna överslagsberäkning visar att dimensioneringen av skipschaktet är teoretiskt tillfyllest för att hantera bergtransporterna. Transport av återfyllningsmaterial har uppskattats till 180 vfm³/tim vilket den föreslagna skippen klarar med bred marginal.

I **avsnittet 4.6** 'Detaljundersökningar' anger SKB att man oavsett ramp eller schakt avser komplettera de geologiska platsundersökningarna under genomförande av anläggningsarbetena och att dessa undersökningar för rampalternativet genomförs på liknande sätt som skedde i samband med rampdrivningen för Äspölaboratoriet, dvs sonderingsborring med överlappning, kartering av geologi och vatteninläckning samt bergmekanisk dokumentation. SKB bör redovisa planerna för de kompletterande platsundersökningarna i samband med eller direkt efter redovisningen av resultaten från de kompletta platsundersökningarna. SKB har uppfattningen att vid spiralramp är det eventuellt möjligt att påbörja detaljundersökningar av centralområdet och deponeringsområdet från högre liggande nivåer under rampdrivningen. I de preliminära planer och skisser över spiralramp och schaktlägen som SKB redovisar är spiralrampen utformad som en symmetrisk spiral med konstant längd på rampdelarna mellan varje kurva. SKB bör även ta ställning till om spiralrampen kan ges olika långa rakdelar för att undvika passage av kritiska svaghetszoner i berget eller för att nå intressanta områden varifrån detaljundersökningar av centralområdet eller delar av deponeringsområdet kan ske.

Tidplaner och kostnader redovisas i utredningens **avsnitt 4.4**. Tid och kostnader för genomförande av såväl ramp- som schaktalternativen är starkt beroende av bergmassans kvalitet och vattenläckaget under drivningen. För rak ramp räknar SKB med en framdrift av 85 m/månad. För spiralramp räknar SKB med en något större framdrift, 90 m/månad. Hiss- och ventilationsschakten i rampalternativet tillreds så fort som möjligt för att få bra miljö i tunnarna och få alternativa utrymningsvägar. Hisschaktet planerar SKB tillreda genom vertikal fullortsborring och utstrossning medan ventilationsschakt tillreds med vertikal fullortsborring (raise-boring). I alternativet med spiralramp tillreds hiss- och ventilationsschakten successivt vartefter spiralrampen sprängs ut. Det är inte klart utsagt i i detta avsnitt av utredningen att sättet att driva schakt och spiralramp samtidigt kräver förbindelseorter mellan ramp och schakt vid olika schaktdjup. Detta görs senare i utredningens avsnitt 5.3. För berganläggningen i ONKALO i Finland drivs för närvarande schakt och tunnel parallellt. För schaktalternativet förutsätts att både skipschakt och driftsschakt sänks samtidigt med en antagen sänkhastighet av 45 och 35 m/månad för respektive schakt under torra förhållanden och en minskning till 40 och 30 m/månad i det fall injektering krävs.

I **avsnittet 4.7.4** redovisar SKB sin syn på tillsynsprocessen. Ansökan om drifttillstånd, som innebär att de drifttekniska säkerhetsföreskrifterna är godkända av SKI, kommer att inges innan den inledande driften påbörjas. SKB förutsätter här att detaljundersökningarna som utförts under drivning av schakt och ramp, och som redovisas löpande till SKI, verifierar resultaten av platsundersökningarna och säkerhetsanalysen. SKB räknar något optimistiskt med att tillstånd för deponering kan erhållas bara tre månader efter sista redovisningen av undersökningsresultaten lämnats till myndigheterna.

Rapportens **Kapitel 5** har rubriken 'Utformning av alternativ med teknisk beskrivning av genomförande, drift och förslutning'. De två första avsnitten i kapitlet beskriver utformningen av ramper och schakt med sina installationer. Dessa avsnitt innehåller bra beskrivningar av känd teknik samt väl avvägda motiveringar för olika teknikval med undantag av tunga transporter i schakt. Av speciell vikt att belysa när det gäller säkerheten i rampalternativet är införandet av brandväggar och brandportar vid mötesplatserna på ett inbördes avstånd av ca 1000 m. De sex portarna och tillhörande betongväggar med brandspjäll skall förhindra spridningen av brand- och rökgaser. Vid ett ev. brandlarm stängs dörrar och spjäll automatiskt och personal som befinner sig i en sektion när brand eller rökutveckling sker, kan ta sig en räddningskammare som kommer att placeras vid varje mötesplats. I utredningen refereras till en svensk utredning från 1984 som behandlar fordonsbränder i gruvor och andra underjordsanläggningar. I kommande redovisningar av SKB:s utformningar av ramper och schakt bör brandrisken och säkerhetsfrågor i samband med brand ägnas särskild uppmärksamhet.

När det gäller utformningen av schakt med dess installationer är det speciellt frågan om driftschaktet och dess utformning som kräver en speciell kommentar. Driftschaktet är avsett för tunga transporter, först och främst transportbehållare med kapsel och en strålskyddad behållare samt transportfordon med en total vikt av 85 ton. Denna last kräver en hisskorg som beräknas väga 58 ton så att den totala vikten utan linor för hisspelet blir hela 143 ton. Driftschaktets diameter har planerats bli 8,5 meter och djupet ca 520 m. Den största risken med driftschaktet är linbrott och fritt fallande hisskorg med transportbehållare. För att bromsa in en fritt fallande hisskorg med last föreslås installation av stötdämpare i form av en aluminiumkonstruktion i botten av schaktet efter en modell som idag tillämpas i fronten på franska snabbtåg. Även om hissens hastighet bara kommer att bli 2 m/s är dess utformning, drift och säkerhet en alldeles för stor teknisk utmaning för SKB. I Gorleben, Tyskland har man provat ut ett hisspel för 85 ton nyttig last, men ännu inte installerat och testat det. I rapporten nämns inte heller några andra exempel och tillämpningar av tung hissteknologi för transport av högriskmaterial.

Rampalternativet enligt SKB innehåller också hiss- och ventilationsschakt och i utredningen redovisas ett hisschakt med dubbla hissar och installationer för vatten och bergdränage, diameter 5,5 m. Vidare ett tilluftsschakt utan installationer, diameter 3,5 m, och ett frånluftsschakt med kablar för elkraft, tele och data. För både ramp och schaktalternativet kommer dessutom att anordnas ett ventilationsschakt till deponeringsområdet för reguljär drift. Sammantaget blir det för spiralrampalternativet 4 schakt.

Projekteringsprocessen vid olika alternativ redovisas i **avsnitt 5.3**. Här poängteras att olika alternativ kräver olika uppläggning av projekteringen. Det framgår emellertid inte av utredningen huruvida samtliga fyra alternativa lösningar U2-U5 kommer att prövas och ställas mot varandra i projekteringsarbetet för respektive plats, Forsmark och Laxemar. Projekteringen av schaktalternativet kommer att vara mest tidskrävande eftersom dimensioneringen av hissarna för de olika transporterna styr dimensionerna på schakten. Spiralramp och schakt kräver också lång tid för projekteringen eftersom avsikten är att driva hisschakten samtidigt med rampen och ordna förbindelserna mellan rampen och schaktlägena. Om SKB i tillägg kommer att driva rampen med TBM-teknik och anpassa rampdrivningen till de geologiska förhållandena samt eventuellt driva rampen så att information om centralområdet och driftsområdena kan inhämtas kräver detta extra tid och resurser. SKB hävdar med rätta att den raka rampen har flest frihetsgrader beträffande placering och utformning och bör inte kräva samma omfattande projektering som de övriga alternativen.

Avsnittet 5.4, som behandlar detaljundersökningar i samband med projekteringen, är mycket allmänt och översiktligt. Det är viktigt att SKB redovisar undersökningsmetodik och strategi för genomförande av detaljundersökningarna för de olika alternativen U2-U5, senast i samband med redovisningen av resultaten av de detaljerade platsundersökningarna.

Avsnittet 5.5 i utredningen behandlar 'Anläggningsmetoder'. SKB inleder avsnittet med att konstatera att rak ramp kan anläggas med konventionell borrhning-sprängning eller med TBM-borrhning. SKB rekommenderar utlastningsanordning med friktionsdrift (RHS-metoden) och en minsta kurvradie på 300 meter. SKB redovisar också för- och nackdelar med TBM-tekniken och kommer till slutsatsen att TBM-borrhning med stor sannolikhet inte är användbar för alternativet med spiralramp "eftersom spiralrampen planeras få snävare kurvor, än vad TBM-borrhning tillåter." (cit. p.49). Det är ställt utom allt tvivel att kurvradien hos spiralrampen kan ökas och att längden på de raka avsnitten i spiralen kan göras längre för att medge användning av TBM-tekniken vid rampdrivningen. Vidare kan resultaten från platsundersökningarna visa att det är en fördel att minska antalet kurvor i spiralen och göra de raka avsnitten längre. Vidare ger TBM-borrhning av rampen en god övning inför eventuell tillämpning av TBM-teknik vid tunneldrivningen i central- och deponeringsområdet. Skadezonens utbredning och konsekvenserna för säkerheten vid konventionell borrhning-sprängning och TBM diskuteras inte i utredningen. Det är således för tidigt att avföra TBM som möjlig och lämplig teknik vid anläggning av spiralramp.

Schaktsänkning med borrhning och sprängning samt vertikal fullortsborrhning är väl känd teknik och ges en god beskrivning i utredningen. SKB gör också en riktig bedömning när det gäller att undvika metoden med sänkschakt med mekanisk avverkning i hårt berg.

Avsnitt 5.6 beskriver drift av anläggningen för ramp- och schaktalternativen. Det är ställt utom allt tvivel att rampalternativet ger en långt bättre flexibilitet för transporter av maskiner och utrustning samt deras underhåll. Vidare krävs långt mindre förrådsutrymmen och utrymmen för service och underhåll under jord. Schaktalternativet kräver en mycket detaljerad planering av logistiken för anläggning och drift av slutförvaret. I detta avsnitt av utredningen lämnas också detaljerade råd och anvisningar för att undvika fordonsbränder och kollision i ramper samt bränder och fall i schakt.

Utredningens **Kapitel 6** behandlar metodik och mål för optimering. SKB redovisar och diskuterar inledningsvis metodiker för optimering samt mål som kan vägas in vid optimeringen och konstaterar att valet av schakt eller ramp tillhör kategorin medelsvårt till komplext beslut. Den optimeringsmetodik som man utvecklat innehåller 8 steg där varje steg motsvarar en aktivitet med tillhörande kommentarer för valet av schakt eller ramp, Tabell 6-1. Det andra steget i optimeringsprocessen gäller de mål som önskas uppnås och innehåller frågor om förvarets långsiktiga säkerhet, kärnsäkerhet, arbetsolyckor, omgivningspåverkan, tidsplaner, kostnader, effektivitet, flexibilitet och risker. Vart och ett av dessa mål som önskas uppnås redovisas i rapporten och refererar i många fall till gällande nationella och internationella riktlinjer och bestämmelser. I nästa steg i processen identifieras de fyra alternativen U2-U5 och i följande steg samlas information så att alternativen kan jämföras. Detta kan tolkas på så sätt att SKB avser behandla och jämföra samtliga fyra alternativ för var och en av platserna Forsmark och Laxemar för att i nästa steg utvärdera alternativen i förhållande till de satta målen med användning av en enkel skala med plus och minus. I steg 6 görs en totalbedömning och i det fall två alternativ förefaller likvärdiga bedöms de ånyo med särskild hänsyn till långsiktig säkerhet, arbetsolyckor samt omgivningspåverkan. Som ett sista steg i den utvecklade optimeringstekniken upprättas ett MIFU-dokument (Motiv För Utformningen) enligt SKB:s kvalitetssystem för spårbarhet och transparens av beslut.

