

BROMMA GEOKONSULT

Jämförande bedömning av platserna Forsmark och Laxemar som lämpliga för slutförvar av använt kärnbränsle

Öivind Toverud
[2010-05-18]

Innehållsförteckning

Sammanfattning

1	Inledning	1
1.1	Uppdraget.....	1
1.2	Expertgruppen INSITE	2
1.3	Disposition av rapporten	3
2	Bakgrund	5
2.1	Lokaliseringsarbetet startar	5
2.2	Förstudier och platsval	5
3	Lokaliseringsalternativen Forsmark och Laxemar	7
3.1	Forsmark	7
3.2	Laxemar	11
4	SKB:s utgångspunkter för platsvalet	14
5	SKB:s lokaliseringsfaktorer och värderingsmetodik	15
5.1	Lokaliseringsfaktorer	15
5.2	Säkerhetsrelaterade platsegenskaper	16
5.2.1	SKB:s säkerhetsanalys SR-Can	17
5.2.2	Bergets sammansättning och strukturer	19
5.2.3	Bergmekaniska förhållanden	24
5.2.4	Grundvattenströmning	24
5.2.5	Grundvattnets sammansättning	25
5.2.6	Fördröjning av lösta ämnen	26
5.2.7	Framtida klimatutveckling	26
5.2.8	Biosfärsförhållanden	26
5.2.9	Platskännedom	26
5.3	Teknik för genomförande	26
5.3.1	Flexibilitet	27
5.3.2	Tekniska risker	27
5.3.3	Behov av teknikutveckling	28
5.3.4	Funktionalitet	28
5.3.5	Synergieffekter	29
5.3.6	Kostnader	30
6	Värdering av lokaliseringsfaktorer	31
6.1	Säkerhetsrelaterade platsegenskaper	31
6.1.1	Bergets sammansättning och strukturer	31
6.1.2	Bergmekaniska förhållanden; jordskalv och spjälkning	32

6.1.3	Grundvattenströmning	35
6.1.4	Grundvattnets sammansättning.....	42
6.1.5	Förmåga att fördröja utsläppta radionuklider	46
6.1.6	Framtida klimatutveckling.....	48
6.1.7	Biosfärförhållandena.....	49
	mellan platserna är små jämfört med osäkerheterna i sådana bedömningar. .	49
6.1.8	Platskännedom	49
6.2	Teknik för genomförande	50
6.2.1	Flexibilitet.....	50
6.2.2	Tekniska risker och teknikutvecklingsbehov.....	55
6.2.3	Funktionalitet.....	57
6.2.4	Synergieffekter.....	58
6.2.5	Kostnader och SKB:s slutsatser.....	59
7	SKB:s samlade värdering och val.....	62
7.1	Principer för platsvalet.....	62
7.2	Jämförelse av platserna	62
7.3	SKB:s slutsats	63
8	Slutsatser Bromma Geokonsult	65
	Referenser	68

Sammanfattning

Som underlag för platsvalet att bygga ett slutförvar för använt kärnbränsle publicerade Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB) i juni 2009 den öppna rapporten Slutförvar för använt kärnbränsle i Forsmark – underlag och motiv för platsval, dokumentID 1207622.

Bromma Geokonsult (BG) har fått i uppdrag av Kärnavfallsrådet att bedöma innehållet och argumenten i SKB:s öppna rapport. Uppdraget i sin helhet omfattar aktiviteter angivna i kapitel 1.1 i denna rapport. Utgångspunkten för bedömning och utvärdering av SKB:s övriga rapporter har varit de faktorer som SKB använt i den öppna rapporten för en samlad värdering för att välja slutförvarsplats för använt kärnbränsle, i första hand lokaliseringsfaktorerna Säkerhetsrelaterade platsegenskaper och Teknik för genomförande.

Bromma Geokonsult kan konstatera att med nuvarande kunskapsnivå om Forsmark och Laxemar redovisad i SKB:s öppna rapport, publicerade rapporter om platsbeskrivande modeller och framför allt i SKB:s senaste säkerhetsanalys SR-Can finns det förståelse för SKB:s val av Forsmark före Laxemar som slutlig förvarsplats för använt kärnbränsle. Det är dock viktigt att konstatera att dataunderlaget för Laxemar i SR-Can var begränsat i förhållande till motsvarande underlag för Forsmark.

En förnyad preliminär säkerhetsanalys från respektive plats, med någorlunda samma informationsmängd som underlag innan tillkännagivandet i juni 2009, skulle kunna ha styrkt SKB:s val av Forsmark. En jämförbar säkerhetsanalys för båda platserna har också efterlysts av Kärnavfallsrådet.

Förvaret i sig kommer att utgöra en kraftig geofysisk anomali varför viss risk finns för att området i en avlägsen framtid kan bli föremål för malmprospektering. Innan ett uteslutande av mineraliseringar i nord/nordostlig riktning utanför prioriterat område kan ske torde SKB:s slutsats att framtida exploaterbara mineraltillgångar saknas i Forsmark kunna behöva genomlysas ytterligare.

SKB återkommer i sin bedömning i den öppna rapporten till att huvudskälet för valet av Forsmark är att bergförhållandena, speciellt med avseende på sprickfrekvens och vattenflöde på förvarsdjup, i Forsmark ger betydligt lägre risker för omfattande åtgärdsbehov utöver vad som planeras. SKB framhåller också ofta i rapporten att det föreligger större tekniska genomföranderisker i Laxemar i jämförelse med Forsmark. SKB framför visserligen att det också finns risker med höga bergspänningar i Forsmark men att dessa är relativt lätta att komma till rätta med. SKB förutser också problem vid passage av relativt ytligt belägna kraftigt vattenförande zoner i Forsmark men även detta anser SKB vara ett överkomligt problem.

SKB nämner också att det pågår en omfattande utveckling av nya metoder och material för att täta berget. Det är både anmärkningsvärt och oroväckande att SKB ca ett halvt år innan ansökan om att få bygga slutförvaret inte nått längre i sin teknikutveckling att täta sprickigt berg. Det kan konstateras att det nu gått 15 år sedan Äspölaboratoriet färdigställdes där mycket erfarenhet erhållits hur man bygger en underjordsanläggning i sprickrikt vattenförande berg ner till 460 meters djup. Det är därför rimligt att anta att

SKB i Äspölaboratoriet skaffat mycket kunskap under bygg- och driftskedet om tätning av sprickigt berg för tillämpning i slutförvaret.

Sammantaget kan konstateras att SKB:s bedömning av byggtekniska svårigheter i Forsmark präglas av optimism medan motsvarande bedömning av Laxemar är pessimistisk där underlaget för bedömningarna kunde ha utvecklats och förtydligats.

I Forsmark begränsas deponeringsområdet i sydväst av en större deformationszon. Att denna zon slutar ungefär vinkelrätt mot en annan beskriven deformationszon är inte fastlagt även om riktningen är fastlagd i åtminstone två borrhål. Om förstnämnda zon är yngre än den senare zonen är det rimligt att anta att den förstnämnda zonen slutar såsom SKB föreslagit i sin modell mot den andra beskrivna zonen. Är däremot förhållandena de motsatta innebär det att först nämnda zon kan ha en icke dokumenterad fortsättning förbi den korsande zonen. Vid eventuellt framtida jordskalv skulle detta kunna innebära att först nämnda zon kan propagera rakt igenom förvaret och påverka integriteten hos många deponerade kapslar. SKB behöver därför överväga om layouten för Forsmark behöver revideras.

Sammanfattningsvis kan konstateras att SKB:s påstående att det inte finns några avgörande skillnader mellan platserna vad gäller bruttokapacitet för ett förvar inom de områden som är väl undersökta, eller för framtida utbyggnadsmöjligheter kan diskuteras. Anledningen till detta är att en rättvis jämförelse inte kan göras eftersom SKB själva framhåller att 2 000 nordligt belägna kapselpositioner i Laxemar inte anses lämpliga. För att kunna jämföra layouterna borde SKB ha redovisat en reviderad layout för Laxemar med deponeringstunnlar belägna i något av föreslagna utvidgningsområden.

SKB:s bedömning och argumentation i redovisad öppna rapport utgår från att bygga förvaret på ca 500 m förvarsdjup på båda platserna. Det kan konstateras att något svar och bedömning av långsiktig säkerhet för ett förvar på 700 m i Laxemar troligen aldrig kommer att erhållas eftersom inga planer verkar finnas för ytterligare undersökningar i Laxemar på detta djup. Eftersom SKB nu lämnar fältet öppet för spekulationer om det varit möjligt att bygga ett förvar i Laxemar på 700 m djup hade det därför varit önskvärt att SKB åtminstone reducerat graden av osäkerhet genom ytterligare undersökningar på detta djup innan beslutet togs att avfärda Laxemar.

Vad som däremot kan konstateras är att det skulle blivit ännu dyrare att bygga ett förvar i Laxemar på 700 m djup i jämförelse med förvaret i Forsmark på 500 m djup. Om däremot redovisade yttre faktorer beaktas så utfaller jämförelsen, som också SKB påpekar, till Laxemars fördel.

SSM:s internationella expertgrupp INSITE håller i princip med om vad SKB redovisar i sin sammanfattning i den öppna rapporten men förbehåller sig rätten att uttala sig om SKB:s framförda synpunkter kopplade till dess betydelse för säkerhetsbedömningen. Anledningen är att framförda synpunkter kommer att behöva testas mot de resultat som kommer att presenteras i den planerade säkerhetsanalysen SR-Site. INSITE framför också uppfattningen att bergspänningarna i Forsmark kan visa sig vara mindre besvärliga (lägre spänningar) än vad SKB för närvarande räknar med. INSITE har också förståelse för SKB:s motivering att föredra Forsmark framför Laxemar. Gruppens

ståndpunkt om val av plats i slutet av de kompletta platsundersökningarna, bl.a. att utgående från gruppens kunskap om platsernas geologiska egenskaper, innebär att i princip båda platserna skulle vara möjliga platser för ett geologiskt slutförvar för radioaktivt avfall även om det är, som SKB anger, lättare och därmed innebär mindre projektrisk, att utveckla ett slutförvar och dess tillhörande "safety case" i Forsmark.

1 Inledning

Den 3 juni 2009 beslutade SKB:s styrelse att välja Forsmark som plats för slutförvaret för använt kärnbränsle. Motivet till beslutet redovisade SKB i en 57 sidor öppen rapport med namnet Slutförvar för använt kärnbränsle i Forsmark – underlag och motiv för platsval. En av anledningarna att tillkännage platsvalet innan ansökan om uppförande av slutförvaret och inkapslingsanläggning lämnas till myndigheterna, troligen i slutet av 2010 eller i början av 2011, var förmodligen att de aktuella kommunerna som varit föremål för platsundersökningar sedan 2002 var angelägna att för sin egen planering få ett så tidigt besked som möjligt från SKB. Ytterligare en anledning var sannolikt att SKB:s ägare bedömde att platsundersökningarna pågått under tillräcklig lång tid och nått en sådan mognadsgrad att ett slutligt platsval borde kunna göras. SKB gjorde också bedömningen att man hade tillräckligt underlag för att kunna ta ett beslut om slutförvarsplats för använt kärnbränsle trots att vissa underlagsrapporter, i första hand analysen av långsiktig säkerhet för vald plats, som stöd för beslutet ännu inte var publicerade.

1.1 Uppdraget

Bromma Geokonsult (BG) har fått i uppdrag av Kärnavfallsrådet att i ett första steg bedöma den rapport som utgjort SKB:s underlag för platsvalet och i ett senare steg bedöma övriga SKB-rapporter med relevans för platsvalet. Uppdraget i sin helhet omfattar följande aktiviteter angivna i lämnat anbud.

Steg 1 Översiktlig bedömning

Inläsning, bedömning och utvärdering av SKB:s öppna rapport gällande Slutförvar av använt kärnbränsle i Forsmark – underlag och motiv för platsval, dokumentID 1207622. I rapporten redovisar SKB sin strategi för val av plats för slutlig förvaring av använt kärnbränsle. Viktigast för valet är enligt SKB att välja den plats (Forsmark eller Laxemar) som ger bäst förutsättningar för att säkerhet på lång sikt ska uppnås i praktiken. Vid små skillnader i långsiktig säkerhet tas hänsyn till andra aspekter.

Utgångspunkten för Bromma Geokonsults bedömning och utvärdering av den öppna rapporten har varit de faktorer som SKB använt i rapporten för sin samlade värdering, i första hand lokaliseringsfaktorerna Säkerhetsrelaterade platsegenskaper och Teknik för genomförande. Eftersom inga referenser ges i denna öppna rapport har bedömningarna baserats på egna erfarenheter förvärvade genom olika genomförda granskningar från tidigt nittiotal fram till idag och särskilt under den tid platsundersökningar pågått. Preliminära resultat från utvärderingen har redovisats i en första rapport och även i form av en muntlig presentation vid Kärnavfallsrådets sammanträde 15 april 2010.

Steg 2 Djupare bedömning

Eftersom SKB i ovan nämnda rapport (dokumentID 1207622) inte angivit några referenser (rapporter) som valet av Forsmark baseras på har Bromma Geokonsult genomfört en djupare granskning, bedömning och utvärdering av framför allt två huvudrapporter (nivå 1) där SKB redovisar de samlade resultaten från sex års genomförda platsundersökningar på respektive plats. De tekniska rapporter som i första

hand bedömts är SKB TR-08-05 Site description of Forsmark at completion of the site investigation phase, SDM-Site Forsmark respektive SKB TR-09-01 Site description of Laxemar at completion of the site investigation phase, SDM-Site Laxemar. Utöver dessa rapporter har ett ytterligare antal relevanta SKB-rapporter utgjort underlag för genomförd granskning (se referenslistan).

Vid bedömningen av SDM-rapporterna har Bromma Geokonsult bland annat använt sig av Strålsäkerhetsmyndighetens (SSM) internationella expertgrupp INSITE:s (se nedan) utvärdering av ovan nämnda SKB-rapporter. De rapporter som använts är INSITE M-09-06 Review of SDM-Site Forsmark respektive INSITE M-09-07 Review of SDM-Site Laxemar. De geologiska och hydrogeologiska avsnitten har uppmärksammats i bedömningen av SDM-rapporterna eftersom rådande geologiska och hydrogeologiska förhållande har utpekats av SKB vara viktiga anledningar till att Forsmark valts före Laxemar. Även övriga avsnitt i rapporterna har kommenterats relativt utförligt.

Utgångspunkten för bedömningen av de två SDM-rapporterna har som ovan angetts i steg 1 varit de faktorer som SKB använt i rapporten (dokumentID 1207622) för sin samlade värdering, i första hand lokaliseringsfaktorerna Säkerhetsrelaterade platsegenskaper och Teknik för genomförande. Slutresultat från utvärderingen av SKB:s refererade rapporter har redovisats vid Kärnavfallsrådets sammanträde 20 maj 2010.

I denna slutrapport till Kärnavfallsrådet har Bromma Geokonsult redovisat och bedömt om SKB:s val av slutförvarsplats för använt kärnbränsle är välgrundat eller om frågor återstår som borde utretts vidare innan valet av Forsmark offentliggjordes i juni 2009.

1.2 Expertgruppen INSITE

För att från myndighetssidan kunna följa och bedöma genomförande av planerade platsundersökningar, som skulle komma att bli mycket omfattande, fann Statens kärnkraftinspektion (SKI) att det inte skulle vara möjligt att utan extern hjälp kunna få inblick i all verksamhet kopplad till undersökningarna. För att ha en realistisk möjlighet att inom rimlig tid bedöma en kommande ansökan från SKB att bygga ett slutförvar för använt kärnbränsle på vald plats fann SKI det nödvändigt att redan vid starten av platsundersökningarna anlita en grupp av externa välrenommerade internationella experter som stöd för myndighetens ansvarsområde. Experternas uppgift var att tidigt kunna identifiera den information som SKB behövde ta fram från en plats och som är nödvändig för att bedöma slutförvarets långsiktiga säkerhet.

Avsikten med bildandet av expertgruppen benämnd INSITE (Independent Site Investigation Tracking and Evaluation), som etablerades 2002 var att följa SKB:s planerade sexåriga platsundersökningsprogram och även genomföra tekniska granskningar inom specifika områden och ge råd och rekommendationer till SKI inför samråden med SKB. Mer i detalj omfattade arbetet att:

- ge synpunkter på omfattningen av undersökningarna, metoder och använd teknik, kvalitet och mängd av erhållna data och hur information hanteras,
- kommentera tolkningar av platsen egenskaper och dess eventuella betydelse för och påverkan på design och utförande och eventuella osäkerheter som kan förekomma,
- kommentera konceptuella modeller av strukturella, hydrogeologiska, geokemiska och bergmekaniska aspekter för platsen, inklusive alternativa modeller, som skulle komma

att användas för slutförvarets design och säkerhetsanalys,
- ge råd till SKI gällande resurser och verktyg som man kommer behöva för att utvärdera och tolka data som tas fram genom SKB: s platsundersökningar,
- ge råd till SKI om alla identifierade viktiga frågor och föreslå frågor som SKI kan vilja ställa till SKB i regelbundna samrådsmöten.

Syftet med gruppens råd var att ge myndigheten aktuella synpunkter på undersökningarna, i form av förväntningar på innehåll, kvalitet och omfattning av en tillståndsansökan från SKB att bygga ett slutförvar. I slutskedet av uppdraget under 2009 har INSITE utvärderat SKB:s SDM-rapporter för Forsmark respektive Laxemar. Utvärderingen av Laxemar har inte varit lika omfattande som för Forsmark eftersom SKB valde Forsmark som slutförvarsplats innan gruppen påbörjade utvärderingen av Laxemar-rapporten. Gruppens uppgift har inte varit att avgöra vilken av platserna som är bäst lämpad för slutförvaret av använt kärnbränsle.

Sent under 2009 fick gruppen även uppdraget att kommentera SKB:s översättning av SKB:s öppna rapport, främst programmet för platskaraktärisering och SDM resultat, beträffande valet av Forsmark som slutförvarsplats för använt kärnbränsle.

INSITE gruppens ordförande och tillika ansvarig för övergripande strategifrågor har varit Neil Chapman, Schweiz. Övriga deltagare var Ove Stephansson, Tyskland och Sven Tirén från Sverige med ansvarsområde bergmekanik respektive strukturgeologi och datahantering, från USA Joel Geier med specialitet geologi och hydrogeologi och Chin-Fu Tsang med frågor kopplade till säkerhetsanalys och strategi samt Adrian Bath från England med ansvarsområde geokemi. Samtliga deltagare i gruppen bortsett från Adrian Bath har sedan början på 90-talet anlitats av SKI i olika forskningsuppdrag och även bistått SKI i myndighetens arbete med den egna omfattande säkerhetsanalysen SITE-94. Gruppens medlemmar har även utgjort ett expertstöd till SKI vid granskningen av SKB:s två senaste Fud-program 2004 och 2007.

Gruppens arbetsform har omfattat deltagande i s.k. Core Group Meetings, tekniska granskningar i fält (Field Technical Reviews, FTR), expertmöten och upprättande av två typer av frågelistor till SKB och en lista för egen och SSM:s användning; Tracking Issues List, TIL, Consolidated Review Issues, CRI och Structured Review Topics, SRT. Utöver detta har gruppmedlemmar, tillsammans med medlemmar från Statens strålskyddsinstitut (SSI) motsvarighet till INSITE kallad OVERSITE, ingått i en grupp benämnd SIG, Site Investigation Group som på uppdrag av SKI och SSI deltog i utvärderingen av SKB:s senaste säkerhetsanalys SR-Can.

1.3 Disposition av rapporten

För att läsaren lätt skall kunna spåra källan till synpunkter och kommentarer av Bromma Geokonsult i denna slutrapport har i stort sett samma kapitelindelning och rubriker använts som i SKB:s öppna rapport. Dessutom har mycket av SKB:s rapporttext, och relevanta figurer, i den öppna rapporten återgetts inledningsvis i varje kapitel mer eller mindre ordagrant i denna slutrapport. Även vid bedömning och utvärdering av SDM-rapporterna har texterna sorterats in under de rubriker som återspeglar de faktorer som SKB använt i den öppna rapporten för sin samlade värdering för att välja

slutförvarsplats för använt kärnbränsle, i första hand lokaliseringsfaktorerna Säkerhetsrelaterade platsegenskaper och Teknik för genomförande.

I kapitel 2 redovisas en kort bakgrund till platsvalsprocessen. Kapitel 3 utgör en översiktlig beskrivning av lokaliseringsalternativen Forsmark och Laxemar där texten delvis är hämtad från SKB:s öppna rapport men även från andra SKB-rapporter. I kapitlet kommenteras också de tolkningar som SKB gjort av bergarts- och sprickdomäner och deformationszoner i respektive kandidatområden. Kapitel 4 innefattar SKB:s utgångspunkter för platsvalet. Kapitel 5 och 6 handlar om SKB:s använda lokaliseringsfaktorer och värderingsmetodik och hur faktorerna värderats. Kapitel 7 utgör SKB:s samlade värdering för val av plats. Kapitel 8 utgör en värdering av Bromma Geokonsult beträffande SKB:s motiv för val av slutförvarsplats för använt kärnbränsle och även synpunkter från INSITE på den engelska versionen av SKB:s öppna rapport.

2 Bakgrund

Bromma Geokonsult redovisar i detta kapitel hur den svenska berggrunden började undersökas i mitten på sjuttioalet med avsikten att finna en lämplig plats för slutförvaring av använt kärnbränsle. Delar av den återgivna texten är hämtad från SKI:s tekniska tidskrift Nucleus nr 4/2001 och 4/2003.

2.1 Lokaliseringsarbetet startar

Under perioden 1977-1985 bedrev kärnkraftindustrin genom bolaget SKBF omfattande typområdesundersökningar av den svenska kristallina berggrunden för att utreda om det fanns någon lämplig plats för slutförvaring av kärnavfallet. Omfattande undersökningar bedrevs från Sternö i Blekinge i söder upp till Kamlunga i Norrbotten medan begränsade undersökningar bedrevs bl.a. inom områdena Boa i Blekinge, Kynnefjäll i Bohuslän upp till Taavinunnanen i norra Lappland.

I samband med några av de tidiga genomförda undersökningarna insåg SKB att det inte enbart handlade om att finna en bra berggrund utan att det var i allra högsta grad nödvändigt att förankra processen hos lokalbefolkningen. SKB tillskrev därför hösten 1992 samtliga kommuner i landet för att få reda på intresset för att delta i arbetet med att finna en lämplig plats för slutförvaret. År 1992 får därför anses som en vändpunkt och återstart för platsvalsprocessen som från detta år kom att baseras på frivilligt deltagande hos intresserade kommuner.

2.2 Förstudier och platsval

SKB har under perioden 1993-2000 genomfört förstudier i åtta kommuner: Storuman, Malå, Nyköping, Tierp, Älvkarleby Östhammar, Oskarshamn och Hultsfred. Syftet med förstudierna var att bedöma om det fanns förutsättningar för vidare lokaliseringsstudier av ett slutförvar i någon av kommunerna. En huvuduppgift var att identifiera områden med berggrund som kunde ha potential för ett slutförvar. Geologiska studier utgjorde därför en huvudkomponent, men inga borrhningar utfördes i detta skede.

Efter ett negativt resultat av folkomröstningar i kommunerna Storuman och Malå i Västerbottens län lämnade SKB dessa kommuner. Kommunfullmäktige i Nyköpings kommun beslutade i maj 2001 att inte längre delta i processen. Efter att regeringen, i beslut 1 november 2001 över SKB:s komplettering av Fud-program 1998, gett SKB klartecken att påbörja platsundersökningar i Östhammars, Oskarshamns och Tierp/Älvkarlebys kommun beslutade fullmäktige i Östhammar (4 december 2001) och Oskarshamn (11 mars 2002) med stor majoritet att säga ja till platsundersökningar i kommunen medan fullmäktige i Tierps kommun under våren 2002 beslutade att inte längre delta i processen. En konsekvens av Tierps nej blev att även Älvkarleby kommun föll bort. Sedan också Hultsfreds kommun valts bort av SKB återstod kärnkraftskommunerna Östhammar och Oskarshamn som kandidater för platsundersökningar.

SKB påbörjade platsundersökningarna i kommunerna Oskarshamn och Östhammar under 2002 och avslutade den praktiska fältverksamheten under 2007 medan den slutliga sammanfattande avrapporteringen redovisades i två huvudrapporter utgörande

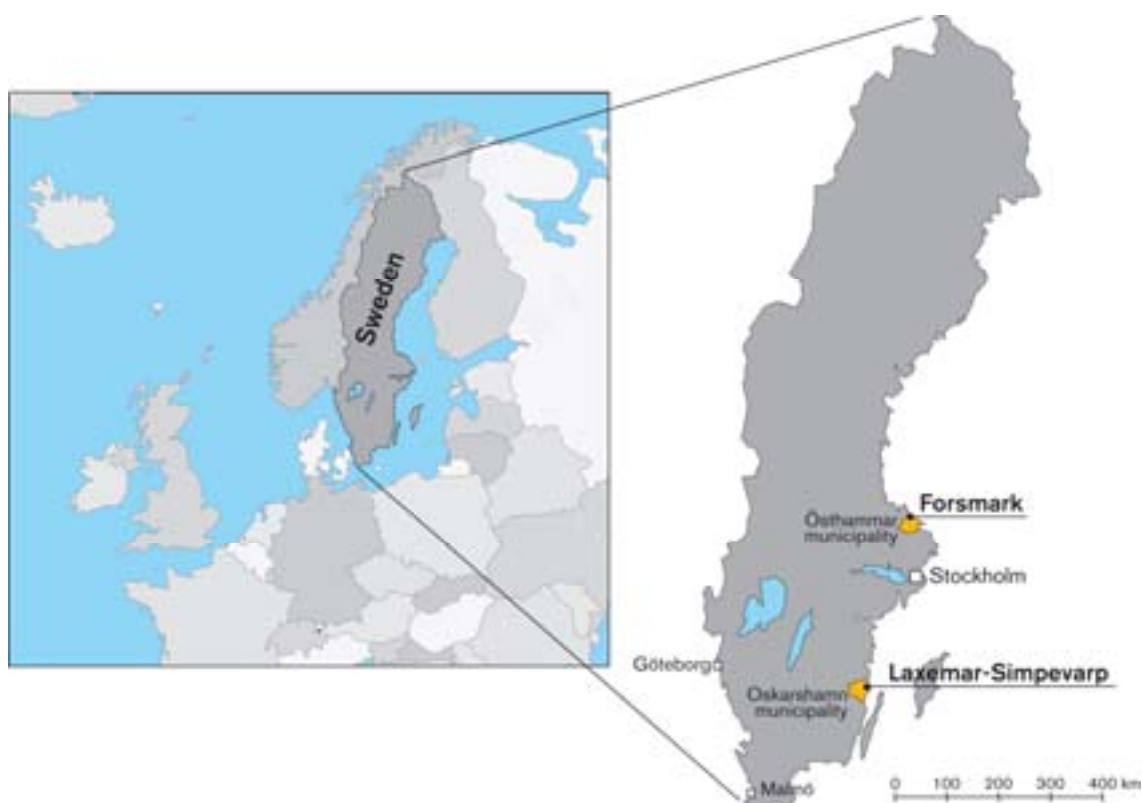
platsbeskrivande modeller (SDM) för respektive plats under 2009. Undersökningarna genomfördes i två olika faser, en inledande fas (ISI) och en komplett fas (CSI) under de ca 6 år som ytundersökningar pågick. På grund av komplicerade markägarförhållanden i Laxemarsområdet i Oskarshamns kommun påbörjades undersökningarna i Laxemar först under år 2004. Mellan 2002 och 2004 utfördes undersökningar på Simpevarpshalvön men övergavs 2005 till förmån för Laxemar.

SKB:s omfattande undersökningar har under tiden från 2002 fram till augusti 2009 genererat totalt 1746 rapporter varav 1360 utgör rapporter publicerade i SKB:s P-rapportserie (ung 700 rapporter för respektive plats) medan 380 rapporter tryckts som TR eller R-rapporter. P-rapporterna innehåller platsspecifika data medan de andra rapporterna avhandlar analyser och modellering liksom mer allmänna processer relaterade till frågor om långsiktig säkerhet.

3 Lokaliseringsalternativen Forsmark och Laxemar

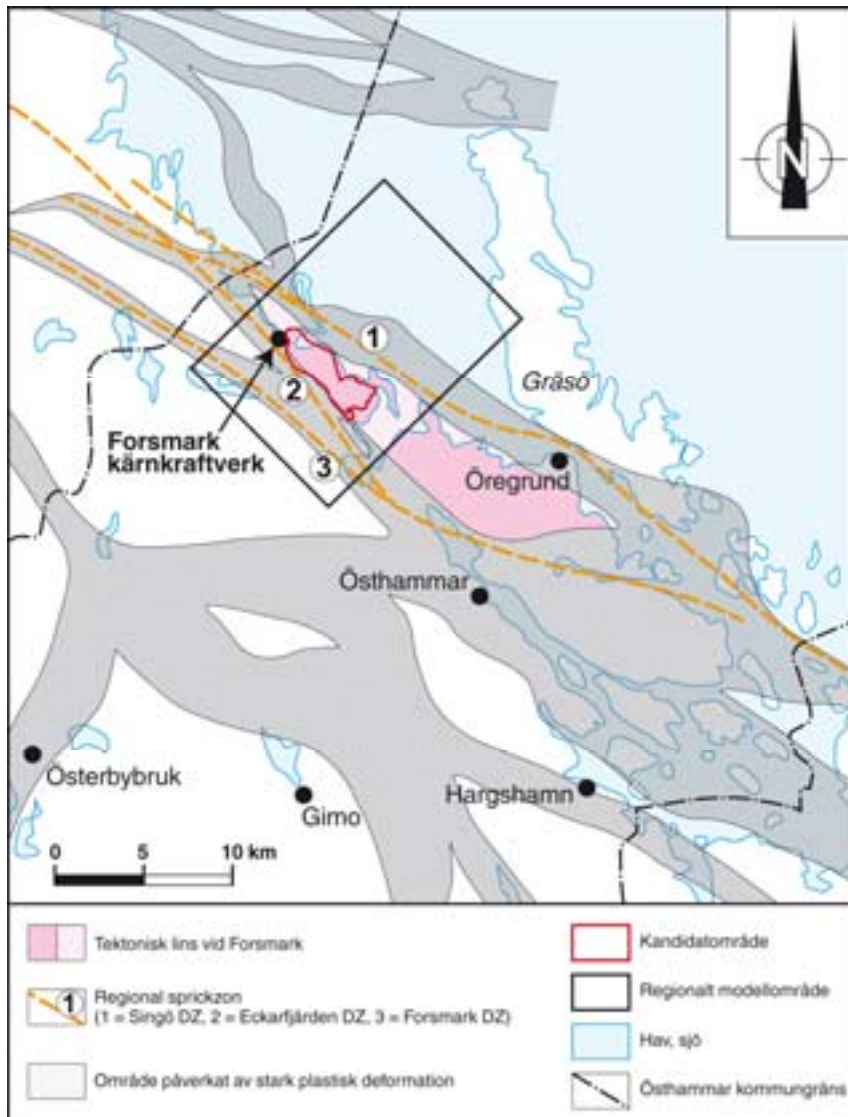
3.1 Forsmark

Forsmark ligger i Östhammars kommun i Norduppland (figur 3-1). Avståndet till Stockholm är ca 17 mil. Inom industriområdet i Forsmark finns kärnkraftverket med tre reaktorer och infrastruktur för dessa. I anslutning till hamnen ligger SKB:s slutförvar för kortlivat radioaktivt avfall (SFR).



Figur 3-1. Kandidatplatserna för ett slutförvar (SKB TR-08-05).

SKB:s platsundersökning i Forsmark omfattade inledningsvis ett cirka 6 km långt och 2 km brett område, det så kallade kandidatområdet (figur 3-2). Det utgör den nordvästra delen av en långsträckt s.k. tektonisk lins, där berggrunden förväntades ha bevarats förhållandevis ostörd i en regional omgivning med stora deformationszoner. SKB anser att undersökningarna bekräftade denna bild, och har efterhand koncentrerat arbetet till den nordvästra delen av området, som sedan karaktäriserats mera detaljerat och utgör det tilltänkta förvarsområdet. Totalt har platsundersökningen innefattat 25 kärnborrhål, 23 inom kandidatområdet varav 22 är belägna inom prioriterat område. 21 hål når förvarsdjupet eller djupare och mer än 100 andra borrhål (40 hammarborrhål och drygt 60 jordborrhål) samt ingående geovetenskaplig och ekologisk kartläggning på ytan har genomförts. Kartläggningen av berggrunden har skett genom ytkartering av exponerade och framgrävda hållområden. Borrhålen har undersökts med SKB:s standardiserade program för geologisk, geofysisk, hydrogeologisk och hydrogeokemisk metodik. Denna metodik har även tillämpats i Laxemar.