Sammanfattningsvis har SKB redovisat en relativt enkel optimeringsmetodik för komplexa beslut med specifika kommentarer för valet av schakt eller ramp som tillträdesvägar till slutförvarets deponeringsområden. Metodiken bedöms tillämpbar och upprättande av MIFU-dokument gör att besluten om schakt eller ramp kan spåras i SKB:s kvalitetsdokument. Ännu saknas dock en fullständig och systematisk riskanalys för de olika alternativen.

I **Kapitel 7** i utredningen görs en jämförelse av alternativen i förhållande till uppställda mål. I utredningen reser SKB två frågor beträffande valet av ramp eller schakt.

- Har det någon betydelse för långsiktig säkerhet om schakt eller ramp väljs?
- Har det betydelse om tillträdesvägar (schakt eller ramp) till deponeringsområden placeras ”uppströms” eller ”nedströms” förvaret vid kustnära placering av slutförvaret.

SKB anger tre former av kemisk påverkan på förvaret som kan ha betydelse för hur tillfartsvägarna placeras och drivs, nämligen tillförsel av yt- och grundvatten under driftsskedet, tillförsel av syre under drift och efter förslutning samt tillförsel av främmande element i form av byggnadsmaterial och kvarglömda material. För var och en av formerna för kemisk påverkan diskuteras processer, resultat av utförda simuleringar samt kvantiteter av olika föroreningar. SKB hävdar att den bergförstärkning som kommer att utföras i ramp och schakt och tillskottet av dess föroreningar kommer att befinna sig på så långt avstånd från deponeringsområdena att den med säkerhet inte kommer att påverka processerna i deponeringsutrymmena. Det återstår för SKB att med analytiska eller numeriska metoder och modelleringar visa att så blir fallet. SKB:s allmänna slutsatser beträffande kemiska aspekter är realistiska, nämligen att det är en säkerhetsmässig fördel att minimera mängden uttaget berg i förvaret och att schaktalternativet ur den synpunkten är det mest lämpliga. När det gäller den säkerhetsmässiga skillnaden mellan placering uppströms eller nedström delas uppfattningen med SKB att denna faktor har ringa betydelse för de kemiska aspekterna.

SKB har gjort en relativt omfattande utredning av effekterna på eventuell nuklidtransport efter förslutningen och har bl a beräknat tiderna för transport från förvaret till markytan, nuklidtransport vid försämrade återfyllning av transportvägarna samt inverkan av klimatrelaterade förändringar. Utredningen visar att det kan vara en viss fördel att placera tillfartsvägarna uppströms förvaret med hänsyn till radionuklidtransporten och att en spiralramp har bästa förutsättningarna att fördröja transport. Vidare visas att valet av schakt eller ramp inte har någon betydelse för radionuklidtransporten om återfyllningens transportmotstånd är lika lågt som det omgivande berget. Inverkan av de platsspecifika faktorerna som sprickgeometri, genomsläpplighet i sprickor och svaghetszonernas läge och orientering är viktigast för denna fråga och kan bedömas först efter det att resultaten från platsundersökningarna föreligger.

När det gäller de klimatrelaterade förändringarna bestäms de bl a av hur länge tillfartens mynning befinner sig nära strandlinjen, närvaron av konduktiva zoner och topografin. Vad gäller inverkan av topografin kommer ett kommande slutförvar i Forsmark och Laxemar att befinna sig i områden med relativt jämn topografi. SKB:s uppfattning delas när det gäller den ringa betydelsen valet av schakt eller ramp har då förvaret ligger under havsytan samt behovet av att ytterligare utreda de hydrauliska randvillkoren, grundvattentryck eller hydrauliska gradienter under en inlandsis och deras betydelse för valet av tillträdesvägar till deponeringsområdet. Vidare delas SKB:s sammanfattande bedömning att utan tillgång till platsspecifika data från Forsmark och Laxemar går det inte att klart utsäga att något av

alternativen U2-U5 är att föredra med hänsyn till den långsiktiga säkerheten, klimatförändringar eller i det fall återfyllningens funktion försämras.

Avsnittet 7.2 i utredningen behandlar arbetsolyckor under byggande, drift och förslutning. I samarbete med Posiva har SKB låtit utföra en mindre undersökning av olycksfall och dödsfall i ramper och schakt i Finland, Kanada, Norge, Sverige, Sydafrika och USA, d v s i länder med liknade geologiska förutsättningar som Sverige. Frekvensen olycksfall och dödsfall per arbetade timmar under jord redovisas. SKB gör en sammanfattande bedömning av olycksfall och risker med de olika alternativen med schakt och ramp. Här sammanfattas de viktigaste:

- Fler olyckor vid schaktsänkning än vid rampdrivning: kärnavfallsindustrin har hittills drabbats av tre dödsfall i samband med schaktsänkning (Gorleben, Bure och WIPP)
- Olycksfall har högre frekvens i anläggningar med ramp än med schakt
- Förbyggande underhåll och kontroller är bättre för schaktalternativet
- Rak ramp ger god sikt men är farligare i samband med förlorad kontroll av fordon
- Alternativet ramp med sänkschakt och berghiss medför minskade transporter, minskad risk för fordonsolyckor och brand.

SKB har i samarbete med Øresund Safety Advisers AB genomfört en föredömlig studie av risk för brand och utveckling av brand i tunnlar. Studien har genomförts med felträdsanalys och har baserats på statistiska data från olika källskrifter och redovisar frekvenser av bränder, resultat av brandutveckling genom dynamisk simulering samt bedömning av konsekvenserna av brand i en ramp. I den avslutande bedömningen konstaterar SKB att eldrift av truckar har vissa fördelar gentemot dieseldrift ur brandsynpunkt. Vidare att ur brandsynpunkt finns det smärre fördelar med spiralramp eftersom risken för kollisioner till följd av tappad kontroll är mindre och utrymningsvägarna i spiralrampen är kortare.

I **avsnittet 7.5** redovisar SKB totalkostnader för de olika alternativen, räknat som nuvärde vid tidpunkten för planerad byggstart den 1 januari 2009. SKB framhåller att kostnadsöversikten innehåller stora osäkerheter. Det billigaste alternativet visar sig vara schaktalternativet U5, totalkostnad 550 milj. kr, följt av alternativet med ramp och sänkschakt U4, totalkostnad 870 milj. kr samt slutligen rampalternativen U2 och U3, totalkostnad 1 850 milj. kr. Den höga kostnaden för alternativen U2 och U3 hänger samman med den mycket längre byggtiden samt fördyrade driftskostnader (Tabell 7-7). SKB har i sin kostnadsanalys använt besluts-och händelsesträd för bedömning av ekonomiska konsekvenser genom val av olika alternativ. Det exempel som redovisas är bra och överskådligt och innehåller även konsekvenserna av att CLAB behöver byggas ut om tidsplanen för anläggningsarbetena blir för utsträckt.

Anläggningstider för de olika utformningarna samt ett preliminärt exempel på tidspanellogik för alternativet spiralramp med samtidigt anläggande av sänkschakt, U4, redovisasas i **avsnitt 7.2**. Ett utdrag av beräknat tidsomfång för anläggning av de olika alternativen i det fall byggstart kan ske 1 januari 2009 är följande:

- | | |
|--|-----------------|
| • Rak ramp, alternativ U2 | 8 år, 5 månader |
| • Spiralramp, alternativ U3 | 8 år |
| • Spiralramp med sänkschakt, alternativ U4 | 6 år, 9 månader |
| • Schakt, alternativ U5 | 6 år, 9 månader |

Den betydligt längre byggtiden för rampalternativen utan sänkschakt leder till den högre kostnaden för dessa bägge alternativ. Av den redovisade preliminära tidsplanen för alternativ

U4 framgår att utsprängningen av spiralrampen och hisschaktet samt drivning av ventilationsschaktet beräknas ta 4,5 år och utsprängningen av skipschaktet 2 år. Myndighetsgranskningen av detaljundersökningsresultaten löper hela tiden från början på det andra året av anläggningsarbetena fram till starten av deponeringen. Den totala anläggningstiden för alternativ U4 är 6 år, 9 månader.

I rapportens **avsnitt 7.7** redovisar SKB ett antal faktorer som inryms i begreppet flexibilitet. SKB gör här bedömningen att en ramp ger större flexibilitet än ett schakt och i utredningen utvecklar man påståendet under följande rubriker och i denna redovisning med en kort sammanfattning av de viktigaste argumenten:

- *Platsanpassning*
Rak ramp har stor flexibilitet men nackdelen att alla transporter måste ske i ramp
- *Undersökningar under bygg- och drifttid*
Ramp ger bättre undersökningsmöjligheter. Schakt drivs i bra berg
- *Tunga transporter*
Om krav på tunga transporter ändras är det en nackdel för schaktalternativet
- *Servicetransporter*
Ökad frekvens av servicetransporter kan lätt klaras av i ramp
- *Personaltransporter*
Vid schaktalternativ måste det finnas god transportservice på deponeringsnivån
- *Onormala drifttillstånd*
Ramp get bättre möjlighet att åtgärda onormala drifttillstånd (bergras, brand etc.)
- *Upphandlingar*
Krav på utländska entreprenörer vid schaktsänkning med begränsad erfarenhet av integrerade bergundersökningar i samband med schaktsänkningen
- *Förändrade krav*
Ramp är fördelaktigare för möjliga förändringar om ökat strålskydd, större/tyngre kapsel och ev. ökad frekvens av transporter än planerat, 1 kapseldeponering/dag.
- *Teknikutveckling*
Svårt att bedöma möjlig och tillämpbar teknikutveckling i framtiden. Ökad automatisering ger viss fördel åt schaktalternativet.

Avsnittet 7.8 om projektrisker är kortfattat, delvis av det skäl att någon egentlig riskanalys inte har skett av de olika alternativen. SKB bör uppmanas att inleda arbetet med riskanalys för de olika alternativen för att ha såväl metodik som delresultat klara när det egentliga projekteringsarbetet startar för de olika platserna. Möjliga och sannolika projektrisker kan få avgörande betydelse för valet av alternativ och eventuell modifiering av dessa.

SKB gör en sammanfattande bedömning motsvarande steg 6 i sin upprättade optimeringsmetodik för komplexa beslut för valet av schakt eller ramp (Tabell 6-1). Här konstaterar SKB att man kan bygga och driva ett slutförvar med både ramp och med schakt där rampens fördelar anges vara bättre flexibilitet och säkrare arbetsgenomförande. I denna granskning delas SKB:s uppfattning att rampalternativet är enklare att projektera, bygga och driva och dess flexibilitet är av mycket stort värde. En ytterligare faktor som talar för rampalternativet, men som inte nämns i utredningens sammanfattande bedömning, är att SKB har erfarenhet av rampdrivning från sina nuvarande berganläggningar och att nordiska entreprenörer har erfarenhet av den tekniken men praktisk taget saknar erfarenhet av djup schaktsänkning och schaktdrivning med undantag av vertikal fullortsborrning.

I den sammanfattande bedömningen av alternativen i förhållande till de uppsatta målen (Tabell 7-9) dvs. låg stråldos, inga olyckor under bygge och drift, låg omgivningspåverkan,

hushållning med resurser, låg total kostnad, kort genomförandetid, hög flexibilitet och små projektrisker vinner alternativet ramp och sänkschakt enligt alternativ U4.

I denna granskning av rapporten delas inte SKB:s uppfattning i kommentaren till målet ”Inga olyckor under bygge och drift” i Tabell 7-9, där det uttrycks att både schakt- och rampalternativ ger hög säkerhet vid transport av kapsel. Den mycket tunga transportanordningen av kapsel i hiss bör betraktas som en säkerhetsrisk och särskilt mot bakgrund av att någon säker teknisk lösning att klara uppbromsningen av en 143 ton tung hisskorg med transportbehållare och kapsel med utbränt kärnbränsle i ett 520 meter djupt schakt inte projekterats, testats eller byggts.