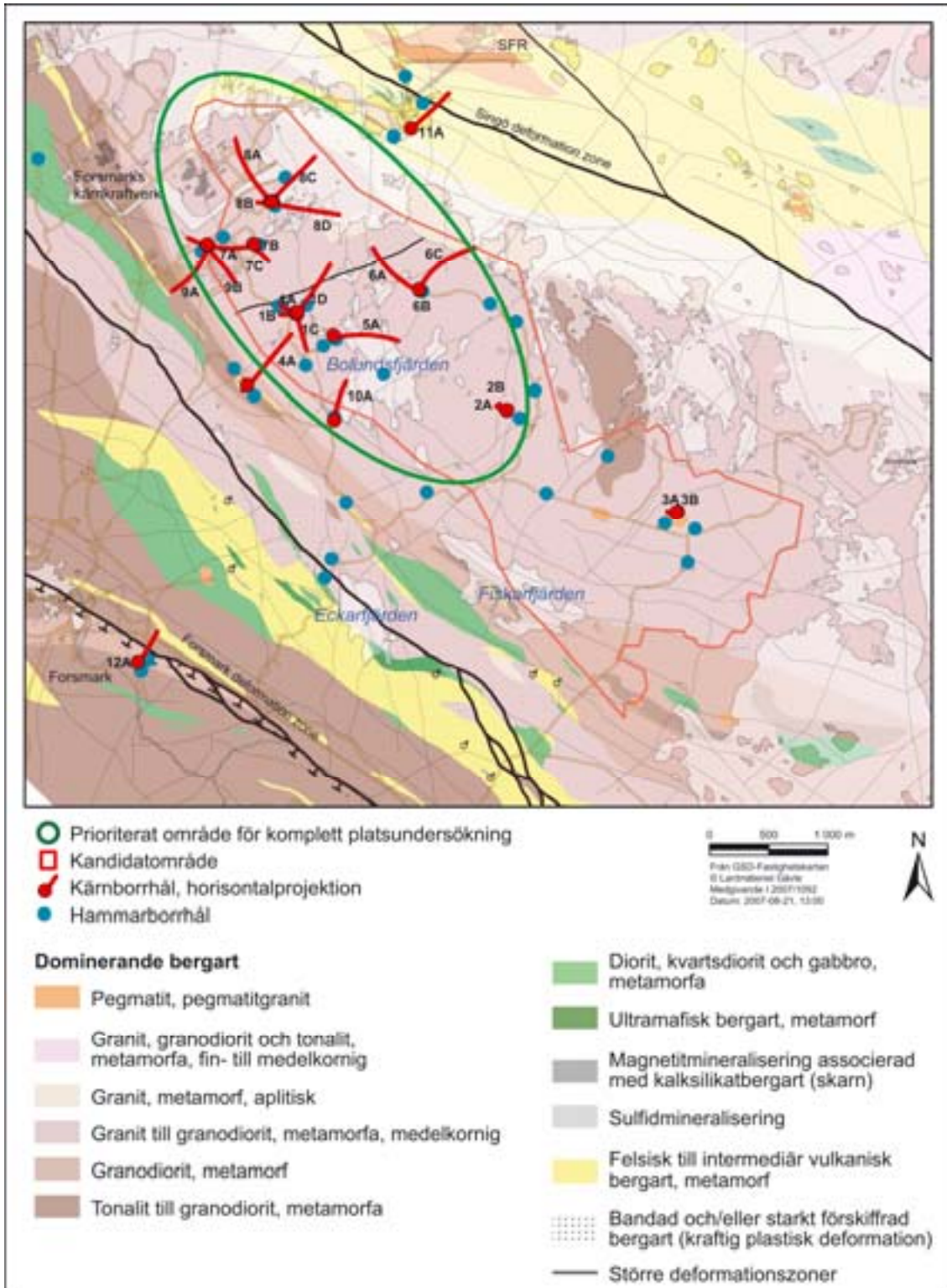


Figur 3-2. Den tektoniska linsen i Forsmark, regionala sprickzoner och kandidatområdet (SKB R-07-24).

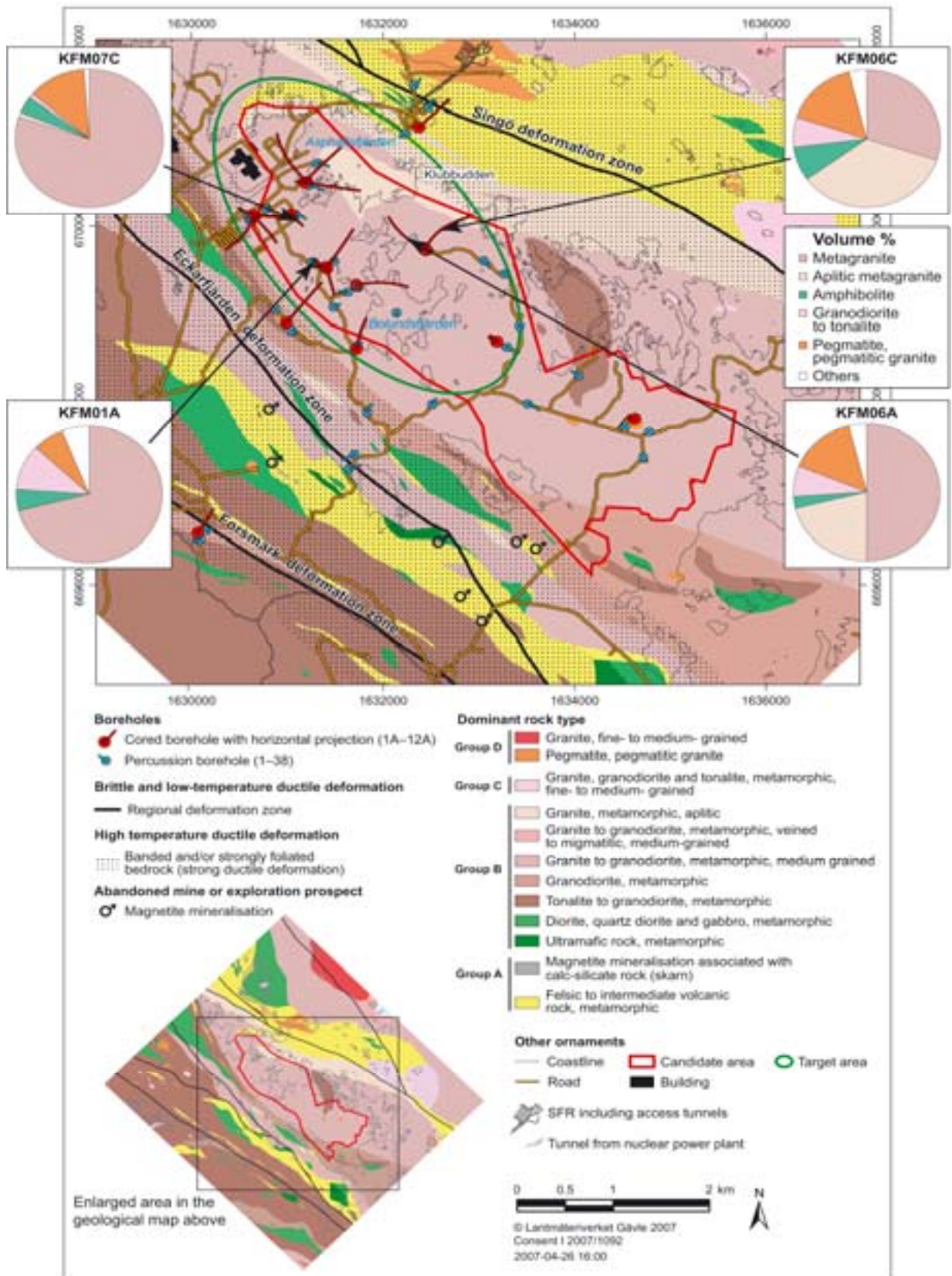
Den undersökta *berggrunden* är geologiskt homogen och domineras, från ytan och ner till åtminstone 1 000 meters djup, av metagranit med högt innehåll av kvarts (figur 3-3a och 3-3b). Berget har hög termisk ledningsförmåga och god hållfasthet. En svagt lutande deformationszon delar kandidatområdet i två huvuddelar. Förvarsområdet ligger nordväst om denna zon och korsas av brant stupande zoner.

Från ytan och ner till som mest ca 200 meters djup är frekvensen av vattenförande flacka sprickor enligt SKB:s bedömning relativt hög. Sprickorna står i hydraulisk förbindelse med varandra över stora avstånd. Tillsammans med de svagt lutande zonerna utgör dessa sprickor de huvudsakliga flödesvägarna. Frekvensen av vattenförande sprickor blir avsevärt lägre mot djupet. På djup större än 400 meter är medelavståndet mellan vattenförande sprickor mer än 100 meter. Bergspänningarna är högre än vad som är normalt i den svenska berggrunden men ökar endast långsamt mot djupet. Bergets hållfasthet är relativt hög. Grundvattnets salthalt och ålder ökar mot djupet. Vattensammansättningen i förvarsområdet skiljer sig från den i den svagt

lutande zonen i sydost. SKB:s bedömning är att detta beror på att vattnet i förvarsberget har varit isolerat från ytligt vatten under lång tid medan vattnet i den svagt lutande zonen innehåller spår av vatten från Littorinahavet, som täckte området för 9 500 till 5 000 år sedan.



Figur 3-3a. Geologi och numrerade borrhål i Forsmark (SKB öppen rapport).



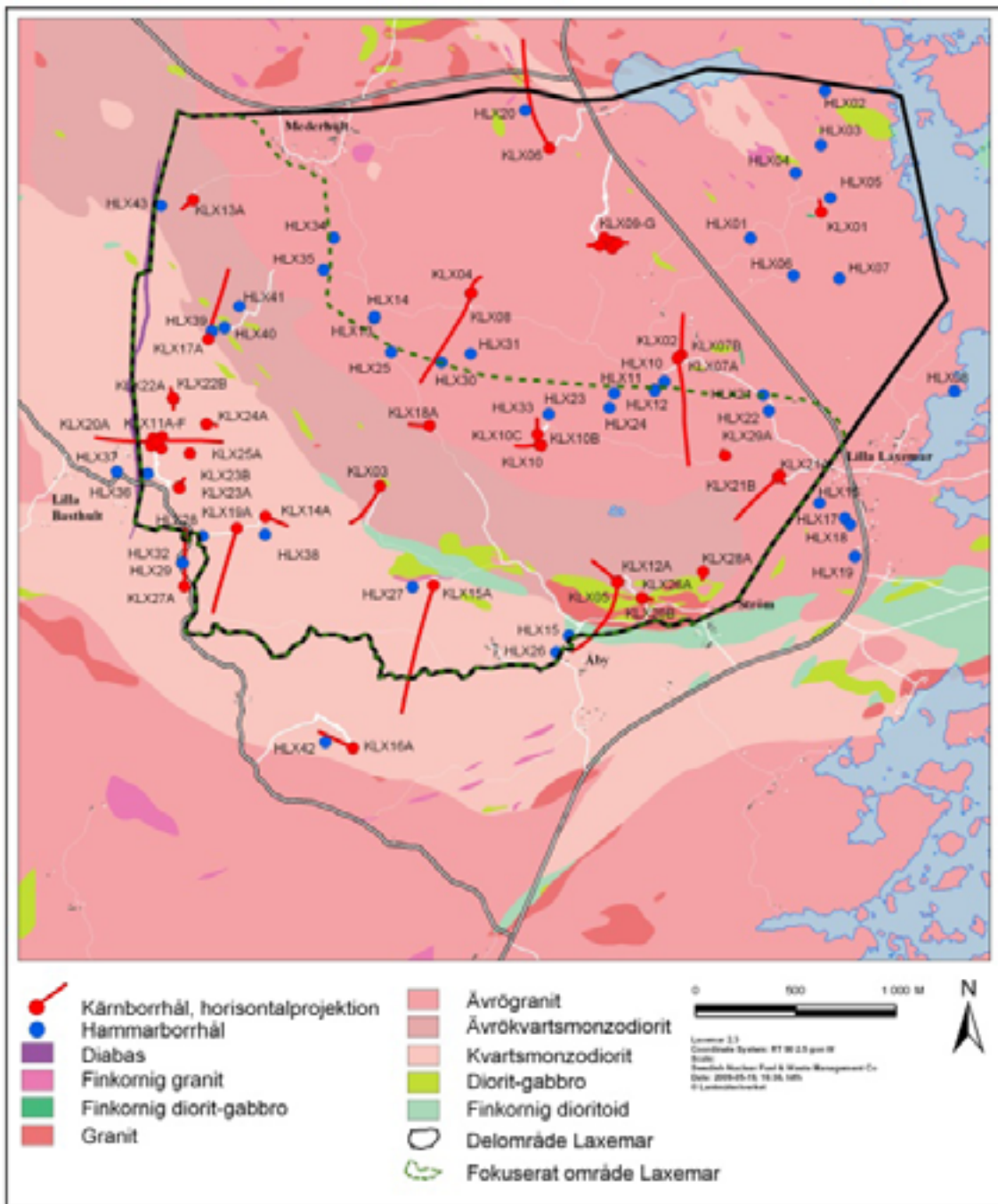
Figur 3-3b. Geologi/bergartsfördelning i fyra olika borrhål i Forsmark (SKB TR-08-05).

3.2 Laxemar

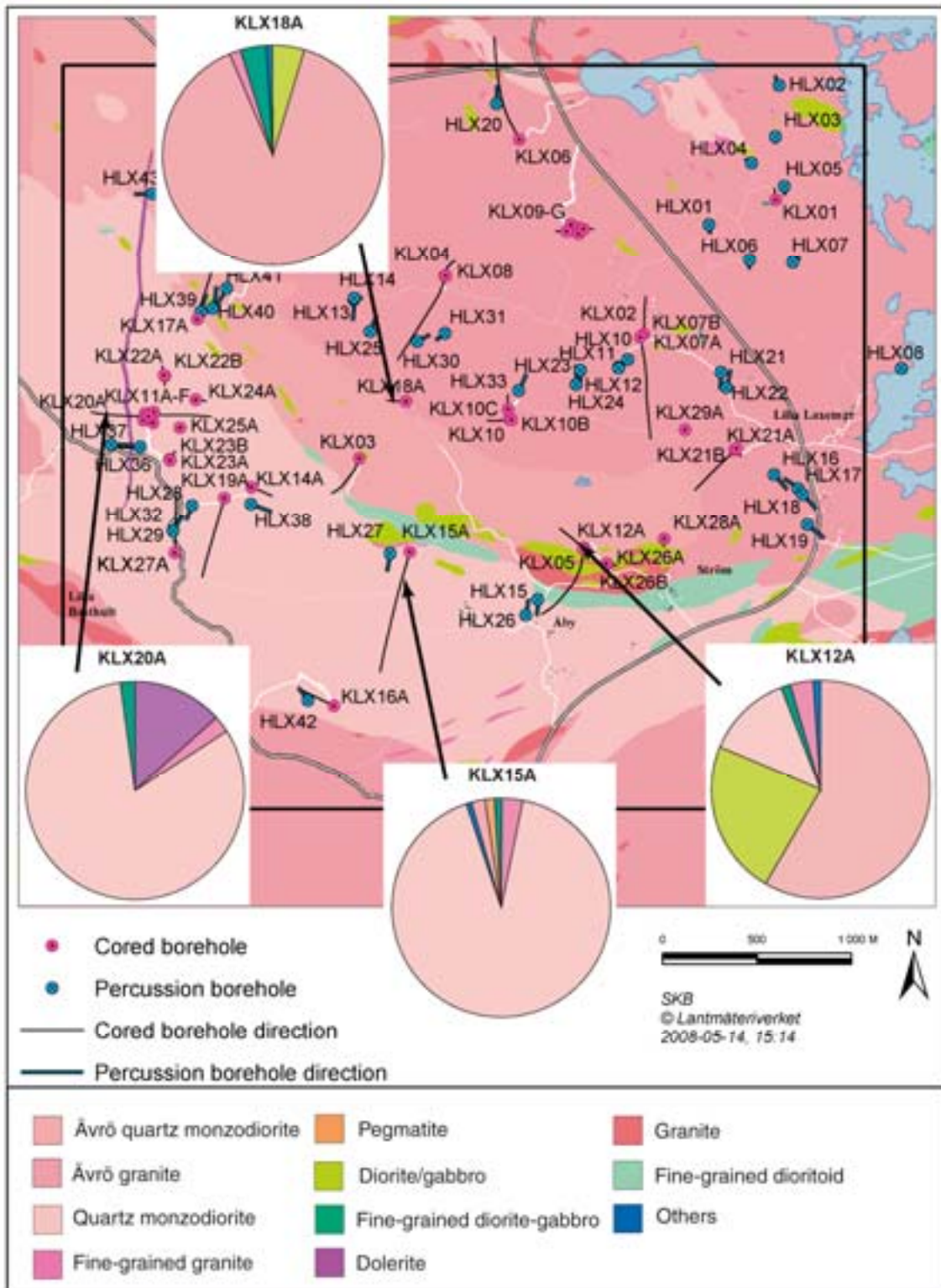
Laxemarområdet ligger i Oskarshamns kommun cirka två mil norr om Oskarshamns tätort (figur 3-1). Det område som är aktuellt för slutförvaret ligger nordväst om kustvägen och cirka två kilometer väster om kärnkraftverket och Clab på Simpevarpshalvön. Ungefär tre kilometer åt nordost finns Äspölaboratoriet.

Enligt SKB har platsundersökningen inneburit en stegvis fokusering mot det område som nu är aktuellt för ett slutförvar. Inledningsvis gjordes undersökningar av två alternativa delområden – Simpevarp (Simpevarpshalvön-Ävrö-Hålö) respektive Laxemar, väster om Simpevarp. Laxemar prioriterades eftersom området är större och bland annat därför ger ökad flexibilitet. De fortsatta undersökningarna har lett till att SKB prioriterat de södra och västra delarna av Laxemarområdet, främst därför att bergets vattenförande egenskaper bedömdes vara gynnsammare där än i den norra delen. Totalt har platsundersökningen innefattat 46 kärnborrhål, varav 19 hål (17 inom fokuserat område) går ner till förvarsdjupet eller djupare och över 200 andra borrhål (43 hammarborrhål och ca 190 jordborrhål) samt ingående geovetenskaplig och ekologisk kartläggning på ytan. Noterbart är att 11 kärnborrhål, inkluderande det tidigare borrhålet KLX01, når djupare än 650 m. Dessutom finns ett äldre borrhål i Laxemar KLX02 utanför kandidatområdet som når ca 1 700 m djup och på Simpevarpshalvön öster om Laxemar finns 5 kärnborrhål som når djupare än 700 m. Dessutom finns ett antal kärnborrhål i omgivningen som borrades i samband med uppförande av Äspölaboratoriet.

SKB noterar att *berggrunden* inom det fokuserade området (figur 3-4a och 3-4b) domineras av kvartsmonzodiorit och Ävrögranit med lågt innehåll av kvarts. Bergarterna kännetecknas av relativt låg värmeledningsförmåga och varierande hållfasthet. Det prioriterade området avgränsas av brant stupande deformationszoner. Inga större svagt lutande deformationszoner har identifierats. Mellan deformationszonerna är sprickfrekvensen låg. De översta 150 m av berget har relativ hög frekvens av vattenförande sprickor, medelavstånd cirka 1 m, men frekvensen avtar med djupet. Mellan 400 och 650 meters djup är medelavståndet mellan sådana sprickor 5 – 10 m. På ännu större djup, preliminärt 700 m, är frekvensen av sådana sprickor mycket låg, medelavstånd mer än 100 m, men bedömningen är osäker. Djupet till torrt berg kan vara större. Bergspänningarna är jämförbara med situationen på Äspö, dvs. normala för svensk berggrund. Grundvattnets salthalt och ålder ökar med djupet.



Figur 3-4a. Geologi och numrerade borrhål i Laxemar, Oskarshamns kommun (SKB öppen rapport).



Figur 3-4b. Geologi/bergartsfördelning i fyra olika borrhål i Laxemar, Oskarshamns kommun (SKB TR-09-01).

4 SKB:s utgångspunkter för platsvalet

SKB konstaterar att de krav på lokaliseringen av slutförvaret som följer av kärntekniklagen, strålskyddslagen och miljöbalken innebär sammanfattningsvis att platsen ska vara lämplig med hänsyn tagen till ändamålet med verksamheten. Detta innebär att åstadkomma ett långsiktigt säkert slutförvar, att konsekvenserna ska vara rimliga, samt att vid en jämförelse av platserna ska den plats väljas som innebär minst intrång och störning.

Med detta som utgångspunkt har SKB lagt fast sin strategi för platsvalet. SKB tillmäter förutsättningarna för att *uppnå långsiktig säkerhet störst betydelse*. I det fall analyserna visar på en *tydlig skillnad mellan platserna väljs den plats som ger bäst förutsättningar för långsiktig säkerhet*. Därmed kan SKB:s strategi för att välja plats sammanfattas så att:

1. Den plats väljs som ger bäst förutsättningar för att säkerhet på lång sikt ska uppnås i praktiken.
2. Om det inte går att se någon avgörande skillnad i förutsättningarna för att uppnå långsiktig säkerhet så väljs den plats som ur övriga aspekter är mest lämplig för att genomföra slutförvarsprojektet.

För att kunna tillämpa denna strategi har SKB systematiskt jämfört platserna med avseende på faktorer som kan ha betydelse för den samlade värderingen.

5 SKB:s lokaliseringsfaktorer och värderingsmetodik

BG kommentarer

I granskningen av SKB:s Fud-program 2007 betonade Statens kärnkraftinspektion (SKI) vikten av att SKB tydligt anger vilken metodik och vilka kriterier som avses tillämpas och därmed blir styrande för val av plats för uppförande av slutförvaret för använt kärnbränsle. Detta gäller speciellt om underlaget för valet inte kommer att vara helt jämförbart mellan de två undersökta platserna Forsmark och Laxemar. SKI ansåg också att bortvald plats behöver redovisas på ett sådant sätt att den nya Strålsäkerhetsmyndigheten (SSM) kan göra en egen oberoende bedömning baserad på jämförelser med vald plats.

SKI framförde också att för att SSM ska kunna bedöma de olika stegen av lokaliseringsarbetet som lett fram till SKB:s slutliga val av plats är det nödvändigt att SKB (om inte tidigare så senast) i tillståndsansökan kan visa att man utrett och beaktat alla faktorer av betydelse för förvarets långsiktiga funktion, samt redovisar de avvägningar man gjort mellan olika lokaliseringsfaktorer och andra åtgärder för att förbättra slutförvarets skyddsförmåga.

I den öppna rapport som SKB nu redovisar har SKB valt att definiera lokaliseringsfaktorer som ett samlingsbegrepp för egenskaper och förhållanden som i något avseende påverkar lämpligheten hos en plats, som alternativ för lokalisering. De faktorer som i grunden styr lokaliseringen av slutförvaret lades fast av SKB i början av 1990-talet, när lokaliseringsarbetet tog sin början och såsom de redovisades i SKB:s FoU-program 1992.

Bromma Geokonsult kan konstatera att varken granskande myndighet eller regeringen vid den tidpunkten var nöjda med SKB:s redovisning (FoU-program 1992) gällande vilka metoder och kriterier som kan bilda underlag för val av platser lämpliga för slutförvar. Därför begärde regeringen en komplettering av programmet som innebar ett nytt regeringsbeslut i maj 1995 över de kompletteringar som SKB redovisat.

SKB utvecklade sedan vägledande krav och önskemål som stöd för värderingar och prioriteringar under processens gång. Underlaget för värderingar mot krav och önskemål är enligt SKB beroende av i vilket skede värderingarna görs, och kriterierna måste anpassas därefter. Det gäller framförallt bedömningar av berggrunden som i tidiga skeden, innan borrhål finns tillgängliga, med nödvändighet blir preliminära.

5.1 Lokaliseringsfaktorer

Figur 5-1 visar den uppsättning av lokaliseringsfaktorer som utgjort SKB:s grund för de jämförande utvärderingar som föregått beslutet att välja plats för slutförvaret. Det bör understrykas att faktorerna i sig inte ger någon vägledning om vad SKB värderar som mer eller mindre viktigt, vad som avgjort platsvalet, eller på vilket sätt.

Lokaliseringsfaktorerna ska ses som ramverket för strukturerade jämförelser mellan platserna, där olika aspekter jämförs var för sig och på ett systematiskt sätt. Sammantaget har dessa jämförelser gett ett heltäckande underlag för SKB:s samlade värdering och ett platsval baserat på valda utgångspunkter.

Lokaliseringsfaktorerna är indelade i fyra huvudgrupper; säkerhetsrelaterade platsegenskaper, teknik för genomförande, hälsa och miljö och samhällsresurser.



Figur 5-1. Faktorer som bildat grund för jämförelser av lokaliseringsalternativ inför platsvalet (SKB öppen rapport).

5.2 Säkerhetsrelaterade platsegenskaper

BG kommentarer

Bromma Geokonsult konstaterar att ett steg på vägen för SKB:s arbete att gå vidare med platsundersökningar efter avslutade förstudier var den krav och kriterier rapport som SKB publicerade år 2000 (R-00-15). I rapporten angavs storleken på ett antal olika parametrar som skulle vara vägledande för val av lämplig plats. Exempel på gränsvärden för några olika parametrar var bl.a. den totala salthalten (TDS) i grundvattnet som på förvarsdjup inte får överstiga 100 g/l (10%), bergets värmeledningsförmåga bör vara högre än 2.5 W/(m K) och ostörd temperatur på förvarsdjup vara mindre än 25 grader C. Dessutom bör bergets hydraulisk konduktivitet/vattengenomsläpplighet på förvarsdjup vara mindre än 10^{-8} m/s och sprickzoner som behöver passeras under bygge bör ha så låg vattengenomsläpplighet att passage kan ske utan stora problem. Detta innebär att zonerna bör ha en transmissivitet (T) som är lägre än 10^{-5} m²/s och att de dessutom inte är byggnadstekniskt besvärliga. Det är även enligt SKB önskvärt att det i en stor del av berget går att finna kapselpositioner som i

kapselhålsskala har lägre darcyhastighet än 0,01 m/år eftersom lägre flöden innebär att fördröjningen ökar av viktiga radionuklider.

Bromma Geokonsult noterar att det är ganska uppenbart att det med dessa angivna värden föreligger goda marginaler för att utan några större problem kunna hitta lämpliga platser för förvaret på 500 m djup i svensk berggrund. Som SKB också anger i sin rapport (se refererad SKB-text ovan) kunde vägledande krav och önskemål sedan utvecklas, som stöd för värderingar och prioriteringar under processens gång. Ett exempel på detta är SKB:s ändring av TDS från ursprungliga 10 till 5 procent, vars värde ändå utgör en god marginal till kända salthalter på 500 m djup i svensk berggrund. Det kan i detta sammanhang noteras att granskande myndigheter inte kommenterat SKB:s rapport R-00-15 trots att den utgjorde en referens till SKB:s komplettering av Fud-program 1998.

SKB framhöll att slutsatser och resultat i R-00-15 baserades på den kunskap och erfarenhet som kommit fram under SKB:s mångåriga forsknings- och utvecklingsarbete. Speciellt utnyttjades de kunskaper som kommit fram vid SKB:s genomförda säkerhetsanalys, SR 97.

SKB betonar att enligt huvudprincipen för platsvalet är det nödvändigt att bedöma säkerheten för ett slutförvar som anpassats till respektive plats. Vad som menas med långsiktig säkerhet framgår ytterst av lagar och förordningar, och har konkretiserats i Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter.

SKB konstaterar vidare att säkerheten för slutförvaret utvärderas med stöd av säkerhetsanalyser. I en säkerhetsanalys görs olika integrerade beräkningar och värderingar av hur förvarssystemet, brett definierat som det deponerade använda kärnbränslet, de tillverkade barriärerna kring det, förvarsberget och biosfären i anslutning till slutförvaret, kan komma att utvecklas över tiden. Systemets framtid kommer att bero på dess initialtillstånd (dvs. tillståndet då det använda bränslet och de tillverkade barriärerna lagts på plats i förvaret), ett antal termiska, hydrauliska, mekaniska och kemiska processer som verkar internt i förvarssystemet över tiden, samt extern påverkan på systemet.

En säkerhetsanalys, kallad SR-Site, kommer SKB att upprätta för ett slutförvar på den valda platsen Forsmark, och kommer att ingå i SKB:s ansökan. SKB:s erfarenheter från tidigare säkerhetsanalyser visar att det finns ett antal platsegenskaper som har väsentlig betydelse för säkerheten. Det är dessa faktorer som anges under rubriken säkerhetsrelaterade platsegenskaper i figur 5-1.

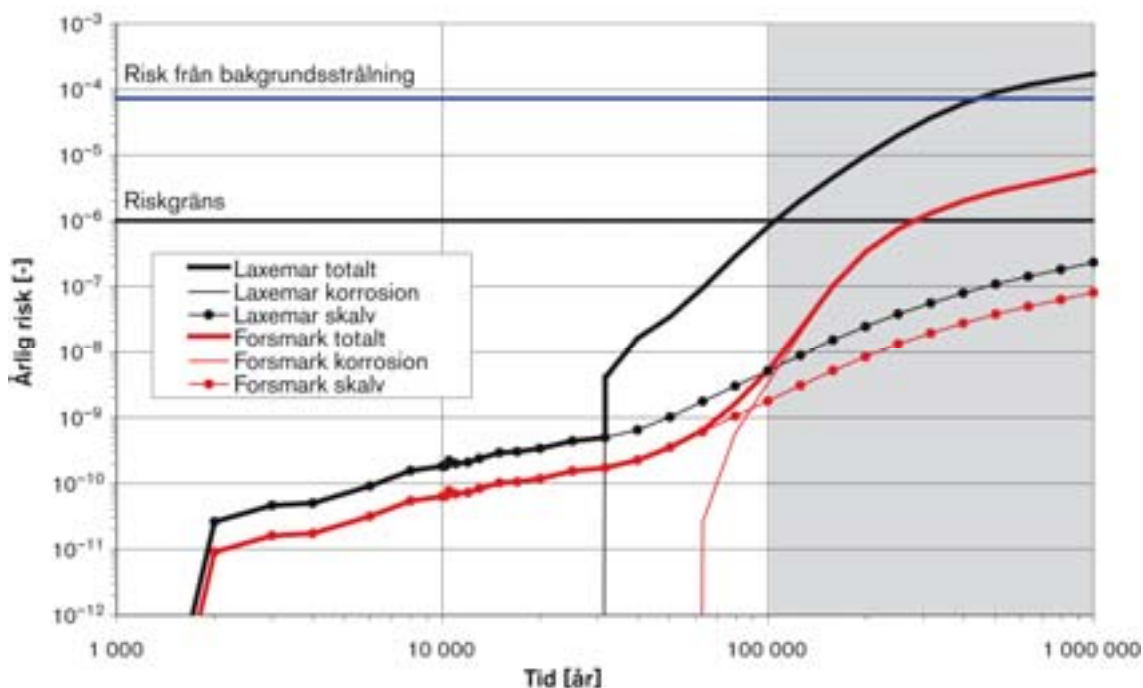
5.2.1 SKB:s säkerhetsanalys SR-Can

Säkerhetsanalysen SR-Can visar enligt SKB (R-07-24) att ett KBS-3-förvar vid Forsmark kommer att uppfylla SSM:s riskkriterium som innebär att den årliga risken för skadeverkningar inte får överstiga 10^{-6} för en representativ individ i gruppen som exponeras för störst risk. Riskgränsen motsvarar en dosgräns på cirka $1,4 \cdot 10^{-5}$ Sv/år vilket motsvarar cirka en procent av den naturliga bakgrundsstrålningen i Sverige.

SKB framhåller att osäkerheterna är betydande i den hydrogeologiska tolkningen och förståelsen för Forsmark. När dessa osäkerheter förs vidare till andra delar av analysen leder det till ett brett spann av möjligheter kring till exempel buffererosion och vattenflödets egenskaper. En minskning av dessa osäkerheter skulle tillåta säkrare slutsatser i framtida analyser. Även den mest pessimistiska tolkningen av Forsmark bedöms dock uppfylla SSM:s riskkriterium.

Den platsbeskrivande modellen version 1.2 (efter genomförda inledande platsundersökningar) för Laxemar är enligt SKB inte tillräckligt representativ för den tilltänkta förvarsvolymen för att möjliggöra definitiva slutsatser om kravuppfyllelse. Framför allt baseras den hydrogeologiska tolkningen av platsen på data som delvis samlats in utanför kandidatvolymen för förvaret. Dessutom visar nyligen insamlade data (efter att SR-Can publicerats) på mera gynnsamma hydrogeologiska egenskaper än dem som platsmodellen i SR-Can bygger på. SKB konstaterar dock att med de data som används för Laxemar i SR-Can bedöms platsen uppfylla riskkriteriet. Denna slutsats skulle enligt SKB troligen stärkas med användning av senare insamlade data.

Beräknade individrisker för förvar vid Forsmark och Laxemar visas i figur 5-2. För en första glaciationscykel har två riskbidrag identifierats av SKB; från jordskalv och från kapselbrott på grund av korrosion om bufferten har eroderats av glaciala smältvatten. Maxvärdet för den totala beräknade risken upp till 100 000 år, det vill säga värdet vid 100 000 år, ligger nära SSM:s riskgräns för Laxemar och cirka två storleksordningar lägre för Forsmark.



Figur 5-2. Riskkurvor från SR-Can (SKB R-07-24).

BG kommentarer

Bromma Geokonsult noterar att vid myndigheterna SKI:s och SSI:s granskning av SKB:s säkerhetsanalys SR-Can (SKI Rapport 2008:19, SSI Rapport 2008:04) som publicerades 2006 konstaterades bl.a. att SKB:s kvalitetssäkring av säkerhetsanalysen är otillräcklig och att inför tillståndsansökan behövs bättre kunskapsunderlag kring vissa

kritiska processer med potentiellt stor påverkan på risken från slutförvaret, bl.a. erosion av buffert i deponeringshål. Myndigheterna har i sin rapport identifierat drygt 100 exempel på brister i dokumentation och kvalitetssäkring i SR-Can som behöver åtgärdas i nästa säkerhetsanalys SR-Site. SKB har själva utgående från myndigheternas granskning identifierat ca 340 frågor som i mer eller mindre omfattning behöver tas om hand i SR-Site.

SKB:s utgångspunkt för bedömning av lämpligaste plats är att välja den plats som ger bäst förutsättningar för att säkerhet på lång sikt ska uppnås i praktiken. Resultatet från SKB:s säkerhetsanalys SR-Can visade att båda platserna motsvarar uppställda myndighetskrav för slutförvar men beräknade riskgränser efter 100 000 år, som framgår av figur 5-2 talade till Forsmarks fördel med reservation för att då tillgänglig datamängd för Laxemar var begränsad. Noterbart är att SKB själva i rapporten framhåller att nyinsamlade data för Laxemar efter att SR-Can publicerats visar på mera gynnsamma hydrogeologiska egenskaper för Laxemar än dem som platsmodellen i SR-Can bygger på.

SKB har inte för avsikt att genomföra en ny säkerhetsanalys för Laxemar eftersom ett sådant krav inte finns i SSM:s föreskrifter. Däremot har SKB annonserat att man har för avsikt att i en rapport som kommer att bifogas ansökan grundligt kommer att motivera varför Laxemar valts bort som plats för slutförvaret.