Motiven för rekommenderad utformning av tillträdesvägarna till deponeringsområdena sammanfattas och redovisas i **Kapitel 8** i utredningen. SKB konstaterar att samtliga studerade huvudalternativ U2-U5 är genomförbara och säkra. Vid en jämförelse av alternativen bedömer SKB alternativet U4 med ramp och samtidig drivning av sänkschakt vara det mest fördelaktiga när det gäller säkerhet, miljö och tidsplan. Kostnaden är 100 miljoner kronor högre än för det billigaste alternativet med bara schakt men ca 600 miljoner kronor billigare än det dyraste alternativet med bara ramp. SKB förordar vidare en lösning med bara ett driftområde (spiralramp) eftersom detta ger en mer rationell drift. På tre rader avförs alternativet U5 (bara schakt) och alternativet U1 (dubbel tunnel) som möjliga alternativ om inte de platsspecifika förutsättningarna uppenbart föranleder att alternativen bör utredas vidare. Denna slutsats att avföra alternativet U5 kommer något överraskande i ett av de avslutande kapitlen i utredningen och utan närmare motivering. Exempelvis så erhåller schaktalternativet U5 samma poängtal i den sammanfattande bedömningen som alternativen med både rak ramp, U2 och spiralramp, alternativ U3.

SKB framhåller också att referensutformningen bygger på att rampen sprängs och att möjligheten att en rak ramp drivs med TBM-teknik utreds vidare. Efter denna granskning av utredningen föreslås att SKB även utreder möjligheterna att driva spiralramp med TBM-teknik.

Den avslutande bedömningen efter granskning av SKB:s utredning av de olika alternativen sammanfaller med SKI:s uppfattning att ramp och sänkschakt samt hisschakt och ventilationsschakt enligt alternativ U4 är det mest fördelaktiga alternativet av de som studerats och bör därför så långt möjligt tillämpas för att anlägga tillträdesvägarna till slutförvarets deponeringsområden. Att ett rent schaktalternativ avförs om inte särskilda platsförhållanden kräver detta är en uppfattning som delas med SKB efter denna granskning.

Choice of rock excavation methods for the Swedish deep repository for spent nuclear fuel, SKB rapport R-04-62.

I denna studie om alternativa metoder för bergguttag för slutförvarets olika tunnlar och berggrum redovisar SKB resultaten för de enskilda metoderna och deras tillämpningar på de olika bergobjekten samt gör en jämförelse av metoderna mot sex stycken uppställda mål vid starten av projektet. Resultaten som presenteras i rapporten bygger på ett antal studier som SKB genomfört i samarbete med ett antal inhemska och utländska maskinleverantörer och konsulter inom olika specialområden av bergbrytning. Några av SKB:s egna experter har också deltagit i studien och redovisningen av projektresultaten.

De olika bergbrytningsmetoderna har jämförts med hänsyn till förvarets långsiktiga säkerhet, arbetarskydd, drift och förslutning samt miljöpåverkan, tidplaner, kostnader, flexibilitet, risker

och möjligheter. Utvärderingen av de olika metoderna har skett med samma metodik – bästa tillgängliga teknik – som tidigare utvecklats och använts för utvärderingen av tillfartsvägar till slutförvaret. I rapporten reser också SKB frågorna ifall valet av brytningsmetod har inverkan på den långsiktiga säkerheten samt i vilken omfattning valet av brytningsmetod inverkar på utformningen av förvaret.

De olika bergbrytningsmetoderna har jämförts med hänsyn till förvarets långsiktiga säkerhet, arbetarskydd, drift och förslutning samt miljöpåverkan, tidplaner, kostnader, flexibilitet, risker och möjligheter. Utvärderingen av de olika metoderna har skett med samma metodik – bästa tillgängliga teknik – som tidigare utvecklats och använts för utvärderingen av tillfartsvägar till slutförvaret (SKB, 2003). I rapporten reser också SKB frågorna ifall valet av brytningsmetod har inverkan på den långsiktiga säkerheten samt i vilken omfattning valet av brytningsmetod inverkar på utformningen av förvaret.

Rapporten har som målsättning att ge ett transparent och gott faktaunderlag för att bedöma de föreslagna valen av brytningsmetoder för olika tunnlar och bergrum i slutförvaret. Som resultatet av denna granskning visar, har SKB uppfyllt målen med undantag av att det saknas en historisk översikt hur teknik- och metodval har utvecklats sedan de bergtekniska delarna av SKB-projektet började växa fram i mitten och slutet av 1990-talet.

Kapitel 2 i rapporten behandlar konstruktionen av ett slutförvar och ger en beskrivning av de olika bergavverkningsmetoderna som kan komma ifråga för ett kommande slutförvar. En generisk design av slutförvaret och dess olika delar presenteras och som i allt väsentligt bygger på resultaten av den tidigare studien om tillträdesvägar till slutförvaret (SKB, 2003). Den stegvisa implementeringen av slutförvaret presenteras bra och överskådligt i text och bild. Bland annat redovisas det generiska förslaget där skipschaktet sänks samtidigt med att spiralrampen drivs (Fig. 2-10). Senare i rapporten redovisar SKB en klar uppfattning att i det fall rampen drivs med TBM så leder det till en tidsbesparing som gör att schaktet kan komma att sänkas med stigortsborrning där de utborrade massorna transporteras till markytan med trucktransport i ramp.

I **avsnitt 2.3** redovisar SKB de tekniska metodvalen vad gäller borring och sprängning (BS), mekanisk bergavverkning samt slående borring. Text- och bildmaterialet som beskriver de olika bergavverkningsmetoderna är bra och till största delen hämtat från de underlagsrapporter som studien bygger på. SKB tillämpar sedan den framtagna BAT-tekniken och redovisar möjliga och bäst lämpade metoder för bergavverkning för var och en av utrymmena; ramp, centralområde, schakt, pilot-, transport och huvudtunnlar, KBS-3V deponeringstunnlar, deponeringshål samt KBS-3H deponeringshål/tunnel. Metodiken tillämpas för nio olika bergavverkningsmetoder:

10. Borrning och sprängning, (DB)
11. Tunnelborrningsmaskin, TBM
12. Vertikl stigortsborrning (V-RBM)
13. Horisontell stigortsborrning med dragning, (HD-RBM)
14. Horisontell stigortsborrning med tryckning, (HT-RBM)
15. Clusterborrning, (Wassara)
16. Nedåtgående upprymning för deponeringshål, (D-RBM)
17. Schaktborrningsmaskin för deponeringshål, (SBM)
18. Mobile Miner

Resultatet av SKB:s metodstudie vad gäller lämpligaste och möjlig alternativa bergavverkningsmetod för var och en av de olika delarna av slutförvaret kan sammanfattas på följande förenklade sätt:

Konstruktion	Huvudmetod	Alternativ
• Tillfartsramp	DB	TBM
• Centralområde	DB	
• Skipschakt	DB	TBM
• Övriga schakt	RBM	
• Huvudtunnel	DB	TBM
• Pilottunnel	DB	TBM
• Deponeringstunnel	DB	TBM
• Deponeringshål KBS-3V	D-RBM	SBM
• Deponeringstunnel KBS-3H	RBM	D-RBM, Wassara

I detta liksom tidigare projekt redovisar SKB borrning och sprängning som huvudmetod vad gäller bergavverkning för tunnlar, bergrum och sänkschakt. Av de underhandsrapporter om metoder som SKB kommer att lämna i sin ansökan om att få bygga slutförvaret kommer borrning och sprängning att anges som huvudsaklig brytningsmetod. För berguttaget av tunnlar och ramp har SKB valt att presentera TBM som ett alternativ till borrning och sprängning. SKB framhåller dock i denna rapport att TBM kan komma att bli huvudsakliga bergavverkningsmetoden för tunnarna i de fall goda till mycket goda bergförhållanden råder. Forsmark nämns som ett exempel där så är fallet. Det förutsätter dock att inga bergutfall kommer att ske under borrningen som följd av de relativt höga horisontella bergspänningarna i området.

På det hela taget tillhör samtliga föreslagna avverkningsmetoder mogna tekniker men har fram till idag tillämpats i olika omfattning. Borrning och sprängning tillhör de mest tillämpade metoderna medan clusterborrningstekniken är den minst utprovade metoden.

I **Kapitel 3** redovisas premisser och metodik för valet av olika bergavverkningsmetoder. Under år 2002 redovisade SKB designkriterier för slutförvaret (SKB R-03-11). I detta kapitel redovisas en sammanfattning av de generella kraven på säkerhet, miljö, kostnader, flexibilitet och risker för slutförarprojektet. Detta följs av en beskrivning av de speciella villkor och antaganden för denna studie. Vad gäller borrning och sprängning har SKB redan beslutat att metoden skall vara huvudmetoden för den referensdesign som presenteras. För alternativet TBM krävs en tunnelradie på 150 m för en pilottunnel med diametern 5 m och 200 m för tillfartsramp för en tunnel med diametern 6,3 m. I det fall SKB väljer metoden med horisontell deponering krävs en extra servicetunnel för det fall man avser att använda konventionell horisontell stigordsdrivning (RBM) där borrhuvudet dras från huvudtunneln till servicetunneln (Fig. 3-4). Metoden kräver också två huvudtunnlar för att kunna skilja tillredningsområdet från deponeringsområdet. Utformningen av tunnelsystemen för ett slutförvar enligt KBS-3H har många likheter med tunnelsystemets utformning för vertikal deponering enligt KBS-3V med den skillnaden att någon upprymning av deponeringstunnlarna inte krävs i fallet med horisontell deponering.

I **avsnitt 3.2.3** redovisar SKB de preliminära teoretiska bergvolymerna för tunnlar, schakt, serviceutrymmen och deponeringshål, totalt 1,6 milj m³ för referensutformningen av ett slutförvar enligt KBS-3V och 0,8 milj. m³ för KBS-3H plus 150.000 m³ i det fall servicetunnlar krävs. Deponeringshastigheten uppges bli 25 kapslar/år inledningsvis år 2018

och med en succesiv ökning till 160 kapslar/år vid fortlöpande deponering vilket motvarar en teoretisk designkapacitet av 1 kapsel/dag för totalt 4500 kapslar.

Den geometriska toleransen för tunnlar och deponeringshål som redovisas i **avsnittet 3.2.4** är relevanta och kan uppfyllas av de avverkningsmetoder som redovisas. I det följande avsnittet redovisas några av de viktigaste bergförhållanden som bör vara uppfyllda för att de föreslagna metoderna skall kunna tillämpas. Den enaxiella berghållfastheten 250 MPa som anges för bedömning av borrhållfastheten med TBM är väl tilltagen och motsvarar närmast berghållfastheterna för berget i Forsmark. Detta bör därför inte leda till några underskattningar av tid- och kostnaderna för TBM borrhållfastheterna som redovisas. Stor vatteninläckning kan dock komma att ändra nuvarande kostnadsuppskattningar för berguttag med TBM.

I **avsnittet 3.2.8** som behandlar samtidig drift och konstruktion av slutförvaret redovisar SKB att arbetet med att bygga och driva projektet kommer att bedrivas på ca 10 fronter och vidare att konstruktionsarbete med att färdigställa nya deponeringsutrymmen hela tiden kommer att ske under reguljär drift. Vidare redovisar man att avståndet mellan arbetsplatser för bergavverkning och områden där återfyllning och förslutning skett kommer att vara 80 m. Det innebär att avståndet blir ca dubbla centrumavståndet mellan två deponeringstunnlar. Det innebär att någon teoretisk bergmekanisk eller hydraulisk inverkan eller förbindelse är osannolik och därför kan godkännas.