Det kan även noteras att Kärnavfallsrådet i sin granskning av SKB:s Fud-program 2007 framförde önskemålet att en fullständig och likvärdig säkerhetsanalys borde utföras för båda platserna. Rådet framhöll vikten av att en vetenskaplig korrekt jämförelse görs mellan platserna inför det kommande platsvalet. Refererande till dessa synpunkter anser Bromma Geokonsult att SKB därför borde överväga, dels för att stärka sitt ”case” och öka trovärdigheten beträffande platsvalet, att genomföra en säkerhetsanalys även för alternativet Laxemar även om detta inte utgör ett myndighetskrav.

Inför platsvalet i juni 2009 har SKB utvärderat de säkerhetsrelaterade platsegenskaperna, först faktor för faktor och sedan sammanvägt dessa till en integrerad jämförande bedömning. SKB:s huvudsyfte har varit att *jämföra* platserna med avseende på långsiktig säkerhet.

Eftersom de säkerhetsrelaterade platsegenskaperna (figur 5-1) är en viktig utgångspunkt för uppdraget till Bromma Geokonsult återges dessa relativt ordagrant från SKB:s text under nedanstående rubriker.

5.2.2 Bergets sammansättning och strukturer

Bergets sammansättning och strukturer utgör förutsättningar för de bergmekaniska och hydrogeologiska förhållandena och påverkar även grundvattnets sammansättning och bergets förmåga att fördröja transport av lösta ämnen. Bergförhållandena avgör även möjligheten att utforma och anpassa deponeringsområdet och deponeringstunnlarna så att de uppfyller ställda krav på långsiktig säkerhet. Sådana krav avser respektavstånd till stora deformationszoner för att hantera risken för framtida jordskalv. Andra krav gäller högsta acceptabla vatteninflöden i deponeringshål för att säkerställa att bufferten inte eroderas bort vid installation, eller att bergets egenskaper tillåter att

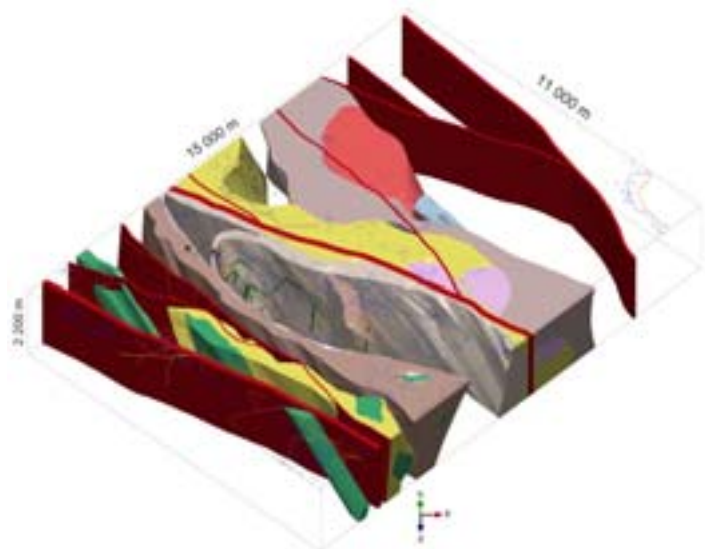
deponeringstunnlarna kan byggas så att det inte skapas en sammanhållen s.k. störd zon med hög vattengenomsläpplighet över längre avstånd. Ur säkerhetssynpunkt bedöms med vilken framgång dessa krav kan tillämpas. En annan fråga som enligt SKB behöver bedömas är eventuell förekomst av mineral som skulle kunna motivera framtida exploatering vid platserna. Detta kan ha betydelse för säkerheten eftersom det kan påverka risken för oavsiktliga framtida intrång i förvaret.

BG kommentarer

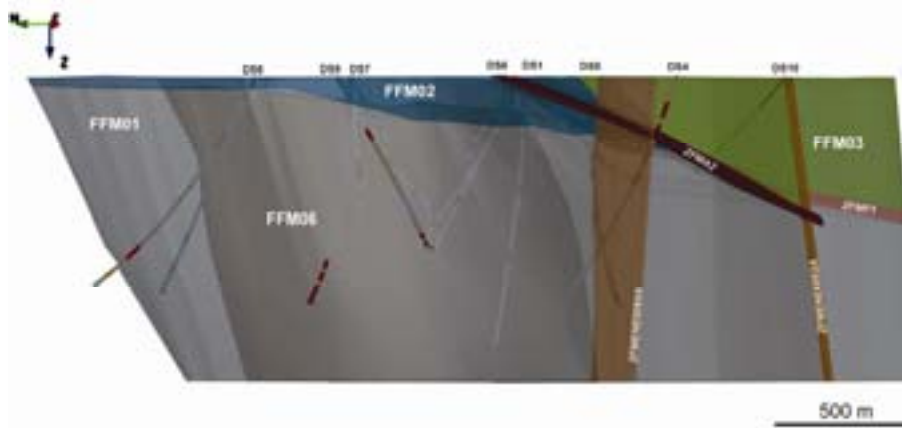
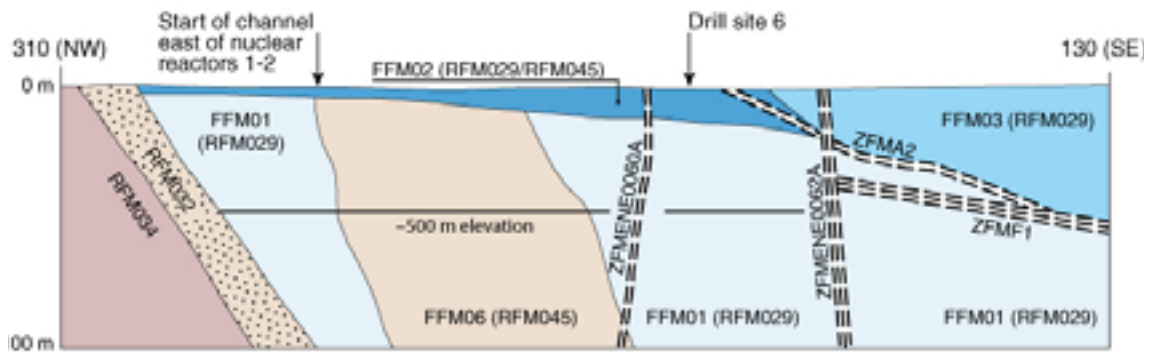
Bromma Geokonsult konstaterar att bergets sammansättning, strukturer och egenskaper på respektive plats har kartlagt av SKB genom indelning i s.k. bergartsdomäner, sprickdomäner och deterministiska deformationszoner. I Forsmark har två dominerande bergartsdomäner identifierats inom fokuserat område (domän RFM029 och RFM045, figur 5-3 och figur 3-3a) och i Laxemar tre dominerande domäner (RSMD01, RSMM01, RSMA01, figur 5-4 och figur 3-4a). I såväl Forsmark som Laxemar har indelning gjorts i sex olika sprickdomäner. Inom de två dominerande bergartsdomänerna i Forsmark förekommer fyra av sex sprickdomäner (se profilen figur 5-5). Förekommande deformations-/sprickzoner på respektive plats är av varierande karaktär avseende stupning på zonerna (figur 5-4 och 5-6). I Forsmark förekommer utpräglade svagt stupande sprickzoner med olika hydrogeologiska egenskaper ovanför som under zonerna (hängvägg respektive liggvägg, figur 5-5, 5-6). En kombination av bergartsdomäner, sprickdomäner och deformationszoner på -500 m i Forsmark visas i figur 5-7.

Ett underlag för SKB:s upprättade modeller avseende olika domäner och zoner, utöver kartering av blottat berg och borrhål (Boremap metodik), har varit tillämpning av geofysiska mätmetoder som t.ex. reflexions- och refraktionsseismik samt mark- och flyggeofysiska mätningar av varierande detaljeringsgrad och olika hydrologiska tester.

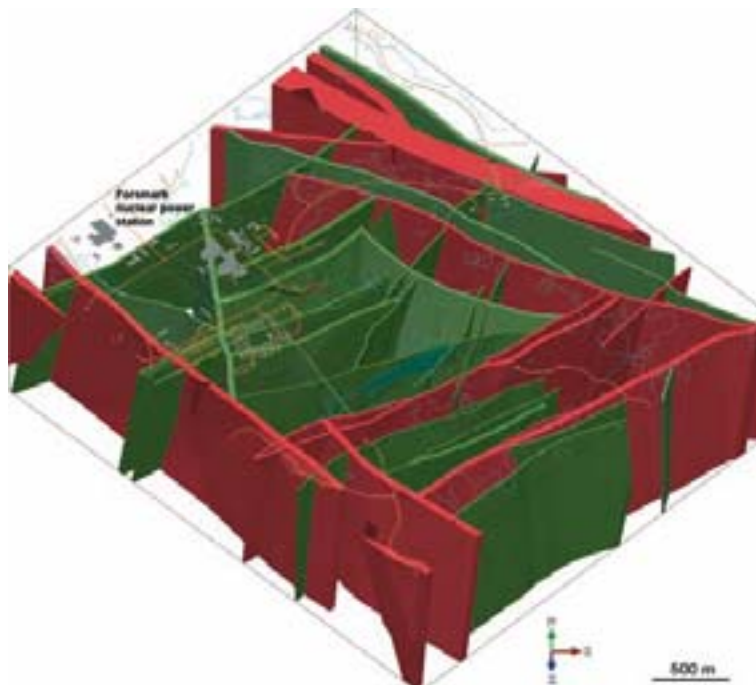
Vid granskningen av SDM-rapporterna har inget framkommit som tyder på att några andra indelningar av bergartsdomäner, sprickdomäner och deformationszoner borde ha gjorts av SKB, däremot kunde SKB även ha redovisat ett antal alternativa modeller vilket även INSITE framhållit.

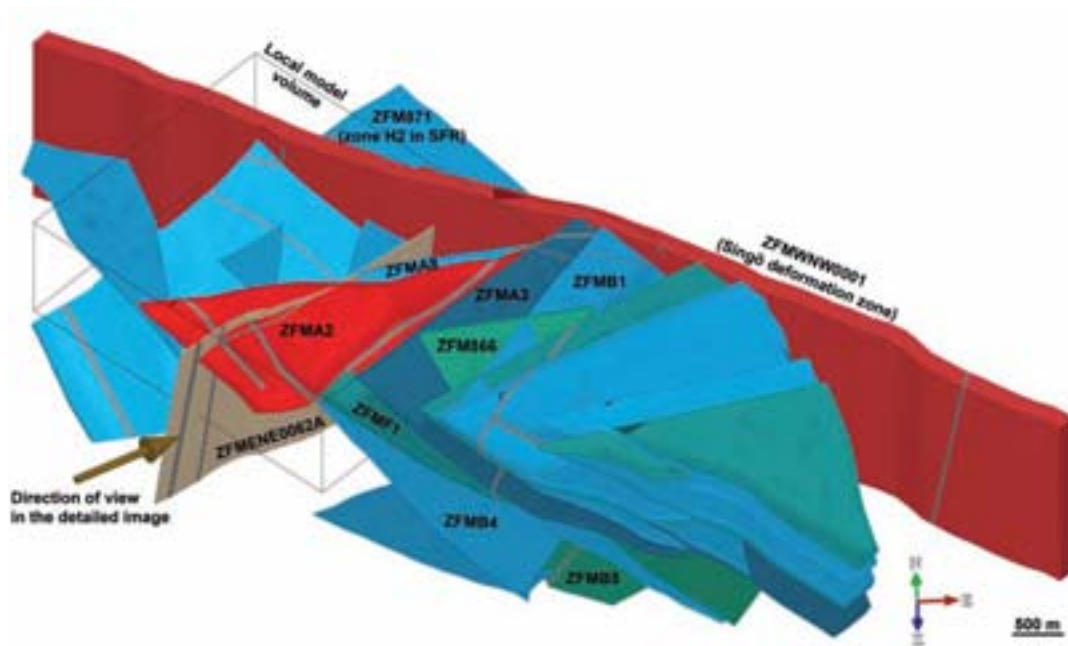


Figur 5-3. Bergartsdomäner i Forsmark, RFM029 centalt belägen. Teckenförklaring se figur 3-3a (SKB TR-08-05).

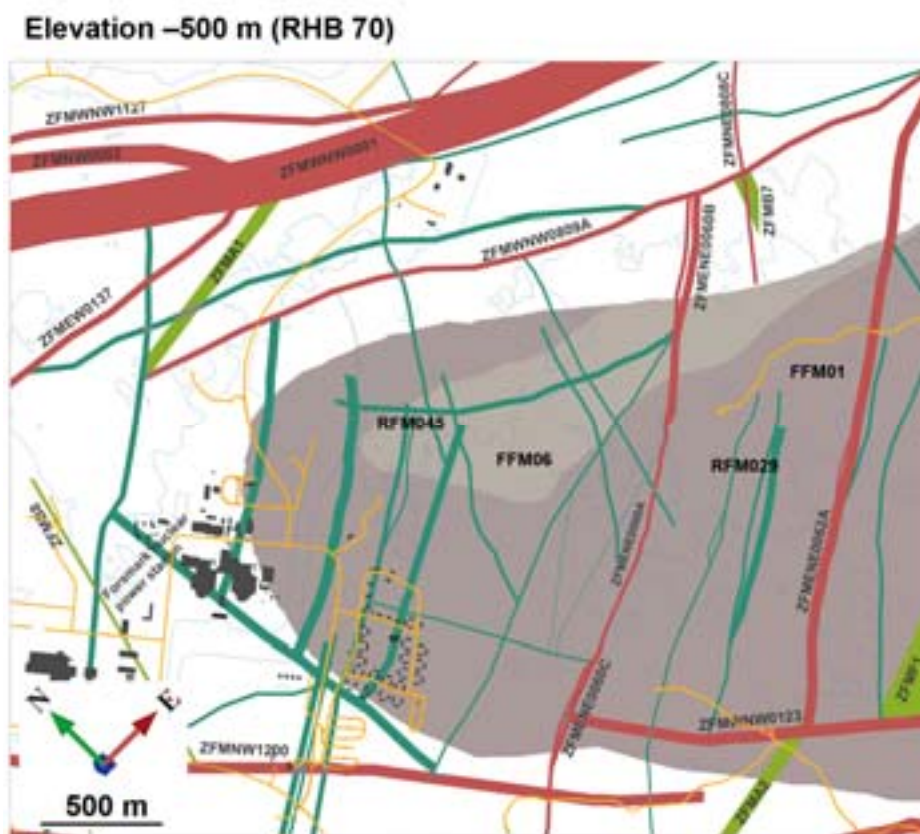


Figur 5-5. Dominerande sprickdomäner i Forsmark (SKB TR-08-05).





Figur 5-6. Utbredning av vertikala (föregående sida) och flacka (denna sida) deformationszoner i Forsmark (SKB TR-08-05).



Figur 5-7. Kombination av bergartsdomäner, sprickdomäner och deformationszoner på -500 m i Forsmark (SKB TR-08-05).

5.2.3 Bergmekaniska förhållanden

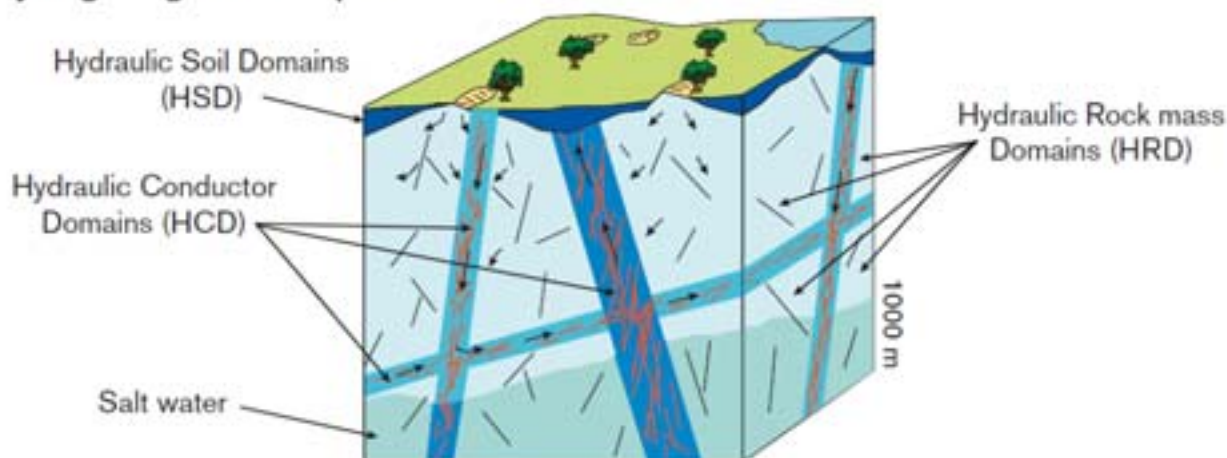
Nutida och framtida belastningar (bergspänningar) tillsammans med bergets mekaniska egenskaper kan påverka långsiktig säkerhet. Det gäller i första hand om belastningarna är så höga att berget lokalt kring deponeringshålen kan överbelastas (s.k. spjälkning) och risken för och konsekvenser av framtida jordskalv. Inför platsvalet har SKB gjort prognoser av risken för spjälkning. Bedömningar har också gjorts av risken för att framtida jordskalv skulle kunna skada deponerade kapslar. Denna risk hanteras dock genom att förvaret anpassas till deformationszoner och sprickor, varför man inte bör förvänta sig större skillnader mellan platserna.

5.2.4 Grundvattenströmning

Hydrogeologiska förhållanden och speciellt frekvens av och genomsläpplighet hos vattenförande sprickor styr grundvattenströmningen i förvarsvolymen. Dessa förhållanden påverkar förutsättningarna för transport av lösta ämnen till och från bufferten och påverkar därför i sin tur dels buffertens och kapselns funktion och dels, om kapseln skadats, hur mycket radioaktiva ämnen som kan frigöras från det använda kärnbränslet och via grundvattnet spridas vidare. Det är generellt en fördel med låg frekvens av vattenförande sprickor, och att sprickorna har låg vattengenomsläpplighet. Det leder till att grundvattenflödet blir litet.

Hydrogeologin på respektive plats beskrivs genom indelning i tre hydrauliska domäner, HSD, HCD och HRD som motsvarar Hydraulic Soil Domain, Hydraulic Conductor Domain (representerar deformationszoner) och Hydraulic Rock Mass Domain (representerar sprickdomäner mellan deformationszoner). En principskiss för denna indelning framgår av figur 5-8 nedan.

Hydrogeological description

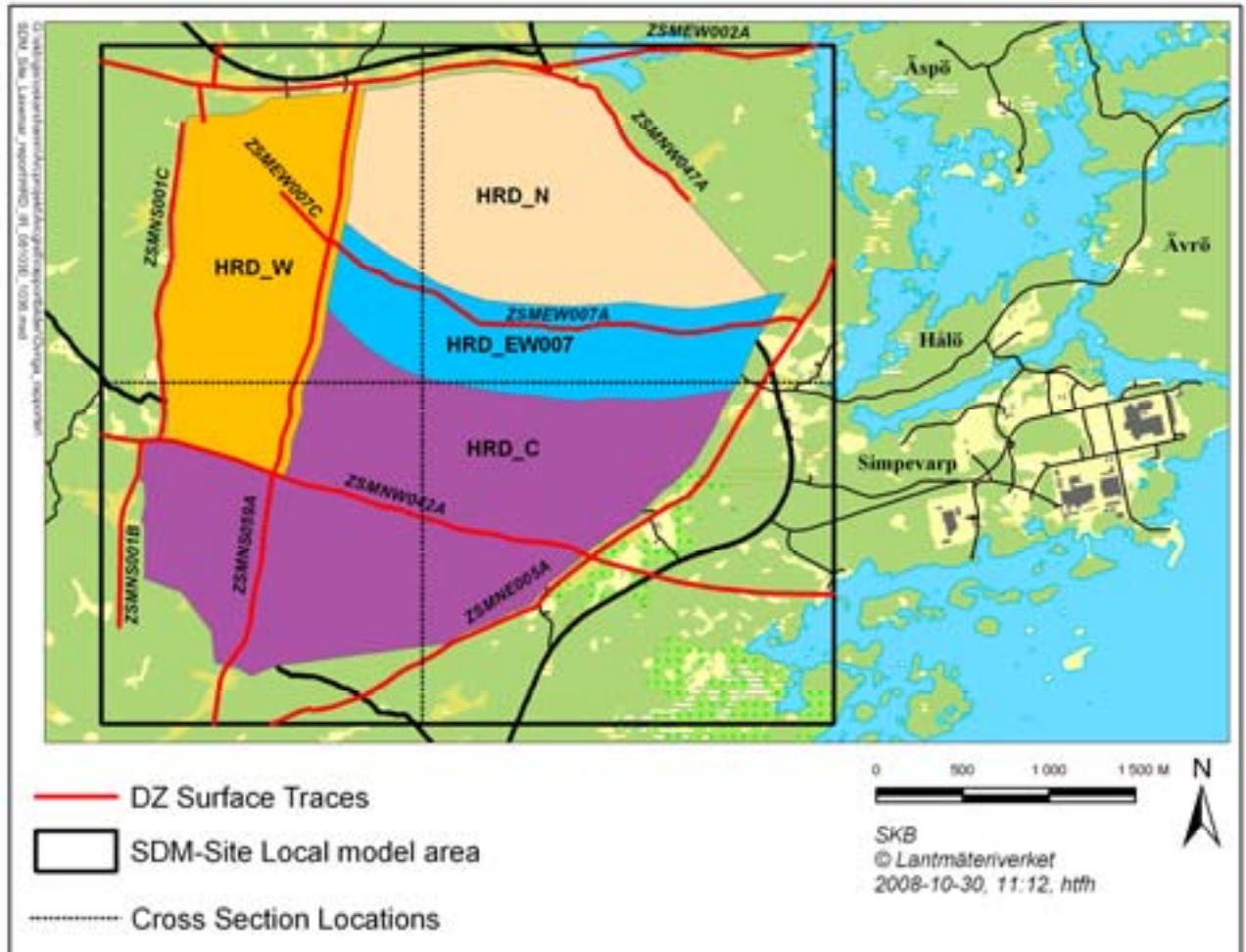


Figur 5-8. Principskiss för indelning av huvudelementen i SKB:s hydrogeologiska beskrivning (SKB TR 08-05).

Den hydrogeologiska sprickmodellen i Forsmark innehåller sex sprickdomäner (fyra av dessa domäner redovisas i figur 5-5). I figur 8-17 i SKB R-08-05 beskrivs även en

indelning av fyra hydrogeologiska undervolymer i liggvägg (A, B, C) respektive hängvägg (D) i förhållande till zon A2.

I Laxemar har fyra olika hydrauliska bergartsdomäner (HRD) urskiljts (figur 5-9).



Figur 5-9. Hydrauliska bergartsdomäner (HRD) baserade på underliggande indelning i sprickdomäner i Laxemar (SKB TR-09-01).

5.2.5 Grundvattnets sammansättning

Grundvattnets sammansättning och framtida utveckling har stor betydelse för säkerheten. Det gäller främst ämnen som påverkar kapselns och bufferten, som salthalt, redoxförhållanden (om det finns löst syre i grundvatten), och halter av andra ämnen som kan inverka skadligt på buffert eller kapsel. Sammansättningen idag är väl känd från platsundersökningarna, men i SKB:s värdering ingår även att bedöma hur sammansättningen kommer att påverkas i framtiden, på grund av grundvattenströmning, klimatförändringar och de kemiska reaktioner som pågår i berget. SKB:s värdering och platsjämförelse bygger på hur den bedömda framtida sammansättningen påverkar buffertens och kapselns barriärfunktioner.

5.2.6 Fördröjning av lösta ämnen

Platsens förmåga att fördröja utsläppta radioaktiva ämnen om kapslar skulle skadas är också en viktig säkerhetsfunktion. Fördröjningen beror på förhållanden kopplade till grundvattenflödet och på bergets förmåga att fördröja utsläppet genom matrisdiffusion (radionuklider fördröjs då de vandrar in i bergets porer) och sorption (radionuklider fördröjs då de fastnar på bergets ytor). Vid värderingen används de flödesrelaterade transportegenskaper som bestämts inom hydrogeologin (transportmotstånd och ekvivalent flöde) samt de bergegenskaper som bestämts vid platsundersökningarna.

5.2.7 Framtida klimatutveckling

Klimatet kan påverka både berget på förvarsdjup och barriärernas funktion. Om en inlandsis ligger ovanför förvaret påverkas bland annat grundvattnets tryck, tryckgradienten (som driver grundvattenflödet) och sammansättningen av det vatten som kan tillföras berget. Framtida istider kan därför ha stor inverkan på utvecklingen av grundvattnets sammansättning, vilket i sin tur kan påverka barriärfunktionen hos såväl buffert som kapsel. En annan fråga är om det finns risk för frysning under perioder av extrem permafrost, eftersom också det kan påverka barriärfunktionerna för bufferten och kapseln.

5.2.8 Biosfärförhållanden

Konsekvensen av om radioaktiva ämnen från förvaret kommer ut i miljön beror bland annat på den hydrologiska situationen vid och nära markytan och de framtida ekosystemen. Biosfären i sig bidrar inte till säkerheten. Däremot kan det i samband med platsvalet vara viktigt att belysa om man kan förvänta sig stora skillnader i stråldos till följd av olika biosfäregenskaper på platserna.

5.2.9 Platskännedom

För att det ska vara möjligt att uttala sig om säkerheten för ett slutförvar vid en viss plats är det enligt SKB:s uppfattning nödvändigt att ha god tilltro till att platsbeskrivningarna redovisar verkliga förhållanden, eftersom säkerhetsanalysens prognoser bygger på dessa. Tilltron beror dels på hur mycket data och undersökningar som finns från platsen, men också på hur tydligt dessa data låter sig tolkas och ge en övergripande förståelse.

SKB har först värderat ovanstående faktorer var för sig utifrån de data och modeller som tagits fram vid platsundersökningarna och därefter vägt samman faktorerna, där den centrala frågan är hur respektive faktor påverkar den samlade säkerhetsbedömningen för platserna.

5.3 Teknik för genomförande

Teknik för genomförande (se figur 5-1) avser enligt SKB värdering av de förutsättningar som platserna ger för att så *robust, funktionellt och effektivt* som möjligt genomföra slutförvarsprojektet. Funktionalitet och effektivitet är till stor del synonyma begrepp, som ytterst kan mätas i tidsåtgång och kostnad. SKB har gjort värderingar av dessa faktorer. Betydligt mera väsentliga är faktorer som direkt påverkar de tekniska

möjligheterna att genomföra projektet så att den avsedda, långsiktigt säkra förvaringen uppnås i praktiken. Osäkerheter i det avseendet måste värderas. SKB anser att den plats som ger de mest gynnsamma och tillförlitliga förutsättningarna att anpassa förvarsutformning och verksamhet så att förvaret uppfyller ställda säkerhetskrav är också den lämpligaste platsen.

5.3.1 Flexibilitet

Med flexibilitet avser SKB

- möjligheten att anpassa förvaret till verkliga bergförhållanden, inom de områden som prioriterats som ett resultat av platsundersökningarna, så att förvarets utformning svarar mot givna krav för att uppnå långsiktig säkerhet,
- att medge utrymme för planerad avfallsmängd om 6 000 kapslar, samt
- möjligheter att hantera ändrade förutsättningar vad gäller total avfallsmängd.

För respektive plats har SKB tagit fram en platsspecifik utformning och layout som svarar mot givna konstruktionsförutsättningar (krav) för att uppnå långsiktig säkerhet. Styrande för föreslagna platsanpassningar av layouten har främst varit

- kunskap om layoutpåverkande förhållanden, främst deformationszoner som kräver respektavstånd,
- kunskap om bergets värmeledningsförmåga, som bestämmer minsta avstånd mellan deponerade kapslar för att klara ställda krav på maximal temperatur i bufferten, samt
- kunskap om bergspänningar och bergets hållfasthet, som i första hand används för att anpassa och orientera deponeringstunnlarna för att få mekanisk stabilitet i deponeringstunnlar och deponeringshål.

5.3.2 Tekniska risker

Eftersom bergförhållandena aldrig kan bestämmas helt i förväg måste det enligt SKB finnas en metod att inhämta detaljinformation under byggprocessen, fortlöpande anpassa bygget till informationen samt hantera osäkerheter och eventuella tekniska risker. Detta sker med hjälp av den s.k. observationsmetoden. Den innebär i enklare fall att bergförstärkning och tätning anpassas till de erfarenheter som dras om de faktiska förhållanden som konstateras under byggarbetena. En mer komplex, men central aspekt för observationsmetodens tillämpning för slutförvaret är platsanpassning för att möta krav från långsiktig säkerhet.

För att genomlysna den tekniska riskbilden i sin helhet gör SKB riskanalyser, som en del av projekteringen. Den tekniska riskanalysen omfattar alla tänkbara riskpåverkande geologiska förhållanden som kan identifieras utifrån osäkerheterna i platsmodellerna och fackmannakunskap. Risker utgör en sammanvägning av konsekvenser och sannolikheter. Risker som har så stora konsekvenser och är så sannolika att de kräver omfattande åtgärder, t ex genom ändrad förvarsutformning, påverkar dock även förutsättningarna för att *i praktiken åstadkomma ett säkert slutförvar* och har därför stor betydelse för platsvalet.

Det är enligt SKB i första hand osäkerheter om de bergmekaniska och hydrogeologiska förhållandena som kan ge upphov till risker som har så stora konsekvenser och är så sannolika att de kräver omfattande åtgärder och platsanpassning av layouten. Det gäller:

- Risk för omfattande spjälkningsproblem i deponeringshål som inte kan accepteras med hänsyn till förvarets långsiktiga funktion.
- Risk för stabilitetsproblem i en omfattning som påverkar arbetarskydd eller som tar stora resurser i anspråk.
- Om uppställda täthetskrav i deponeringsområdet inte kan uppnås med i dag känd teknik eller om de åtgärder som krävs inte kan accepteras med hänsyn till förvarets långsiktiga funktion.
- Om övriga delar av förvaret bedöms kräva komplicerade och svårprognostiserade tätningsåtgärder, som skulle kunna leda till stora förseningar eller risk för större omgivningspåverkan.
- Om platsanpassningen till förhållanden av betydelse för den långsiktiga säkerheten, som till exempel långa deformationszoner eller mycket vattengenomsläppliga sprickor, leder till att många deponeringspositioner måste väljas bort.

SKB:s riskanalyser omfattar alla anläggningsdelar under mark. För tillfarter och centralområde bedöms risker för förseningar respektive risker för funktionen. För deponeringsområdet görs skattningar av den andel av totalt tillgängliga deponeringspositioner som riskerar att falla bort. Som underlag använder SKB bland annat statistiska beskrivningar av bergdomänernas sprickfrekvens, hydrauliska egenskaper och berghållfasthet samt utvärderingar av data om bergspänningar.

5.3.3 Behov av teknikutveckling

De tekniska riskerna kan enligt SKB:s uppfattning i regel hanteras med tekniska lösningar. Spjälkningsproblem i deponeringshål kan exempelvis minimeras genom att orientera deponeringstunnlarna gynnsamt relativt riktningen på den största horisontella spänningen. Det pågår hos SKB en omfattande utveckling av nya metoder och material för att täta berget. Ändrad utformning av buffert och återfyllnad skulle möjligen kunna mildra kraven på att begränsa inläckaget av vatten. Teknikutvecklingen avser även metoder för detaljundersökningar, kontroller och dimensionering av slutförvaret.

För att kunna värdera de tekniska riskerna inför platsvalet, är det enligt SKB viktigt att även bedöma vilken teknikutveckling som behövs för att hantera dem. Det gäller förutsättningarna för att teknikutvecklingen ska lyckas nå ställda mål, resursbehov och rimlig hantering av osäkerheter. Risker som bedöms kunna hanteras framgångsrikt med teknikutveckling värderas därmed lägre än risker som bedöms vara svåra att hantera med teknikutveckling.

5.3.4 Funktionalitet

Begreppet funktionalitet har enligt SKB inte någon tydlig definition, men används ofta för att beskriva hur störningsfritt och effektivt en anläggning eller verksamhet fungerar i teknisk mening. En mängd faktorer spelar in, exempel är tillförlitlighet och redundans för delsystem, materialflöden, interna och externa transporter.

För slutförvaret utvärderar SKB funktionalitetsaspekterna som en del av projekteringen. Funktionalitet för berganläggningar styrs av delvis andra faktorer än för konventionella industrianläggningar. Berganläggningar innebär också snäva fysiska begränsningar av

utrymmen till förfogande för godsflöden, trafik, tekniska system (t ex elförsörjning, ventilation, vatten) m.m. Detta skapar en känslighet för driftstörningar som måste beaktas ur funktionalitetssynpunkt. Speciellt för slutförvaret är att utbyggnad och deponeringsverksamhet kommer att pågå parallellt under hela drifttiden. En utbyggnadssekvens som medger detta, utan risker för ömsesidiga störningar mellan verksamheterna eller kapacitetsproblem, är därför viktig. Hur väl detta kan tillgodoses är beroende av antal, storlek och inbördes lägen på deponeringsområden, transportvägar m.m. Dessa faktorer styrs av geologiska förutsättningar och är alltså platsberoende.

SKB anser även att funktionaliteten för ovanmarksdelen av verksamheten påverkas i viss mån av platsberoende faktorer som disposition av anläggningsdelar, logistik m.m., men platsegenskaperna har långt mindre betydelse med avseende på denna faktor än vad som är fallet för berganläggningarna. Undantaget är de externa transporterna till och från slutförvaret som har stor betydelse.

5.3.5 Synergieffekter

SKB konstaterar att slutförvaret för använt kärnbränsle blir den till verksamhetens omfattning största komponenten i hela systemet för hantering av radioaktivt avfall i landet. Samband och kopplingar mellan slutförvaret och andra delar i systemet är delvis beroende av vilken plats som väljs. För SKB:s del kommer lokaliseringen av slutförvaret på sikt att påverka hela företagets verksamhet. Eftersom SKB redan har anläggningar och verksamhet i både Oskarshamn och Forsmark finns det potential för synergieffekter. Andra aspekter är tekniska kopplingar mellan delarna i avfallssystemet, exempelvis mellan inkapslingsanläggningen och slutförvaret.