Avsnitt 3.3 I rapporten beskriver SKB kortfattat den metodik som använts för att välja lämpligaste bergavverknings sätt för de olika delarna av slutförvaret. Metodiken är i stort sett densamma som man använde för valet av tillträdesvägar för förvaret och som också redovisats i denna granskning av rapporten SKB R-03-11 och innebär att metodikvalet sker i åtta steg och avslutas med ett MIFU-dokument (Motiv för Utformningen) vilket är ett intern SKB beslutsdokument som krävs för transparensen och spårbarheten. Utvärderingen av alternativen och tillhörande livscykelanalys och miljökonsekvensanalys beskrivs senare i kapitel 6 av rapporten.

SKB framhåller vidare att modifieringar i teknikval och metod kan komma att ske efter det att licensiering och byggande har skett. I de fall ändringarna har betydelse för förvarets säkerhet skall ändringarna granskas och godkännas av SKI. SKB bedriver för närvarande utveckling av konceptet med horisontell deponering – SKB-3H - som ur flera aspekter är fördelaktigt. Metoden är billigare eftersom mängden tunnlar reduceras och är gynnsammare ur stabilitetssynpunkt än vertikaldeponering i de fall maximala bergspänningen är hög och horisontellt orienterad för det aktuella deponeringsdjupet. SKB arbetar för närvarande med målsättningen att i sin licensansökan för att bygga slutförvaret redovisa vertikal deponering och senare ifall detta visar sig tekniskt och säkerhetsmässigt genomförbart ändra deponeringssättet till horisontell deponering. Författarens uppfattning är att detta är en känslig fråga för såväl SKB som SKI. Om SKB ansöker om licens för vertikal deponering och efter en tid ansöker om ändring till horisontell deponering innebär detta ett betydande dubbelarbete för bägge organisationerna.

Om SKB i dagsläget finner horisontell deponering både tekniskt, säkerhetsmässigt och ekonomiskt fördelaktigt bör man överväga att omprioritera utvecklingsarbetet och säkerhetsanalyserna till förmån för denna deponeringsmetod och söka ett intensivare samarbete med de organisationer som sedan en längre tid arbetat med denna deponeringsmetod, exempelvis NAGRA och ENRESA.

Kapitel 4 i rapporten beskriver de olika bergbrytningsmetoderna:

- schaktsänkning
- borrhning och sprängning av tunnlar och bergrum
- TBM
- stigortsdrivning av schakt och tunnlar
- borrhning och rymning av KBS-3V deponeringshål
- borrhning och rymning av KBS-3H deponeringstunnlar

SKB redovisar i sin inledande beskrivning av schaktsänkning att denna brytningsmetod för schakt inom främst gruvindustrin i de nordiska länderna inte längre utförs och att de senast sänkta schakten härrör från 70- och 80-talet. Inom kärnkraftindustrin har man gjort schaktsänkningar med borrhning och sprängning i Gorleben (Tyskland) WIPP-anläggningen (USA), URL (Canada) och senast i Bure (Frankrike). Den underjordiska försöksanläggningen Mol i Belgium har också utförts med schaktsänkning.

I SKB:s generiska utformning av slutförvaret har man valt att redovisa schaktsänkning för skipschaktet för berguppföringen från centralanläggningen och slutförvarets tunnlar på deponeringsnivån. Schaktet beräknas ha en diameter på 5,5 m och utförs i två steg. I det första steget drivs schaktet med temporär utrustning från markytan ner till 70 m djup varefter den egentliga schaktsänkingsutrustningen med tre upp till fem olika däck för de enskilda enhetsoperationerna installeras. I rapporten redovisas de olika stegen i en arbetscykel för schaktsänkningen ner till djupet 570 m som beräknas ske med ca 4 m per dag motsvarande ca 40 m per månad. Enligt presenterade tiplaner i Figur 7-1 beräknas schaktsänkningen kräva 3 år och installationerna ytterligare 1,5 år, totalt 4,5 år.

Schaktsänkning med mekanisk avverkning har inte utförts i hårt berg och SKB har därför valt att inte närmare studera den metodiken.

Eftersom borrhning och sprängning för närvarande är den viktigaste bergavverkningsmetoden för slutförvarets tunnlar och bergrum, lämnas i rapporten också en utförlig och bra beskrivning av metoden, maskiner och utrustningar, det nuvarande teknikläget och möjliga tekniska utvecklingar. För borrhningen konstaterar SKB helt korrekt att tiden är mogen för att göra en teknikutveckling och att den utrustning som kommer att krävas för projektet bör specialtillverkas för att helt säkert uppfylla de ställda kraven på prestanda, precision för positionering och borriktningar. Detta är särskilt viktigt för borrhningen av deponeringstunnlarna för horisontell deponering.

För sprängningsarbetena redovisar SKB de tre vanligaste sprängämnenä patronerat sprängämne (Dynamit), emulsionssprängämne och kontursprängmedel (PTN) samt initieringssprängämnen s.k. primer. SKB förordar emulsionssprängämnen eftersom dessa gör det möjligt att anpassa den specifika laddningen till bergförhållanden och upprättade laddningsplaner för bästa möjliga kontur. Icke-elektriska (NONEL) eller elektronisk initiering av sprängsalvorna förutsätts. Elektronisk initiering kan förutses vara väl utprovad vid tidpunkten då utsprängningen av deponeringstunnlarna kommer att ske. För att åstadkomma bästa möjliga kontur och reducera sprängskadorna på kvarstående berg – minska EDZ – har modern svensk detonikforskning visat att icke-kopplade laddningar och samtidig detonation av konturhålen i sprängsalvan ger minsta skada på kvarvarande berg. Slätsprängning kommer att tillämpas vilket innebär att konturborrhålen borras med mindre avstånd och laddas med svagare sprängämne. Slätsprängning tillsammans med försiktig sprängning kommer att tillämpas i projektet. Metoden försiktig sprängning har till uppgift att reducera vibrationerna från sprängningen och i rapporten presenterar SKB några grundläggande fakta vad gäller

vibrationsfrekvenser för öppningar med de dimensioner som kommer att bli aktuella vid utsprängningarna samt sambanden mellan sannolika frekvenser och fördröjningar hos salvorna.

I rapporten presenteras också ett avsnitt om övervakning och kontroll av borrhings- och sprängningsmetoden. För borrhingsarbetena gäller kontrollen i första hand att avvikelserna för enskilda borrhål ligger inom givna toleranser. För svenska undermarksarbeten anges normalt toleranserna enligt tre toleransklasser, se Tabell 4-1. Dessa toleransklasser är för vida för tunnarna i ett slutförvar och nya bör upprättas speciellt för deponeringstunnlarna i alternativet KBS-3H. I samband med utbyggnaden av andra bergrummet för CLAB lät SKB installera ett särskilt övervakningssystem för utsprängningen av tillfartstunnel och bergtrum. Systemet fungerade bra och var till stor hjälp för SKB och myndigheterna vid kontrollen av uppställda vibrationsgränser samt kontroll av de enskilda salvornas funktion. Erfarenheterna från kontrollsystemet som installerades vid utbyggnaden av CLAB saknas i rapporten. Ett fungerande övervakningssystem av de enskilda salvornas funktion och erhållna vibrationer tillsammans med registrering av synliga halvpipor och graden av sprängskador och sprickbildning ger enligt författaren den bästa informationen för att kontrollera och åstadkomma minimal EDZ.

I rapporten behandlas bergskrotning relativt ingående och SKB kommer till slutsatsen att vattenjetskrotning är speciellt lämpad för de delar där slätsprängning tillämpas. Metoden är relativt ny men rapporterade resultat av tekniken är positiva. Förutom ett bra skrotningsresultat fås bergytorna rensade och rengjorda innan bergkartering och sprutbetongförstärkning sker, vilket är en fördel.

En särskild beskrivning av utbrytningen av deponeringstunnlarna lämnas i **avsnitt 4.2.2**. Här lanserar SKB en ny tunnelprofil för deponeringstunnlarna. Den nya tunnelprofilen är mer kvadratisk än tidigare lanserad tunnelgeometri och hörnen i den nya profile har större radie för att minska sprängskador och EDZ, se Figureerna 4-6 – 4-9. Eftersom borrhning och sprängning är en flexibel metod är det också möjligt att modifiera den nya föreslagna profilen så att den även får en form som tar hänsyn till rådande spänningstillstånd i bergmassan. Till viss del kan man säga att den nya profilen med mindre välvning av taket och ökad radie närmast sulan är en bättre profil eftersom en av de horisontella spänningarna är den maximala i svensk berggrund och att en minskad välvning i taket reducerar spänningskoncentrationerna där.

SKB förutsätter att en ny specialbyggd borrhigg kommer att behövas för borrhningen i deponeringstunnlarna. Författaren delar denna uppfattning. En sådan nykonstruerad rigg kan förses med speciella riktninginstrument, speciella bommar med stor böjstyvhet, speciella bormaskiner för olika borrhningsarbeten vid stoffen samt inspänningsutrustning av maskinen mot väggarna i tunneln. SKB redovisar också laddningsplaner för den nya tunnelprofilen, se Figur 4-8.

SKB har sammanställt förslag till framtida utveckling av borrhning/sprängningsmetoden vilket bygger på resultaten av diskussioner med tillverkare av borrhutrustning och sprängämnestillverkare. När det gäller borrhning så är uppfattningen att det inom den närmaste 10-årsperioden inte kommer att ske någon genomgripande ny utveckling av borrhningstekniken utan mer förbättringar av nuvarande tekniska lösningar. När det gäller sprängningstekniken förutses en ökad användning av nitratsprängämnen och emulsioner samt elektroniska sprängkapslar.

För användningen och utvärderingen av tunnelborrningsmaskiner för bergavverkningen har SKB anlitat Robbins Company i USA som räknas till en av de ledande TBM tillverkarna idag. Robbins har i sin tur anlitat underkonsulterna Odd G Askilrud och Peter Dowden för att bistå SKB med information för projektet. Sverige har en del erfarenhet av TBM tillämpningar för tunneldrivning i hårt berg - kraftverkstunnlarna Kymmen, Klippen och dräneringstunneln Ormen Långe i Stockholm. SKB har vidare egen erfarenhet av TBM i samband med byggandet av Äspölaboratoriet där en 409 m lång lutande tunnelsektion drevs med mycket gott resultat vad gäller drivningshastighet och stabilitet och bemästrande av grundvatteninläckning under drift.

I **avsnitt 4.3.1** lämnas en allmän beskrivning av TBM tekniken med särskild tillämpning på SKB:s applikationer. I SKB:s studie av TBM tekniken har man undersökt två olika metoder för drivning av rotorhuvudet och rekommenderar 'Variable Frequency Drive (VFD) framför hydraulisk drivning. Provborrhingsrigg för provborrning framför borrhuvudet och i tunnelriktningen och för vertikala bulthål samt utrustning för injektering och sprutbetongförstärkning kommer också att finnas på SKB:s planerade TBM.

I nuvarande skede planerar SKB att driva ca 8-10 stycken ca 300 m långa tunnlar i ett deponeringsområde för att därefter flytta utrustningen till ett nytt område för att där driva motsvarande antal och därefter flytta igen. Tillvägagångsättet redovisas i **avsnitt 4.3.2**. Detta betyder att den specialtillverkade TBM maskinen måste utformas så att flyttningen mellan tunnlar och mellan områden kan ske smidigt och snabbt. SKB redovisar en konceptuell utformning för en kort TBM som väger ca 450 ton och som kan borra 1 m innan nästa omtag, Figur 4-12, samt principerna för placering av manöverhytt, transformatorer, ventilation och transportutrustning samt beskrivning av uppstart och nedmontering av utrustningen, Fig. 4-14. I en fotnot till avsnittet som beskriver flyttning och drift av den föreslagna TBM redovisas den förenkling av flyttningen och borrhningen av tunnlar som kan fås om deponeringstunnlarna orienteras i 45° vinkel i förhållande till huvudtunnlarna. Av de generiska utformningar av ett slutförvar som SKB hitills redovisat har en sådan orientering av deponeringstunnlarna icke redovisats.