De tekniska kopplingarna mellan *inkapslingsanläggningen* och slutförvaret består i leverans respektive mottagning av kapslar. Kraven på kapseln som sådan är oberoende av valet av plats för slutförvaret.

Kopplingarna mellan *forskningsanläggningarna* och slutförvaret gäller i första hand Äspölaboratoriet. SKB:s strategi är att vitala delar av förvarstekniken så långt möjligt ska utvecklas, demonstreras och trimmas in vid Äspölaboratoriet, för att sedan överföras till slutförvaret. Den praktiska implementeringen vid slutförvaret kan sedan ske när bergutrymmen blir tillgängliga på förvarsnivå, dvs. under driftsättningsfasen. Det kommer alltså att finnas starka tekniska och kompetensmässiga kopplingar mellan Äspölaboratoriet och slutförvaret, åtminstone fram till driftskedet.

När det gäller *Clab* och *SFR* finns enligt SKB inga direkta tekniska kopplingar till slutförvaret, förutom transportsystemet som serverar alla avfallsanläggningar. Ytterligare två anläggningar återstår att lokalisera innan avfallssystemet är komplett. Den ena är *kapsel fabriken* som inte har några direkta kopplingar till slutförvaret. Den andra är det framtida *slutförvaret för långlivat radioaktivt avfall (SFL)*. Lokaliseringen av SFL ligger långt fram i tiden och påverkar inte platsvalet för kärnbränsleförvaret.

De organisatoriska konsekvenser och synergieffekter som platsvalet ger för SKB:s del är faktorer som påverkar effektiviteten i såväl genomförandet av slutförvarsprojektet som SKB:s verksamhet i sin helhet. SKB anser det knappast möjligt att värdera sådana

effekter i tid eller pengar och de jämförelser som gjorts är därför kvalitativa. Generellt brukar gälla att effektiviteten totalt sett gynnas av att koncentrera tillgängliga resurser till så få verksamhetsställen som möjligt.

5.3.6 Kostnader

Kostnaderna för hela genomförandet av slutförvarsprojektet, med etablering, drift och avveckling, har beräknats för båda lokaliseringsalternativen. SKB konstaterar att delar av kostnaderna är platsberoende. Det gäller framförallt de omfattande bergarbetena och återfyllningen av berganläggningarna.

Kostnaderna är viktiga för platsvalet eftersom de speglar effektiviteten och på många sätt även robustheten i genomförandet. Generaliserat framhåller SKB att ju gynnsammare förutsättningar för ett genomförande enligt plan, desto lägre kostnader. Relativa kostnadsjämförelser ger också en god bild av proportionerna mellan de insatser som krävs under olika skeden och för olika delmoment.

6 Värdering av lokaliseringsfaktorer

I detta kapitel återges SKB:s motiveringar och jämförande värdering av platserna Forsmark och Laxemar med avseende på de faktorer och generella värderingsgrunder som redovisats i föregående kapitel. Dessutom återges INSITE:s och Bromma Geokonsult:s bedömning av SKB:s argumentation under respektive rubrik i kapitlet.

6.1 Säkerhetsrelaterade platsegenskaper

För de faktorer som redovisas i detta kapitel gäller enligt SKB:s uppfattning att båda platserna är lämpliga och att skillnaderna mellan platserna är små.

6.1.1 Bergets sammansättning och strukturer

SKB:s uppfattning är att det är möjligt att utforma och anpassa deponeringsområde och deponeringstunnlar så att de uppfyller ställda krav på båda platserna. Platsbeskrivningarna visar enligt SKB att det inte finns mineraltillgångar som skulle kunna motivera framtida exploatering vid någon av platserna. I Forsmark finns det dock ett sådant område sydväst om kandidatområdet, men järnmineraliseringarna i det området är enligt SKB mycket små.

INSITE synpunkter

SSM:s expertgrupp INSITE anser att SKB har god kontroll på dominerande bergartstyper i såväl Forsmark som Laxemar och att kvalitén på platsundersökning och platsförståelse är bra. Däremot behöver kompletterande stokastisk modellering av underordnade bergarter göras under byggskedet (CDI). INSITE anser vidare att bergartsmodellen indikerar att utrymme finns för ett förvar i Forsmark och Laxemar men noterar att bergarterna i prioriterat område i Laxemar pga. relativt lågt kvartsinnehåll har låg termisk konduktivitet och därför kräver större deponeringsutrymme än i Forsmarks kvartsrika bergarter med högre termisk ledningsförmåga.

Beträffande sprickdomäner i Forsmark anser INSITE att extrapolering mot djupet av de ytligt belägna sprickdomänerna FFM02 och 03 mellan sprickzonerna (deformationszonerna) är osäker liksom fördelning och karaktär på sprickor i domänerna FFM01 och 06 på förvarsnivå (se figur 5-5). INSITE konstaterar vidare att förekomst av vertikala sprick-/deformationszoner huvudsakligen fastställts genom tolkning av magnetiska mätdata (låg magnetiska lineament) medan de flacka zonernas lägen fastlagts genom borrhålsdata och seismiska reflexionsdata. I modellerna för såväl Forsmark som Laxemar slutar ett lineament oftast mot ett annat lineament men förekomst av blint slutande strukturer är inte ovanligt (se figur 5-7 och 5-4). Sprickzonernas karaktär och läge på förvarsdjup är svåra att bedöma utifrån borrhål satta från ytan. Därför anser INSITE att pga. rådande modellosäkerheter borde SKB även ha tagit fram alternativa modeller för såväl Forsmark som Laxemar.

INSITE har noterat att i Forsmark förekommer en porös granit (episyenit) med hålrum i borrhål KFM01. Bildningen har skett genom selektiv kvartsupplösning, ofta i kombination med kraftig oxidation där dock bergartens struktur behållits. Fenomenet innebär en stark påverkan på bergartens såväl kemiska som fysikaliska egenskaper

(ökad porositet, minskad täthet och resistivitet). Detta innebär att om porös granit förekommer inom förvarets närområde kan detta starkt påverka transport av grundvatten.

INSITE anser också att graden av en bergarts omvandling signifikant kan påverka dess kemiska och fysikaliska egenskaper. I Laxemar är 20-25% av bergarterna omvandlade. Därför anser INSITE att SKB behöver bedöma hur bergartsomvandling potentiellt kan påverka en bergarts geokemiska egenskaper, transportegenskaper, hållfasthet och termiska konduktivitet.

INSITE konstaterar att antalet påvisade såväl mindre som större strukturer/deformationszoner har starka samband med den rumsliga fördelningen av borrhål och antal borrhål. Det kan konstateras att Forsmark har en bättre rumslig fördelning av borrhål i jämförelse med Laxemar (figur 3-3a och 3-4a) varför osäkerheten beträffande strukturer är större i Laxemar i jämförelse med Forsmark. INSITE konstaterar vidare att sprickförekomst inom bergarterna i Laxemar är oregelbunden och relativt hög, högre än fyra sprickor/m borrhållängd, även utanför modellerade sprickzoner.

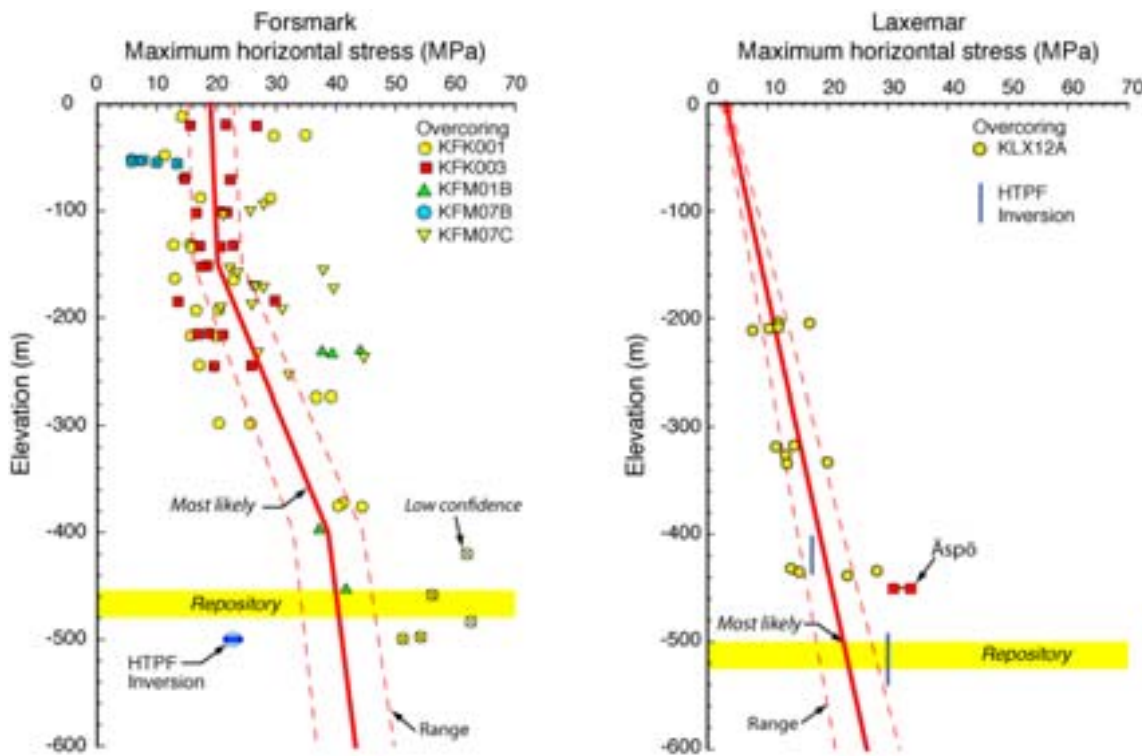
BG kommentarer

Av figur 3-3b från Forsmark framgår att samma bergartstyp förekommer norr-nordost om det prioriterade området, till stor del beläget under vatten, som det järnmineraliserade området sydväst-söder om prioriterat område. Enligt SKB finns inga data från öarna som tyder på mineralisering och utförd modellering indikerar att vulkaniten (bergartsdomän RFM021) inte uppträder inom kandidatområdet ovanför 1 000 m djup. Eftersom området, utöver förekommande småöar, inte kunnat undersökas går det inte att utesluta att såväl järn (hematit) som sulfidmineraliseringar skulle kunna förekomma i den sura till intermediära vulkaniten i norr. Detta är också SSM:s internationella expertgrupps uppfattning. Gruppen konstaterar även att ett lokalt gravimetri maximum motsvarar en lågmagnetisk indikation i nordvästra toppen av Forsmarkslinsen strax utanför prioriterat område. Förvaret i sig kommer att utgöra en kraftig geofysisk anomali varför viss risk finns för att området i en avlägsen framtid kan bli föremål för malmprospektering. Innan ett uteslutande av mineraliseringar i norr (utanför prioriterat område) kan ske torde SKB:s slutsats att framtida exploaterbara mineraltillgångar saknas i Forsmark kunna diskuteras.

6.1.2 Bergmekaniska förhållanden; jordskalv och spjälkning

Sannolikheten för framtida jordskalv är enligt SKB mycket liten vid båda platserna men kan inte helt försummas. Risker att rörelser som induceras av jordskalven skulle kunna skada deponerade kapslar reduceras kraftigt eller elimineras helt genom att förvaret anpassas till deformationszoner och sprickor. Genomförda analyser visar att en sådan anpassning kan göras på båda platserna och att platserna i detta avseende är likvärdiga. Vid båda platserna finns stora, s.k. regionala deformationszoner där större framtida jordskalv skulle kunna ske, men förvaret placeras med så stort respektavstånd från dessa zoner att detta inte utgör något problem.

Under rubrik spjälkning konstaterar SKB att de bergmekaniska förhållandena, bergspänningar och bergets hållfasthet skiljer sig mellan platserna. Forsmark har relativt höga horisontella bergspänningar, i genomsnitt cirka 41 MPa på 500 m djup, inom fokuserat område under zonen ZFMA2, jämfört med vad som är vanligt i den svenska berggrunden, medan Laxemar har mer typiska värden, cirka 22 MPa på 500 m djup, se figur 6-1. Bergets hållfasthet uttryckt i enaxlig tryckhållfasthet (UCS) är å andra sidan generellt högre i Forsmark (226 MPa) än i Laxemar där hållfastheten varierar kraftigt mellan olika bergarter (167 MPa till 225 MPa).



Figur 6-1. Bergspänningsdata och tolkning av bergspänningar i Forsmark respektive Laxemar (SKB öppen rapport).

SKB har genomfört en bergmekanisk analys av vad som händer när temperaturen ökar i berget på grund av värmen från de deponerade kapslarna. Bergets värmeutvidgning ger ett tillskott till bergspänningarna och det finns därmed en risk att bergets hållfasthet överskrider i deponeringshålens väggar en tid efter att kapslarna placerats i deponeringshålen. Analysen visar att:

- det finns en risk för sådan s.k. termiskt inducerad spjälkning av deponeringshålens väggar på båda platserna,
- risken är lägre och omfattningen av sådan spjälkning är mindre i Laxemar.

Spjälkningen kan kraftigt öka utbytet av lösta ämnen mellan buffert och vatten i sprickor i berget, men trots denna ökning blir, enligt SKB bedömning, utbytet lägre i Forsmark än i Laxemar, eftersom grundvattenflödet kring deponeringshålen är betydligt högre i Laxemar.

BG kommentarer

Det finns inga tydliga indikationer i SKB:s hittills genomförda undersökningar att unga jordskalv skett i något av de undersökta områdena. Därför föreligger inte någon anledning att ifrågasätta SKB:s tolkning av jordskalvsrisk varken i Forsmark eller i Laxemar. Noterbart är att Lagerbäck och Sund (SGU Serie C 836) i en rapport från 2008 (enligt H. Bungum, NORSAR, SSM-rapport under tryckning) redovisar en solid och väl underbyggd argumentation som avfärdar Mörners teorier om postglaciala skalv av storleksordning M8+ i södra Sverige.

Det kan konstateras att SKB i Forsmark har data från 5 olika borrhål med tillämpad överborrningsteknik, inkluderande två borrade och mätta hål (KFK001, KFK003), satta i samband med byggande av kärnkraftreaktorerna. Fem värden från borrhålet KFK001 på ett djup under 420 m djup har så höga värden som 50-60 MPa. SKB anser dessa värden vara mindre tillförlitliga eller åtminstone innehålla stora osäkerheter pga. tillämpad mätteknik. Det är troligt att tillämpad mätteknik vid tidpunkten för byggande av reaktorerna inte var särskilt utvecklad varför ingen grund finns för att ifrågasätta denna tolkning av äldre mätvärden. Det kan också konstateras att relativt få mätvärden har erhållits på djupare nivåer i de tre KFM-hålen med endast fem mätvärden i KFM01B, tre värden från ca 230 m djup och två värden djupare än 400 m. Böjningen på kurvan vid ca 150 m djup kan troligen hänföras till kontakten mellan två sprickdomäner (FFM02 respektive FFM01). Som framgår av nedanstående text från INSITE finns utrymme för olika tolkningar om bergspänningarna i Forsmark uppgår till i genomsnitt cirka 41 MPa på 500 m djup såsom SKB antar.

För Laxemar kan konstateras att mätvärden för horisontella bergspänningarna föreligger från tre olika nivåer i endast ett borrhål, KLX12A. Dessutom redovisar SKB några mätvärden på 25-30 MPa från cirka 450 m djup i det närbelägna Äspölaboratoriet. Erhållna värden med de två olika tillämpade mätmetoderna överborrning och hydraulisk spräckning visar god överensstämmelse i Laxemar till skillnad från Forsmark där avvikelser mellan mätvärdena för respektive metod är betydande. Utgående från den goda överensstämmelsen mellan de två tillämpade mätmetoderna i Laxemar finns ingen anledning att ifrågasätta SKB:s tolkning att bergspänningarna på förvarsdjup i Laxemar uppgår till cirka 22 MPa trots att data föreligger från endast ett borrhål. Det hade ändå varit önskvärt med tillförlitliga mätdata från åtminstone ytterligare ett borrhål i Laxemar för att bättre kunna belägga uppmätta bergspänningar.

De horisontella bergspänningsdata som föreligger från ytterligare ett borrhål i Laxemar (KLX04) varierar mellan 5-40 MPa på två olika nivåer och är enligt SKB inte tillförlitliga pga. av närheten till en deformationszon.

Bromma Geokonsult kan vidare konstatera att en logisk konsekvens av högre föreliggande bergspänningar i Forsmark i jämförelse med Laxemar, om SKB:s tolkning är den korrekta, är att risken för termisk inducerad spjälkning av deponeringshålets väggar är större i Forsmark än i Laxemar. Det kan heller inte uteslutas att kombinationen höga bergspänningar och temperaturhöjningar i berget i övriga delar av deponeringstunnlarna kan initiera spjälkning eller åtminstone orsaka en transmissiv zon längs tunnlar (Rutqvist och Tsang, 2008).