För transport av TBM mellan tunnlar i ett område föreslår SKB användningen av pneumatiska lyftsystäm där den tunga utrustningen vilar på en luftkudde och där själva förflyttningen kräver små krafter. För transporten av TBM mellan olika deponeringsområden har larvdrivna transportvagnar visat sig vara den bästa lösningen. De föreslagna teknikerna för transport förefaller vara rimliga. Tidsuppskattningen för de enskilda arbetsmomenten för borrhningen av en ca 300 m lång tunnel redovisas i tabell 4-6 och där själva borrhningen beräknas ta 20 dagar av den totala cykeltiden 31-34 dagar.

I **avsnittet 4.3.3** beskrivs TBM borrhningen av pilot- och huvudtunnel. Här avser SKB använda vanliga standard TBM. Pilot-tunnlar borrh med diameter ca 5 m för att undersöka berget i slutförvaret och kommer därefter att upprymmas till den fulla area som krävs för huvudtunnlar. Pilot-tunnlar beräknas borrh med en indrift på 75-100 m per vecka.

TBM borrhning av tillfartsrampen till slutförvaret, **avsnitt 4.3.4**, finns med som ett alternativ till borrhning/sprängning. I rapporten framhåller SKB att de goda bergförhållandena i Forsmark och möjligen också i Simpevarp talar för att TBM tekniken kan användas för rampdrivningen. I det fall TBM kommer att användas blir tunnelarean något mindre än för huvudalternativet borrhning/sprängning och vidare rekommenderar SKB användningen av gruvtruckar för transporten av avverkat berg. För en 600 ton tung TBM med diametern 7,1 m beräknas indriften bli 65-85 m per vecka.

I det avslutande kapitlet om TBM redovisar SKB den framtida utvecklingen av TBM. De viktigaste utvecklingsstegen under den närmaste 10-årsperioden bedöms bli remot kontroll av borrhningen, seismiska undersökningsmetoder för bedömning av bergkvaliteten framför borrhuvudet, förbättrade injekterings- och bergförstärkningsmetoder samt succesiv förbättring av material och utrustning för att öka indriften per tidsenhet.

Stigortsborrning av schakt och tunnlar med tyngdpunkten på borrhning av horisontella tunnlar redovisas i **avsnitt 4.4**. Stigortsborrning av schakt är känd teknik sedan 1960-talet och SKB har egen erfarenhet av stigortsborrning av schaktet vid Äspölaboratoriet. För slutförvaret kommer SKB att använda tekniken för borrhning av person-och materialschaktet samt för ventilationsschakten.

SKB har studerat möjligheterna att använda horisontell stigortsborrning för deponeringstunnlarna och har genomfört studien för en konventionell maskin av typ Robbins 191RH. Indriften beräknas bli 0,4 m per timme för borrhning av en tunnel med diametern 6,3 m. Det betyder att för en 265 m lång deponeringstunnel beräknas totala tidsåtgången 86 dagar, dvs i det närmaste tre gånger så lång tid som för TBM.

SKB har testat schaktsborrningsteknik för borrhning av deponeringshål i Äspölaboratoriet. Tretton deponeringshål med diametern 1,5 m och djupet 7,5 m borrades i början på 2000 med relativt gott resultat. Tidigare har Posiva provat en metod med upprymningsborrning för samma ändamål och en sammanfattning av erfarenheterna lämnas i rapporten. SKB har uppdragit åt Atlas Copco att vidare studera upprymningsmetoden och presenterat ett första designkoncept. Metoden är en variant på vanlig stigortsborrning med den skillnaden att borrhkronan trycks nedåt under borrhningen och att det fragmenterade bergmaterialet (cutting) suggs upp i borrhsträngen med någon form av vakumteknik. Den totala vikten av borrhkrona borrhsträng och derrick (drivningsenheten) är 25 ton. I det föreslagna konceptet utformas den första 0,5 m långa delen av borrhålet med en konisk form där konvinkeln är 35° och diametern 2450 mm. Därefter borrar hålet till fulla djupet 8 m och erhåller en plan botten med rundade hörn mot borrhålsväggen. Av principskisserna i Figur 4-27 framgår att den koniska delen av borrhålet endast omfattar betongavjämningen i deponeringstunnelns sula.

I **avsnittet 4.5.2** i rapporten lämnas en kortfattad redogörelse av erfarenheterna från schaktsborrningen av 13 deponeringshål i Äspölaboratoriet med en utrustning från tillverkaren Robbins. Den effektiva borrhningshastigheten är 0,45 m/maskintimme med en maximal sjunkhastighet av 1,1 m/timme. Effektiviteten hos maskinen är låg och endast 18% av tiden omfattade effektiv borrhning. Samma tid åtgår till att rigga maskinen och att utföra reparationer och underhåll. De borrhade hålens kvalité vad gäller avvikelser i riktning, diameter och raket uppfyller ställda krav.

SKB studerar för närvarande möjligheterna för horisontell deponering enligt den sk KBS-3H metoden där kapsel och kompakterad bentonit förpackas i behållare som förs in i ca 300 m långa deponeringstunnlar med en diameter av 1,85 m. Toleranskraven på raket och diameter är mycket stränga. Exempelvis skall diametern ligga inom intervallet 1840-1850 mm (± 5 mm). I rapportens **avsnitt 4.6** redovisar SKB tre olika möjliga metoder för bergavverknings deponeringsöppningarna, nämligen horisontell dragande rymning, horisontell tryckande rymning samt vattendriven hammarborrning. För var och en av deponeringsöppningarna förutsätts att ett undersökningshål kärnborrar med diametern 76 mm. Därefter borrar ett pilothål i flera steg upp till en diameter av ca 0,5 m.

I rapportens **avsnitt 4.6.1** beskrivs olika metoder som idag finns på marknaden för att styra borrhningen så att kraven på raket kan uppfyllas. Den horisontella dragande rymningen är känd teknik och har direkta likheter med metoden för borrhning av 6,3 m diameter deponeringstunnlar. I Norge har man 2003 borrh en 285 m lång horisontell tunnel med diametern 1,8 m med gott resultat. Några prestanda på utrustning eller data om indrifter lämnas inte i rapporten. SKB räknar med att en utrustning för horisontell borrhning av deponeringsutrymmena kan borra ca 5 tunnlar per år. För att använda metoden med horisontell dragande upprymning krävs en extra servicetunnel som senare måste återfyllas.

Genom att använda horisontell tryckande rymning undviker man servicetunnel. Utrustning för att rymma 1,8 m diameter deponeringsutrymmen finns idag på marknaden och i rapportens **avsnitt 4.6.3** anges en maskin med beteckningen Robbins 53-RH. SKB anger att de utrustningar som finns på marknaden idag kann borra ca 100 m per år vilket skulle innebära ca tre deponeringsöppningar per år.

SKB har tillsammans med det svenska borrhföretaget Wassara AB utvecklat och testat en borrhmaskin där det första pilothålet och två efterföljande upprymningar sker med vattendriven hammarborrhning där den roterande och slående borrhningen sker nära borrhkronan. Borrhningsmetoden och något om dess prestanda redovisas kortfattat i **avsnitt 4.6.4**. Detta är ny och intressant teknik vad gäller de enskilda borrhmaskinerna liksom det cluster av 12 sammankopplade borrhmaskiner, Figur 4-36. Efter att pilothålet borrhats sker upprymningen i två steg till 1440 mm respektive 1850 mm. Nackdelen med borrhningsmetoden är den stora vattenförbrukningen. SKB beräknar att den totala borrhningstiden för ett 265 m långt deponeringsutrymme tar 27 dagar vid 70% utnyttjande av borrhmaskinen. I oktober/november 2003 genomförde SKB ett fältförsök med den nya utrustningen i Oslo med gott resultat. Testresultaten har redovisats i SKB rapporten R-04-42 och kommer att kommenteras i ett senare avsnitt av denna granskningsrapport.

SKB har också studerat nya bergavverkningsmetoder och redovisar kortfattat resultaten av nuvarande teknikläge för metoderna plasmateknologi, hydraulisk spräckning och oscillerande 'disc cutter' teknik. Av dessa olika metoder synes oscillerande disc cutter-metoden (ODC) vara den intressantaste vad gäller tillämpningar på ett slutförvar i hårt berg. Istället för normala cutters i fronten på borrhuvudet anbringas cutters som oscilleras vid en given frekvens 40-80 Hz och åstadkommer en utmattning av berget som sedan gör att det brister. Brotten sker under dragspänning och eftersom bergets draghållfasthet bara är ca en tiondel av tryckhållfastheten innebär det att betydligt lägre tryck behöver anbringas på enskilda cutters. Nuvarande utrustning som testas har en oscillerande cutter som roterar med hög hastighet i en eccentric bana på bergytan. Av rapporten framgår ej några resultat av testningar eller information om planerat vidareutveckling av metoden.

I avsnittet **4.8** av rapporten redovisar SKB vilka implikationer som metodvalet har på utformningen och driften av slutförvaret. Tunnelformerna är givetvis bestämda av de metoder som används där TBM, horisontell upprymning och clusterborrhning ger cirkulär form medan borrhning/sprängning, roadheader och 'mobile miners' ger öppningar med godtycklig geometri. När det gäller utformningen av förvarsområdet kräver den horisontella stigortsdrivningen med dragande upprymning en extra servicetunnel som också måste återfyllas. I de fall TBM-metoden tillämpas för tunneldrivningen bestäms utformningen också av den radie som maskinen kan borra. Beroende på maskinens längd kan radien komma att variera mellan 50 m och 200 m där en kort maskin tillåter den mindre radien.

Metoden med borrhning/sprängning alstrar vibrationer som fortplantar sig i berget och eftersom konstruktionsarbetet kommer att drivas parallellt med deponeringen krävs ett säkerhetsavstånd mellan områden med dessa aktiviteter som SKB för närvarande anger till 80 m. Vibrationerna från TBM och andra borrhningsmetoder är mycket lägre än för borrhning/sprängning och kräver inga långa säkerhetsavstånd. Det är viktigt att SKB analyserar behovet av säkerhetsavstånd i det fall TBM metoden kommer att användas eftersom detta kan ha betydelse för arbetscyklernas utformning och transporterna mellan deponeringsområdena och konstruktionsområdena.

I **Kapitel 6** i rapporten för SKB en diskussion om EDZ och dess betydelse för valet av bergavverkningsmetod. SKB definierar EDZ med två betydelser (**avsnitt 5.2.1**):

1. Excavation Damage Zone: den del av bergmassan närmast en underjordisk öppning som har utsatts för irreversibla deformationer där skjuvning av existerande sprickor samt propagering eller utveckling av nya sprickor har skett.
2. Excavation Disturbed Zone: den zon i bergmassan där endast reversibel elastisk deformation har skett.

EDZ har en inverkan på förvarets funktion och säkerhet i alla sina skeden från utsprängningen eller fullortsborrningen, under den operativa fasen fram till återfyllningen, den tidiga fasen efter förslutningen när temperaturen förändras i bergmassan samt slutligen den sena fasen efter förslutningen då temperaturen återgår till det normala i bergmassan och slutligen kommande glaciationer och eventuella jordskalv som kan påverka förvaret. Utvecklingen av EDZ med tiden kan under vissa betingelser leda till att sprickinitiering, sprickpropagering och skjuvning längs befintliga sprickor fortgår kontinuerligt eller intermittent med tiden efter deponeringen och förslutningen (höga bergspänningar, låg berghållfasthet/brottseghet) eller att tidigare utvecklade EDZ upphör och tidigare bildade sprickor tätas och läks genom mineralutfällningar. Risken med EDZ är en förhöjd grundvattenströmning och försämrade stabiliteten.

I **avsnittet 5.3** redovisar SKB kunskapsläget beträffande EDZ och redovisar översiktligt resultaten av ZEDEX-försöket och det pågående APSE-projektet i Äspölaboratoriet. ZEDEX-försöket är ett av de få om ens enda projektet där man gjort en direkt jämförelse av EDZ för en borrhad/sprängd respektive TBM-borrhad tunnel i direkt anslutning till varandra. För den borrhade/sprängda tunneln anges EDZ till 0,3 m i väggarna och 0,8 m i sulan och för den TBM borrhade 0,03 m. I det pågående APSE-projektet studeras EDZ i en tunnel i Äspölaboratoriet med målsättningen att särskilt studera EDZ för det fall man nyttjar försiktig slätsprängning. Särskilt skadezonens utbredning i tunnelsulan har studerats och de preliminära resultaten visar att skadezonen i sulan kan reduceras genom anpassad borrhning/sprängning.

SKB ägnar den axiella homogeniteten hos EDZ ett särskilt avsnitt, **avsnitt 5.3.3** och driver hypotesen att de naturligt förekommande sprickorna orienterade axiellt med öppningarna i berget är huvudorsaken till EDZ. Eftersom dessa sprickor normalt sett är lite frekventa och att det längs en borrhad/sprängd tunnel sker avbrott i kontinuiteten genom den stickning av borrhålen av utsprängd tunnelprofil (look-out) som fås vid borrhningen av varje enskild salva, hävdar SKB att det sker naturliga avbrott i bergmassan runt öppningarna som reducerar ett kontinuerligt flöde. Denna förklaring är plausibel men den största orsaken till EDZ är dock de små förskjutningar som sker i befintliga sprickor som finns i bergmassan – oavsett orientering samt den mikrouppsprickning som sker i berget till följd av detonationen.

Tillgängliga och lämpliga metoder för att bestämma EDZ och dess utbredning redovisas i **avsnitt 5.4**. Ljudhastighetsbestämningar på urborrade kärnor runt öppningar, direktobservationer av sprickgeometri från borrade eller utsågade snitt i runt öppningsväggarna, akustisk emission (EM) eller mikroseismiska undersökningar (MS) samt hydrauliska tester räknas upps om användbara metoder. Den mest effektiva metoden - som också har den största relevansen för att undersöka EDZ - är hydrauliska metoder även om detta ställer sig mycket svårt eftersom strömningen är transient och omättad och de hydrauliska gränsbetingelserna är svåra att ansätta. SKB framhåller att storskaliga experiment med återfyllning ger de bästa möjligheterna att studera EDZ och nämner som exempel det pågående 'Plug and Backfilling Experiment' där de preliminära resultaten efter full vattenmättnad visar att den dominerande hydrauliska konduktiviteten bestäms av EDZ i experimenttunnelns sula. Detta är enligt författaren ett viktigt resultat som betyder att i det fall SKB väljer borrning/sprängning som bergavverkningsmetod måste man ägna speciell försiktighet vid utsprängningen av sulan i tunnarna.

Valet av bergavverkningsmetod med hänsyn tagen till EDZ behandlas i rapportens **avsnitt 5.5**. SKB framför helt korrekt att för måttliga till låga bergspänningar sker utbredningen och omfattningen av EDZ oberoende av tunnelgeometri. Vid höga bergspänningar och särskilt i de fall att spänningsdifferenserna är stora i riktning vinkelrätt mot tunnelns axel finns riskerna för bergutfall (breakouts) i riktning av den minsta spänningen. Detta har bekräftats i många projekt och ett av de allra bästa exemplen kommer från det sk 'Mine-by Experiment' i URL som visar omfattande bergutfall kring en cirkulär tunnel, se Fig.5-1. Om bergspänningarna är tillräckligt höga kan det resultera i bergutfall (spalling) oberoende av tunnelform. En anpassning av tunnelformen förutsätts ske så att den längsta dimensionen sammanfaller med riktningen på den största huvudspänningen. I Kanada har man en bergspänningssituation liknande den vi har i Fennoskandia där den horisontella spänningen är horisontellt riktad och för de generiska utformningarna av deponeringstunnarna har man gett dessa liggande ovala profiler. Den nya tunnelprofil som SKB nu lanserar är i det närmast rund (fyrkantig med rundade hörn) och är därför inte optimal för platser med höga bergspänningar och där spänningsdifferenserna är stora. I det fall att den största horisontella spänningen och vertikalspänningen är i det närmaste lika är den föreslagna tunnelprofilen bra. Om man överför detta resonemang till situationen i Forsmark där bergspänningarna är anomalt höga för Fennoskandia så visar det på den stora betydelse det har att korrekt bestämma spänningstensorn, dvs både magnitud och riktning för alla tre spänningsskomponenterna.

I det inledande skedet av metodikstudien av bergavverkningsmetoderna ställde SKB upp åtta faktorer mot vilka de föreslagna metoderna skall jämföras mot:

1. Låg strålningsdos efter deponeringen.
2. Inga olyckor för personal och entreprenörer under konstruktionen och driften.
3. Liten miljöpåverkan under konstruktionen och driften.
4. Uthålligt utnyttjande av naturresurser.
5. Låg kostnad för konstruktion och drift.
6. Kort konstruktionstid från starten av bergguttaget till inledande deposition.
7. Hög flexibilitet.
8. Låg projektrisk.

Efter att ha vägt in dessa åtta faktorer för ett antal uppställda rubriker av typen: långsiktig säkerhet efter förslutning, säkerheten under konstruktion, drift och förslutning, miljökonsekvenser och uthållighet vad gäller naturresurser, tid och kostnader, flexibilitet,

risker och möjligheter, gör SKB en övergripande bedömning och presenterar utfallet i tabellform i **kapitel 6** för deponeringstunnlarna i ett förvar enligt KBS-3V, Tabell 6-6. I redovisningen till underlaget som presenteras i tabellen hänvisar SKB till en pågående studie om möjlig förhöjd hydraulisk konduktivitet längs med deponeringstunnlarna (avsnitt **6.1.1**). I **avsnittet 6.2.3** som behandlar säkerheten under konstruktion och drift poängterar SKB vikten av gott brandförsvar för att möta bränder och eventuella brandkatastrofer. Innehållet i den svenska Miljöbalken (Ds 2000:61) och dess avsnitt om tillämpningen av bästa möjliga teknik samt uthållig hantering av naturresurserna poängteras särskilt av SKB i **avsnitt 6.3**. Vad gäller tidplaner och kostnader, **avsnitt 6.4**, redovisar SKB att det för tillämpning av metoderna borrhning/sprängning och TBM kommer det bara att krävas en utrustning medan en tillämpning av horisontell stigortsdrivning med upprymning kommer att kräva tre utrustningar och att de direkta kostnaderna för den metoden blir mycket höga. I en sammanställning av kostnaderna för tre olika metoder, Tabell 6-5, redovisar SKB för borrhning/sprängning 300 MSEK, mekanisk avverkning med horisontell stigortsdrivning 1,500 MSEK och för TBM 500 MSEK.

I avsnittet om flexibilitet, risker och möjligheter, **avsnitt 6.5**, framhåller SKB fördelarna med att borra längre tunnlar med TBM än de 300 m som det nuvarande generiska utformningen omfattar och SKB redovisar i Figur 6-3 en layout där långa tunnlar senare kompletteras med en sekundär huvudtunnel som korsar deponeringstunnlarna på lämpligt avstånd från den egentliga huvudtunneln. Denna utformning är naturligtvis attraktiv men kräver ett stort sammanhängande bergområde. I de fall att deponeringsområdet korsas av många förkastningar och svaghetszoner som kräver ett respektavstånd till deponeringsområdena kommer dessa att bli små och borrhning/sprängning är därför en bättre metod.

SKB förutser inga direkta svårigheter med att byta bergavverkningsmetod under pågående konstruktionsarbete och att val av metod kan komma att ändras under projektets gång om förhållandena visar sig vara gynnsamma. I sammanfattningen av avsnittet om flexibilitet, risker och möjligheter poängterar SKB att borrhning/sprängning är den mest flexibla metoden eftersom tunnelarea, profil och EDZ kan varieras salva för salva och anpassas till bergkvaliteten. Metoden är också den mest tillämpade i hårt berg och det finns ett relativt stort antal entreprenörer som kan driva tunnlar med borrhning/sprängning. Slutligen finns i Serige ett antal maskinleverantörer och sprängämnestillverkare som kan utveckla och tillhandahålla material och utrustning som är särskilt anpassade för tunneldrivningen i ett slutförvar.

I den sammanfattande bedömningen av de olika bergavverkningsmetoderna i **avsnitt 6.6** och den gjorda utvärderingen gentemot uppställda bedömningfaktorer kommer SKB till slutsatsen att borrhning/sprängning kan kvarstå som den metod SKB föredrar för utsprängning av deponeringstunnlarna även om metoden är beroende av den mänskliga faktorn och sammanhängande risker.

Forsknings-, utvecklings-, och demonstrationsprogram för ett KBS-3-förvar med horisontell deponering (SKB R-01-55)

SKB inledde mer ingående studier av horisontell deponering i samband med en jämförande studie med vertikal deponering enligt KBS-3V och horisontell deponering med flera kapslar i samma deponeringshål, långa tunnlar och djupa borrhål. Studien som sammanfattas i **Kapitel 2** av rapporten gavs namnet Projekt Alternativ Studie för Slutförvar, PASS-projektet, och genomfördes i samarbete med Posiva i Finland och rapporterades 1992 (SKB, 1992). Av de tre alternativa metoder som studerades rankades horisontell deponering med flera kapslar i

samma borrhål högst och visade sig vara mest kostnadseffektiv men också mer komplicerad än vertikal deponering.

1996 initierade SKB det så kallade JADE-projektet med målsättningen att studera vertikal deponering med flera kapslar i ett och samma deponeringshål samt horisontell deponering med en eller flera kapslar i deponeringshålet och jämföra de olika alternativen med referensmetoden vertikal deponering med en kapsel i deponeringshålet. Vertikal deponering med två kapslar i samma deponeringshål gav inga fördelar och horisontell deponering med flera kapslar deponerade i ett ca 250 m långt deponeringshål var klart fördelaktigare än alternativet med horisontell deponering med endast en kapsel. I projektet JADE, som rapporterades 2001, var förslaget att deponeringshålen skulle vara 200-250 m långa med en diameter av 1,75 m och placerade med ett centrumavstånd av 40 m. Projektet gav också som resultat att deponeringen skulle ske av hela paket där bentonit och kapsel omges av ett skyddande hölje med diametern 1,75. Förslaget liknar mycket det koncept som Posiva i Finland presenterade 1996 (Autio, 1996). Vidare hade SKB inhämtat värdefull kunskap om horisontell deponering genom sitt deltagande i det s.k. FEBEX-försöket i det schweiziska undermarkslaboratoriet i Grimsel där ett fullskaleförsök med värmare och kompakterad bentonit i en horisontell tunnel provades. Det betyder att vid tidpunkten för milleniumskiftet fanns inom KBS intresse att fortsätta studierna av horisontell deponering.

I rapportens **Kapitel 3** redovisar SKB FUD-programmets uppbyggnad för KBS-3 förvar med horisontell deponering i fyra steg:

5. Förstudie (2002)
6. Konceptuell utformning (2003)
7. Genomförande (2004-2008)
8. Utvärdering (2009-2010)

FUD-programmet består av följande delområden:

- Förvarsutformning
- Säkerhetsanalys
- Buffert
- Geovetenskap
- Borring
- Injektering/förstärkning
- Deponeringsteknik
- Pluggning av deponeringshål
- Återtag

För varje område ges en presentation av kunskapsläget samt ett program för den forskning som behöver utföras.

I **Kapitel 4** redovisas kunskapsläget och FUD-programmet för förvarsutformningen där målet för delprogrammet är att ta fram en referensanläggning av ett KBS-3H som även kan användas för en preliminär säkerhetsbedömning. Olika plats-specifika alternativ skall också studeras.

Kapitel 5 i rapporten beskriver kunskapsläget och FUD-programmet för säkerhetsanalysen. SKB föreslår här en fortsatt tillämpning av analysarbetet efter den modell med THMC-diagram som utvecklades i projektet SR 97 med databas för FEP, systembeskrivning med THMC-diagram samt modellering av grundvattenflöde och radionuklidtransport.

FUD-programmet för buffert och buffertmaterial presenteras i **Kapitel 6**. De viktigaste frågorna som måste belysas är bestämning av buffertens tjocklek och distansblocken mellan deponeringsbehållarna och deras funktion. Vidare utsvällningen av bentoniten i hålrummet mellan behållaren och berget samt geokemiska effekter på bentoniten till följd av korrosion av behållaren. Kanalbildningen och effekten av inrinnande vatten för lokal bevätning och svällning är andra viktiga frågor som lyfts fram i FUD-programmet för bufferten.

I **Kapitel 7** behandlas de geovetenskapliga frågeställningar för horisontell deponering i de tre ämnesområdena: hydrogeologi, bergmekanik och strukturgeologi. Det finns ingen information som styrker att frekvensen större svaghetszoner, förkastningar och sprickgrupper samt spricksystem skulle vara markant olika och därför ge preferens för någon av metoderna horisontell eller vertikal deponering. Den viktigaste uppgiften i FUD-programmet blir att upprätta acceptanskriterier och respektavstånd för horisontell deponering samt beräkna sannolika bortfall av deponeringspositioner för typiska berggrunder för kommande slutförvar med beaktande av bergmekaniska och hydrologisk information.

Borrning är ett viktigt moment för metoden med horisontell deponering och i rapportens **Kapitel 8** presenteras kraven på borrhast, kunskapsläget vad gäller olika tekniker samt förslag till FUD-program. I kraven på borrning som presenteras nämns en uppåtgående lutning av maximalt 2 grader och borrhålsdiametern 1,75 m och längden mellan 100 m och 500 m. När det gäller kunskapsläget inom borrhasttekniken beskrivs metoderna clusterborrning, TBM och horisontell stigortsborrning (RBM). Metoderna baseras på känd teknik av vilka horisontell clusterborrning är den minst provade metoden. I rapporten presenteras en bra sammanfattning av för- och nackdelar med de olika föreslagna borrhastmetoderna. I FUD-programmet ges viss preferens åt testning av clusterborrhasttekniken med vattendriven sänkhammarutrustning från svensk maskintillverkare. Optimeringsstudier av olika borrhastmetoder föreslås också.

Injektering och förstärkning av deponeringstunnlarna beskrivs i **Kapitel 9**. När det gäller kunskapsläget för injektering av TBM-borrade tunnlar redovisar SKB sina erfarenheter från tunnelborrhast i Äspölaboratoriet där förinjektering tillämpades. Metoder att injektera under borrhast finns framme som känd teknik idag och efterinjektering kan alltid ske innan deponeringen startar. I avsnittet om kunskapsläget för injektering anger SKB hur man avser göra injekteringen i det fall TBM eller andra metoder används. I förslaget till FUD-program förordar SKB testning av förinjektering i det undersökningshål som kommer att borrhast innan deponeringshålet borrhast. Vidare föreslås utveckling av teknik för sektionsvis förinjektering. Bergförstärkning med bergbultning framhålls som den viktigaste metoden för borrhastade tunnlar och att bultlängder motsvarande borrhålsdiametern oftast är tillfyllest. Sprutbetong och nätning utförs endast undantagsvis för borrhastade tunnlar. Författaren delar denna uppfattning. SKB förordar i sitt FUD-program utveckling av ett fjärrstyrt borrhast- och bultaggregat. En sådan utvecklingsinsats kan gärna skjutas på framtiden och att andra viktigare utvecklingsarbeten kan prioriteras för att demonstrera den horisontella deponeringsmetoden.

Deponeringstekniken vid horisontell deponering beskrivs i **Kapitel 10**. SKB har valt att hålla fast vid förslaget med deponering av hela paket som framkom som ett av resultaten av JADE-studien. I detta kapitel beskriver SKB kunskapsläget vad gäller omlastning och paketering av kapseln från transportbehållaren till deponeringsbehållaren, transporten i tunneln samt den egentliga deponeringen. Transport och deponering sker hela tiden strålskyddat och även deponeringshålets mynning är försedd med strålskyddssluss. I det förslag till deponering som presenteras i rapporten föreslås deponeringsmaskinen vara utrustad som drivenheten på en TBM med möjligheten att stegvis trycka behållaren framför sig och även förflytta sig med

omtag. I forskningsprogrammet nämns bl a behovet av att upprätta konceptuella underlag för omlastning, transport och deponering av hela paket så att beslut om detaljkonstruktion och tillverkning kan fattas och att utrustning senare kan byggas och demonstreras. SKB framhåller vidare att utvecklingsarbetet skall drivas fram till samma läge som idag gäller för konceptet med vertikal deponering och att ett ca 50 m långt deponeringshål borras i Äspölaboratoriet. SKB säger vidare att ”syftet med demonstrationen är att underbygga ett eventuellt beslut om ett byte av referenskoncept” (cit. sid 67). För att genomföra denna målsättning föreslår SKB prov och verifiering av deponeringsmetoden samt utveckling av kvalitetssystem för deponeringen.

I **Kapitel 11** beskriver SKB kunskapsläget vad gäller pluggar under deponeringen och efter avslutad deponering i ett deponeringshål. Det föreslagna programmet avser inte pluggar som eventuellt kan krävas i transporttunnlar, ramper och schakt. I FUD-programmet om pluggning av deponeringshål föreslås en sammanställning av SKB:s tidigare erfarenheter av pluggar, alternativa konstruktioner av pluggar, bl a stålplugg för sektionering av deponeringshålet vid eventuellt högt vattenflöde under deponeringen. Konstruktions- och förslagshandlingar för tillverkning och demonstration av stålpluggar i kommande demonstrationsanläggning i Äspölaboratoriet.

I **Kapitel 12** beskriver SKB hur återtag av paketen kan ske med uppslamning av bentoniten med saltlösning på samma sätt som antas ske vid vertikal deponering. Däremot beskrivs inte återtagsmetoder för ett långt senare skede då deponeringsbehållaren rostet sönder. På samma sätt som för vertikal deponering kommer det att ske en utvärdering av metoden med horisontell deponering efter den inledande deponeringen av 200-400 kapslar. Ett återtag av kapslar kräver ett tillstånd av SKI och vidare att SKB har ombesörjt ett mellanlager för de kapslar som återtas. I rapporten beskriver SKB teknik för reversering och för friläggning av behållare. I FUD-programmet föreslår SKB en förstudie för att utreda möjligheterna att använda KBS-3V-tillvägagångssättet för friläggning också i fallet med horisontell deponering och utreda de tekniska lösningar som krävs.

En översiktlig tidsplan för FUD-programmet redovisas tillsammans med en grov kostnadsuppskattning av 150 MSEK för genomförande av programmet redovisas i **Kapitel 13**. SKB framhåller att resurserna är begränsade när det gäller arbetena som omfattar delområdena säkerhetsanalys och buffertfrågor. I programmet för säkerhetsanalysen säger SKB att en fullständig säkerhetsanalys som bygger på generiska data skall genomföras under 2006 och att en analys som bygger på platspecifika data från platsundersökningarna beräknas genomföras under 2007. Vidare framhåller SKB att om horisontell deponering väljes som nytt referensalternativ kommer frågan om demonstration av möjligheterna till återtag att prövas på nytt. SKB gör dock nu bedömningen att återtag i fallet med horisontell deponering kan ske på i princip samma sätt som för dagens referensmetod.

I **Kapitel 14** redovisar SKB slutsatserna av FUD-programmet med horisontell deponering och poängterar inledningsvis i kapitlet de stora besparingarna som metoden ger vad gäller volymen avverkat berg, miljöbesparingarna och den påtagliga ekonomiska vinsten. SKB betonar helt riktigt att horisontell deponering kommer att kräva stark fokusering på teknikutvecklingen. De tekniskt svåra momenten är att borra, täta och bergförstärka de långa och raka deponeringstunnlarna samt hantera och placera de ca 50 ton tunga deponeringsbehållarna.

SKB framhåller vidare att ett KBS-3-förvar med horisontell deponering är inte bara ett teknisk problem utan lika mycket ett kommunikationsproblem. SKB har under alla år sedan 1970-

talet lanserat vertikal deponering. Att i nuvarande skede ändra den bild som de flesta har på sina näthinnor är givetvis ett stort och kvalificerat informationsproblem. Det finns dock skäl att framföra kritik vad gäller SKB:s information om horisontell deponering. Den har aldrig lanserats som ett alternativ i det informationsmaterial som SKB presenterat sedan man internt beslutat studera metoden närmare i PASS-projektet 1992 och dess fortsättning med JADE-projektet 2001 och det presenterade FUD-programmet från år 2001. Frågan när SKB skall mer tydligt offentliggöra den horisontella metoden som ett alternativ är inte bara ett kommunikationsproblem utan i än större grad en fråga om förtroende. Om SKB fortsätter att studera horisontell deponering men inte klart och tydligt informerar om sina planer kan kritiken och misstroendet från allmänheten komma i ett kritiskt skede av slutförvarsprojektet där beslut om förvaringsmetod skall fastslås.

SKB framhåller också i sina slutsatser att tiden är knapp att lyfta kunskapsnivån för horisontell deponering till samma nivå som referensalternativet med vertikal deponering eftersom det råder resursbrist främst vad gäller buffert och säkerhetsanalys. Det är en korrekt beskrivning men samtidigt har SKB nu etablerat kontakt och samarbete med organisationer som arbetar med utveckling av horisontell deponering, främst Posiva i Finland så möjligheterna att lansera KBS-3H som slutgiltig metod borde kunna föreligga ca 2007 och något tidigare än vad som planerats.

KBS-3H

Summary report of work done during Basic Design (SKB R-04-42)

Denna rapport redovisar resultaten av SKB:s arbeten med principutformningen (Basic Design) av konceptet med horisontell deponering – KBS-3H-projektet – som genomförts under år 2003. Projektet är ett samarbetsprojekt med Posiva i Finland för tidsperioden 2002-2007. Den första fasen av projektet omfattade en förstudie som avslutades 2002 och som sedan följts av studien av principutformningen. Den tredje och avslutande fasen av samarbetsprojektet kommer att omfatta fortsatt utformning, utförande och demonstration i Äspölaboratoriet samt en säkerhetsstudie som baseras på platsspecifika data från Olkiluoto i Finland.

I förordet till studien redovisar SKB också en del av de viktigaste arbeten som utförts under 2004, i första hand upprättande av förfrågningsunderlag (Request for Proposal, RFP) avseende detaljutformning och tillverkning av utrustning för deponeringen. Vidare lämnar SKB informationen att den tidigare föreslagna clusterborrningen ersatts med horisontell stigortsdrivning (blind raisboring) och att mekanisk gripanordning ersatt de tidigare föreslagna elektromagnetiska anordningarna på behållarlocken för införingen i deponeringshålen.

Kapitel 1 i rapporten beskriver principerna för horisontell deponering enligt KBS-3H-metoden samt skillnader gentemot nuvarande referensmetod KBS-3V. De viktigaste skillnaderna kan sammanfattas i följande punkter:

- Deponeringstunnlar med återfyllning behövs ej – ca 50% mindre berg behöver tas ut
- KBS-3H kräver 10-15 % mer deponeringsarea
- Temperaturlasten ändras
- Diametern på behållaren blir ca 10 cm större – 1,85 m – jämfört med KBS-3V
- Behållaren som omger den kompakterade bentoniten är en ny komponent
- Kraven på raket, ytojämnheter och riktning är större för behållarna i KBS-3H
- En operationskammare av ca 15 m krävs vid mynningen av varje deponeringshåll

- Deponeringshålet förses med betongplugg
- Ingen byggnad eller installationsutrustning för återfyllning krävs förrän sent i projektet
- Metod och utrustning för insättning av behållare och distansblock måste utvecklas och demonstreras
- Metod för återtag av behållare måste utvecklas och demonstreras
- Kostnaderna för KBS-3H är betydligt lägre än för KBS-3V

I **avsnitt 1.4** redovisar SKB den nuvarande konstruktionen och operationen av ett slutförvar enligt KBS-3H och beskriver mer i detalj skillnaden mellan horisontell och vertikal deponering.

Kapitel 2 beskriver den tekniska utvecklingen som skett under år 2003. Här lämnas en relativt utförlig beskrivning av clusterborrningsmetoden och testresultaten från den provborrning som utfördes i Norge under året. SKB har dock beslutat att testa metoden med horisontell stigortsborrning (RBM) i den kommande demonstrationsanläggningen i Äspölaboratoriet och har uppdragit åt Atlas Copco att utveckla en särskild bormaskin för ändamålet. Borrkronans upprymningsdel måste konstrueras speciellt för att möta de krav på rakhet och ytråhet på hålet som SKB kräver.

I **avsnitt 2.2** och **avsnitt 2.3** beskriver SKB den deponeringsutrustning som krävs och den perforerade behållare (KBS-3H super container) som kommer att användas. Kapseln kommer att omges av fyra kompakterade bentonitringar samt två bentonitpluggar vid ändarna som sedan omsluts av en perforerad stålcylander med en perforeringsgrad av ca 60 %. Ena ändytan kommer att förses med en stålplatta till vilket deponeringsmaskinen kan anslutas. Enligt förstudien skulle kopplingen mellan deponeringsmaskinen och behållaren ske med elektromagnet men det förslaget har bytts ut mot mekanisk gripanordning. Behållaren kommer att skjutas in i deponeringshålet med hjälp av en nykonstruerad deponeringsmaskin. Transporten i hålet kommer att ske med hjälp av vattendrivna friktionskuddar samt en palett som bildar underlag för friktionskuddarna. Införingen kommer att ske genom stegvis förflyttning av behållare och palett. SKB redovisar på ett bra sätt utrustning och införingsmetod i en serie principbilder, Figur 2-8 – 2-11. SKB har genomfört en test med luftkuddar i en specialbyggd utrustning med gott resultat. Efter testningen har man beslutat att övergå till att använda vatten som tryckmedium. Detta ställer dock stora krav på täthet mellan paletten och behållaren så att bentoniten inte väts. SKB gör slutbedömningen att metoden med vattenkuddar och palett som ansluts till deponeringsmaskinen är en fungerande teknik och rekommenderar den. Baserat på tillgänglig information delar författaren denna uppfattning förutsatt att den föreslagna metoden inte skadar buffertmaterialet under deponeringen.

I **avsnitt 2.6** redovisar SKB kunskapsläget beträffande bufferten och buffertmaterialet för behållaren. SKB har genomfört och genomför fortfarande en handfull olika experiment med sikte på att besvara de mest kritiska frågorna, bl a de som behandlar vattenupptagningen och svällningen och tätningen av mellanrummet mellan berget och den perforerade behållaren samt distansblocken mellan behållarna. Risken för erosion av bentoniten under och efter deponeringen är en annan kritisk fråga. För att besvara en del av de mest kritiska frågorna genomför SKB flera laboratorieförsök. Simulering av driftförhållanden för två behållare och mellanliggande distansblock har studerats i skala 1:10. Resultaten har visat att bentoniten sväller genom perforeringen och att det erforderliga svälltrycket uppnås. Svälltrycket har även blivit så högt att stålbehållaren spruckit sönder. Vidare genomför SKB en storskalig test för att belysa interaktionen mellan bentoniten och den perforerade behållaren.

SKB sammanfattar den tekniska utveckling som skett under år 2003 i **avsnitt 2.7** och konstaterar att borringstekniken med clusterboring fungerar tillfredsställande men kräver en del smärre förbättringar innan den kan tas i reguljär drift. SKB har valt att använda horisontell stigortsdrivning för boring av deponeringshålet för den kommande demonstrations-anläggningen i Äspölaboratoriet. När det gäller deponeringsutrustningen finner SKB att den föreslagna metoden med palett och vattenkudde kommer att fungera men att det ännu återstår att lösa problemet med värmets som alstras under transporten i tunneln. Fasthållning eller stopp av paletten gentemot bergväggarna under transporten är ett annat problem som måste studeras. För utformningen och funktionen av bufferten har man kunnat belägga att metoden med perforerad behållare fungerar men att frågorna som behandlar flöde och tryck och sammanhängande risk för erosion måste belysas bättre.

Rapportens **Kapitel 3** behandlar termiska analyser för KBS-3H och SKB slår inledningsvis fast att den maximala temperaturen på kapselns yta får maximalt uppgå till 100°C. Termiska beräkningar har utförts av både SKB:s konsulter (Hökmark och Fälth, 2003) och Posivas konsult (Ikonen, 2003). SKB:s konsulter har använt standardmässiga analytiska lösningar i kombination med numeriska modeller och genomfört en stor känslighetsanalys vid valet av olika dimensioner och materialparametrar samt redovisat resultaten i nomogram. I rapporten redovisas olika utformningar av behållare, spaltutformning samt bentonitens värmeledningsförmåga. Vidare redovisas resultatet för den bästa utformningen för fallet med en 1700 W kanister. En ändring av ledningsförmågan i berget från 2,4 W/mK till 3,2 W/mK leder till ett ökat centrumavstånd för behållarna på i det närmaste 3 m för det fall maximala kanistertemperaturen är 80 °C. De beräkningar som utförts av Posivas konsult verifierar de beräkningsresultat som SKB presenterat. Slutsatserna som kan dras av beräkningsresultaten visar att tunnelavstånd och centrumavstånd mellan behållarna är mycket känsliga för bergmassans värmeledningsförmåga samt den initiala temperaturen i bergmassan. Vidare har beräkningsresultaten visat att kopparkapselns och stålbehållarens emissionsförmåga är av stor vikt för att rätt beräkna värmeövergången i spalterna mellan kapsel/bentonit och bentonit/stålbehållaren.

I rapportens **Kapitel 4** redovisar SKB arbetet med säkerhetsanalysen för KBS-3H-konceptet. De viktigaste frågorna att belysa och som skiljer sig från referenskonceptet är buffertens beteende i behållarna och i distansblocken. Arbetet med säkerhetsanalysen bedrivs av SKB och Posiva tillsammans, men där Posiva har ett större ansvar för genomförandet. Man har valt att använda Olkiluoto som referensplats för säkerhetsstudien som beräknas få samma karaktär som SR-Can. Arbetet med utvärderingen av de mest kritiska delarna i analysen beräknas vara klara under innevarande år och en processrapport för KBS-3H planeras föreligga under mitten av år 2006. Kompileringen av säkerhetsanalysen för Olkiluoto beräknas föreligga klar i mitten av år 2007.

SKB har låtit en internationell expertgrupp granska och lämna synpunkter på KBS-3H-konceptet. Gruppen fann att konceptet är ett genomförbart alternativ till KBS-3V och att den långsiktiga säkerheten kan uppnås med det nya konceptet. Gruppen identifierade viktiga frågor som SKB underhand tagit upp och studerat och utvecklat. De viktigaste är:

- Termiska egenskaperna hos bergmassan före deponering
- Detaljerade termiska analyser
- Tätningskapaciteten, risken för kanalbildning och erosion av bentoniten
- Behov av lågt pH cement för tätningar och pluggar
- Gasbildning och gasmigration, kemiska och fysikaliska effekter från korrosion av stålbehållaren

SKB rekommenderar att följand frågor särskilt måste analyseras och studeras för det fortsatta säkerhetsarbetet:

- Systemets funktion och status under och efter deponeringen och förslutningen
- Egenskaper och funktion hos deponeringsbehållare och distansblock
- Termiska och mekaniska utvecklingen
- Deponeringsbehållarens funktion
- Behandlingen av vattenförande zoner som korsar deponeringshålet samt principer och effekter av injektering
- Funktionen hos tätningar och förslutningar i tunnlar och ramper
- Gasbildning och relaterade hydromekaniska processer i och omkring defekta koppar-järn kapslar
- Effekter av klimatförändringar och glaciationscykel
- Effekter av jordskalv
- Analyser av radionuklidtransport
- Positionering av depositionshål

För var och en av dessa frågor lämnar SKB en utförlig förklaring samt beskriver de enskilda delfrågor som avses behandlas i kommande arbete med säkerhetsanalysen.

I **Kapitel 5** i rapporten beskriver SKB platsvalet i Äspölaboratoriet för genomförande av demonstrationsanläggningen för KBS-3H. Av de fyra platser som studerats på olika djup i laboratoriet har en inbördes rankning av dessa lett till att demonstrationsanläggningen kommer att genomföras på nivå -220 m. Tre kärnborrhål har förborrats i samma riktning som de tre deponerinhålen kommer att borrar. Spricksystemet som redovisas domineras av brant stupande sprickgrupper vilket också är en effekt av att samtliga borrhål är riktade i det närmaste horisontellt.

I **Kapitel 6** redovisar SKB en tabellarisk sammanställning av resultaten av utformningsprojektet (Basic Design project) och i **Kapitel 7** redovisar SKB konklusionerna av det genomförda projektet under 2003. När det gäller den tekniska utvecklingen visar resultaten att utformning och tillverkning av den deponeringsutrustning som krävs för KBS-3H kan genomföras och att försöken och demonstrationerna i Äspölaboratoriet får visa om de föreslagna teknikerna kommer att fungera och ge de förväntade resultaten. Arbetet med säkerhetsanalysen har inletts med Posiva som huvudansvarig organisation. Den internationella utvärdering av KBS-3H-konceptet som genomfördes 2003 gav ett positivt resultat. Det bergtekniska underlaget för demonstrationsanläggningen för KBS-3H i Äspölaboratoriet genomfördes som planerat 2003. Arbetet med demonstrationsanläggningen bedrivs och rapporteras stegvis. En utvärdering av projektet kommer att ske år 2007.

4 Referenser

Autio, J., Saunio, T., Tolppanen, P., Raiko, H., Vieno, T. and Salo, J-P. 1996. Assessment of alternative disposal concepts. Posiva 96-12. Posiva Oy.

Hökmark, H. And Fälth, B. 2003. Thermal dimensioning of the deep repository. Influence of canister spacing, canister power, rock thermal properties and nearfield design on the maximum canister surface temperature. SKB TR-03-09.

Ikonen, K. 2003. Thermal analyses of a KBS-3H type repository. POSIVA 2003-11.

SKB, 1992. Projekt alternativstudier för slutförvar (PASS). Slutrapport. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2001. Forsknings-, utvecklings- och demonstrationsprogram för ett KBS-3-förvar med horisontell deponering. SKB R-01-55.

SKB, 2002. Övergripande konstruktionsförutsättningar för djupförvaret i KBS-3-systemet. SKB R-02-44. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2003. Utredning rörande tillträdesvägar till djupförvarets deponeringsområden. Schakt eller ramp? SKB R-03-11. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2004a. Choice of rock excavation methods for the Swedish deep repository for spent nuclear fuel. SKB R-04-62. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2004b. Summary report of work done during Basic Design. SKB R-04-42. Svensk Kärnbränslehantering AB.

www.ski.se

STATENS KÄRNKRAFTINSPEKTION
Swedish Nuclear Power Inspectorate

POST/POSTAL ADDRESS SE-106 58 Stockholm

BESÖK/OFFICE Klarabergsviadukten 90

TELEFON/TELEPHONE +46 (0)8 698 84 00

TELEFAX +46 (0)8 661 90 86

E-POST/E-MAIL ski@ski.se

WEBBPLATS/WEB SITE www.ski.se