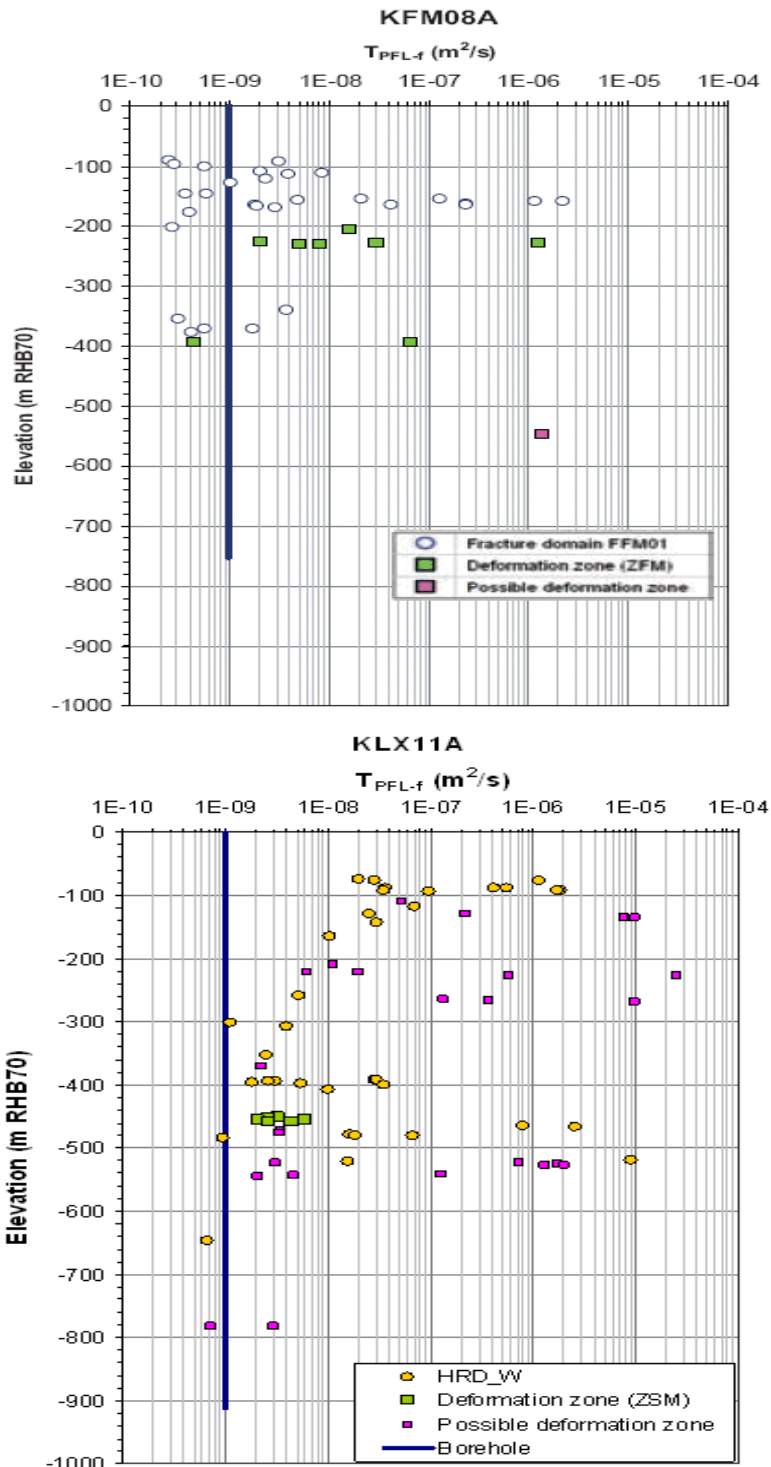
INSITE synpunkter

Det kan noteras att det med tillämpad mätmetodik, överborrning respektive hydraulisk spräckning, troligen föreligger problem att erhålla tillförlitliga data på förvarsdjup. Ett stöd för denna bedömning är att SSM:s internationella expertgrupp INSITE utvärderat tillgängliga resultat från bergspänningsmätningar och övriga indirekta metoder för att bedöma spänningssituationen i Forsmark. Det kan dock konstateras att ingen nämnvärd kritik från INSITE föreligger gällande genomförande av mätningar medan divergerande uppfattning finns gällande utvärdering av resultaten. INSITE instämmer inte i SKB:s argumentation om att överborrning är den mest tillförlitliga metoden att mäta bergspänningarna i Forsmark. INSITE anser i sin bedömning och utvärdering av följande SKB-rapporter; R-07-26, P-07-206, P-07-234, P-07-235 och R-07-31 att den andra tillämpade mätmetoden hydraulisk spräckning (HTPF Inversion) är den mest tillförlitliga metoden i Forsmark. Argumentation för denna tolkning är återgiven i följande rapporter från INSITE; M-08-02, M-08-05, 06, 07 och M-09-01 utöver detaljerad redovisning i kapitel 6 i M-09-06 respektive M-09-07.

Om INSITE:s tolkning av SKB:s mätdata är den korrekta innebär det att de horisontella bergspänningarna på förvarsdjup i Forsmark uppgår till 19-23 MPa, vilket är hälften av det värde som SKB anser vara det troliga värdet. Skulle de horisontella bergspänningarna uppgå till endast cirka 20 MPa, vilket kan fastläggas först vid mätningar under jord på förvarsnivå, behöver SKB troligen inte oroa sig över stabilitetsproblem under byggfasen av slutförvaret i Forsmark

6.1.3 Grundvattenströmning

SKB konstaterar att de hydrogeologiska förhållandena, speciellt frekvens av vattenförande sprickor och deras genomsläpplighet i förvarsvolymen (på ca 500 m djup), skiljer sig mellan platserna. I Forsmark har man i de nästan 1 000 m djupa borrhålen bara träffat på vatten i några få punkter under nivån 400 m, medan vatten är betydligt vanligare i borrhålen i Laxemar ner till åtminstone 650 m nivån (se figur 6-2). I platsmodellerna tolkas dessa data som att det i Forsmark finns mycket få vattenförande sprickor under nivån 400 m, medan detta inträffar först vid nivån 700 m i Laxemar. Nivån för få vattenförande sprickor i Laxemar är dock osäker och kan enligt SKB ligga djupare. På 500 meters djup är medelavståndet mellan vattenförande sprickor större än 100 m i Forsmark, medan det är ca 10 m i Laxemar, utom i ett ännu mer vattenförande område i norra delen av förvarsområdet där medelavståndet är ca 5 m.



Figur 6-2. Vattengenomsläpplighet (uttryckt som transmissivitet) för de vattenförandesprickor som påträffats i typiska borrhål i Forsmark (borrhål KFM08A), respektive Laxemar (borrhål KLX11A). Mätningar har gjorts från c:a 80 meters djup till borrhålets slut, vilket indikeras i figuren. Varje punkt representerar de enskilda vattenförande sprickor som identifierats (SKB öppna rapport).

Som en del av bergprojekteringen gjorde SKB bedömningen att förvaret bör ligga på cirka 500 m djup (nivå ca 470 m i Forsmark och ca 520 m i Laxemar) på båda platserna.

Om förvaret i Laxemar placeras på nivåer under 700 m skulle visserligen frekvensen vattenförande sprickor sannolikt vara lägre, men en placering på så stort djup bedöms som olämplig på grund av den sämre kännedomen om platsen på det djupet, större tekniska risker och ett mycket större ytbehov på grund av den högre temperaturen i berget (ca 2°C temperaturskillnad mellan 500 och 700 m djup).

SKB konstaterar att det generellt är en fördel med låg frekvens av vattenförande sprickor och att sprickorna har låg vattengenomsläpplighet så att det resulterande grundvattenflödet blir litet. Den högre frekvensen av vattenförande sprickor på försvarsnivå i Laxemar gör att det är fler tänkbara deponeringspositioner som kan korsas av vattenförande sprickor och därmed blir det en högre andel positioner kopplade till högt ekvivalent flöde och lågt transportmotstånd.

SKB:s genomförda analyser visar att det ekvivalenta flödet i medeltal är cirka en faktor 100 högre och att transportmotståndet är cirka 10 gånger lägre i Laxemar än i Forsmark. SKB anser det vara möjligt att förfinade modeller för grundvattenflödena i Laxemar skulle kunna visa något lägre flöden på försvarsnivå, men det påverkar inte SKB:s bedömning att Forsmark har betydligt gynnsammare förhållanden. Skillnaden i flöde och transportmotstånd mellan platserna blir även mindre om man vid valet av deponeringspositioner, undviker sådana som korsas av starkt vattenförande sprickor (som i fallet Laxemar). Det leder dock till att berget utnyttjas mindre effektivt och det är heller inte möjligt att garantera att alla mindre lämpliga positioner undviks. Sammantaget är därför enligt SKB de hydrogeologiska egenskaperna betydligt mer gynnsamma i Forsmark än i Laxemar.

Grundvattenflödet påverkas enligt SKB även av den framtida klimatutvecklingen. Under perioder av permafrost avstannar grundvattenflödet i de frysta delarna av berget. Detta bedöms generellt vara gynnsamt för säkerheten. Om berget täcks av randen av en smältande inlandsis kan dock drivkraften för grundvattenströmningen öka dramatiskt, på grund av de stora skillnaderna i isens höjd vid isfronten. SKB bedömer dock ändringen vara likartad vid de båda platserna och den relativa fördelen för Forsmark består även i detta läge.

BG kommentarer

Bromma Geokonsult kan konstatera att utgående från redovisade mätvärden erhållna med Posivas flödesmätare (PFL) från de två redovisade borrhålen från platserna (figur 6-2) är intrycket att vid en jämförelse av hydrologiska bergartsdomäner i Laxemar (HRD_W), sprickdomäner i Forsmark (FFM01) och deformationszoner (ZFM, ZSM) på respektive plats så är flödet lägre i Forsmark än i Laxemar. Det kan även konstateras att SKB valt att redovisa värden från ett borrhål som är borrarat i kvartsmonzodiorit (KLX11A) som är en tätare bergart än den nordligare belägna Ävrögraniten som utöver Ävrökvarzmonozodiorit utgör de tre dominerade bergarterna inom det fokuserade området i Laxemar (Figur 3-4a) och SKB:s Platsundersökning Oskarshamn 2002-2007). Det kan också noteras att geologin i Laxemar är mer komplicerad än i Forsmark, speciellt i sydöstra och södra delarna av Laxemarområdet med inslag av diorit och gabbro.

Av figur 6-2 framgår att tre låga värden på transmissiviteten uppmätts under 600 m djup i borrhål KLX11A. Av figuren på sidan 72-73 i SKB:s rapport Platsundersökning

Oskarshamn 2002-2007 framgår att flöden, i ett urval av borrhål, under 600 m djup förekommer i fyra borrhål i Ävrögranit i centrala och östra delar av Laxemarområdet där konduktivitetvärdena (K) varierar mellan 10^{-7} till 10^{-9} m/s. I KLX04A uppgår antal mätpunkter till drygt 10 medan i det äldre borrhålet KLX02 mätpunkterna är betydligt fler. I södra delen av området redovisas också fyra borrhål, inklusive KLX11A, där värdena under 600 m djup varierar mellan 10^{-6} till 10^{-9} m/s och där spridningen är störst i borrhål KLX03 i kvartsmonzodioriten. I kvartsmonzodioriten i de tre övriga borrhålen (KLX5A, KLX11A, KLX15A) under 600 m djup finns få vattenförande partier med sammantaget endast åtta mätpunkter med värden varierande mellan 10^{-8} till 10^{-10} m/s.

I SDM-rapporten för Laxemar (SKB TR-09-01) redovisar SKB figurer från 6 borrhål med flöden registrerade med Posiva Flödes Log (PFL) motsvarande figur 6-2 i denna rapport. Samtliga borrhål uppvisar relativt omfattande och höga flöden (max 10^{-5} m²/s) på nivåer ner till 250 m djup med avtagande storlek på flöden på förvarsnivå med undantag av borrhål KLX11A som är det borrhål SKB redovisat i den öppna rapporten!

Transmissivitetsdata från modellerade deformationszoner i Laxemar (figur 8-15 i SKB TR-09-01) visar en spridning från 10^{-3} – 10^{-8} m²/s nära ytan till 10^{-5} - 10^{-9} m²/s djupare än 500 m.

Av motsvarande redovisning för Forsmark, sidan 118-119 i rapporten Platsundersökningar Forsmark 2002-2007, framgår att inom prioriterat område under 450 m djup 23 värden uppmätts fördelade på sex borrhål där drygt hälften av mätvärdena är från borrhål KFM06C medan endast ett mätvärde per borrhål finns i tre av de övriga borrhålen (KFM08A, KFM08C, KFM05A). Uppmätta K-värden varierar mellan 10^{-7} till 10^{-10} m/s.

I SDM-rapporten för Forsmark (SKB TR-08-05) redovisar SKB figurer från 11 borrhål med flöden registrerade med Posiva Flödes Log (PFL) motsvarande figur 6-2 i denna rapport. I några borrhål KFM01A, KFM07A, KFM07C är flödena relativt små och begränsade till ytligare delar av bergrunden (<300 m djup). I borrhålen KFM02A, KFM03A (utanför prioriterat område), KFM04A, KFM06A, KFM07A, KFM10A är flödena större och rikligare förekommande på såväl på grundare som djupare nivåer. I tabell 8-5 sidan 251 i TR-08-05 redovisas max och minvärden på flöden i tre olika sprickdomäner (FFM01, FFM02 och FFM03) som visar en minskning av flödena mot djupet. I FFM01 som är den dominerande domänen i Forsmark varierar flödena från max $4,7 \cdot 10^{-5}$ – $8,9 \cdot 10^{-8}$ och min $2,5 \cdot 10^{-10}$ – $6,2 \cdot 10^{-10}$ m²/s i tre olika djupintervall (100-200, 200-400, 400-1200 m). Transmissivitetsdata från modellerade deformationszoner (figur 8-14 i TR-08-05) visar en spridning från 10^{-3} – 10^{-4} m²/s nära ytan till 10^{-8} - 10^{-9} m²/s på ca 1 000 m djup.

Av SKB:s redovisning i TR-08-05 framgår också att höga vattenflöden förekommer i den övre akvifären i Forsmark där medianvärdet 12 000 L/t rapporterats i de 22 första hammarborrhålen.

Av ovanstående jämförelse framgår att SKB:s påstående kan bekräftas att i Forsmark förekommer vatten i färre punkter under nivån 400 m än i Laxemar och att flödena i Forsmark är generellt lägre än i Laxemar. Observera dock att flödena i

kvartsmonzodioriten i tre borrhål under 600 m djup i södra delen av Laxemar är lägre (10^{-8} till 10^{-10} m/s) än flödena i Forsmark under 450 m djup (10^{-7} till 10^{-10} m/s).

SKB säger inledningsvis i sin rapport TR-09-01 att mellan 400 och 650 meters djup är medelavståndet mellan vattenförande sprickor i Laxemar 5 – 10 m. SKB säger även att på ännu större djup, preliminärt 700 m, är frekvensen av sådana sprickor mycket låg, medelavstånd mer än 100 m, men bedömningen är osäker och att djupet till torrt berg kan vara större. Av texten på sidan 71 och 75 i SKB:s rapport Platsundersökning Oskarshamn 2002-2007 framgår att generellt har berget i Laxemar högre sprickfrekvens och större vattengenomsläpplighet i de översta 200-300 metrarna och avtar markant med djupet och når på cirka 700 meters djup en frekvens av en spricka var 20:e meter. Det är uppenbart att det föreligger olika budskap från SKB beträffande spricktäthet på 700 m djup i Laxemar, vilket framgår av ovanstående text.

INSITE synpunkter

Under denna rubrik återges utvalda synpunkter från gruppens granskning av SDM-rapporterna för Forsmark och Laxemar och en redovisning på SSM 13 november 2009 avseende utvärdering av SDM-rapporten för Forsmark.

Det kan noteras att de mest utpräglade mindre deformationszonerna (MDZ) i Laxemar har en signifikant transmissivitet ($>5 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$). INSITE antar att merparten av de subhorisontella zonerna i Laxemar är i kontakt med vertikala lokala strukturer och därmed påverkar den laterala grundvattentransporten i området. Eftersom sprickförekomsten i berget är relativt hög anser INSITE att det inte strikt går att tillämpa SKB:s definition på deformationszoner i Laxemar.

INSITE nämner att inkluderande av data från mindre deformationszoner (MDZ), baserat på detaljmagnetiska mätningar i Forsmark och LIDAR-mätningar i Laxemar, har bidragit till att fylla en betydande lucka i de platsspecifika modellerna varav den diskreta spricknätverksmodellen (DFN) är en komponent. Fortfarande återstår det dock att fylla en betydande lucka som fortfarande finns för längderna i skalan mellan 10 och 100 m. INSITE anser att SKB har en tillräcklig förståelse av den roll som deformationszoner har för att kontrollera flödet i platsskala men betydande osäkerheter kvarstår beträffande flödet genom spricknätverket i deponeringshål och deponeringstunnelskala.

INSITE konstaterar att försök att få mer data via ytundersökningar i Forsmark skulle ha krävt borrning av många fler borrhål, för en relativt liten statistisk vinning av nya data, och/eller ytterligare hydrauliska och spårämnestester mellan befintliga borrhål, som skulle ha krävt en betydande förlängning av platsundersökningsfasen. Detta konstaterande gör inte INSITE för Laxemar.

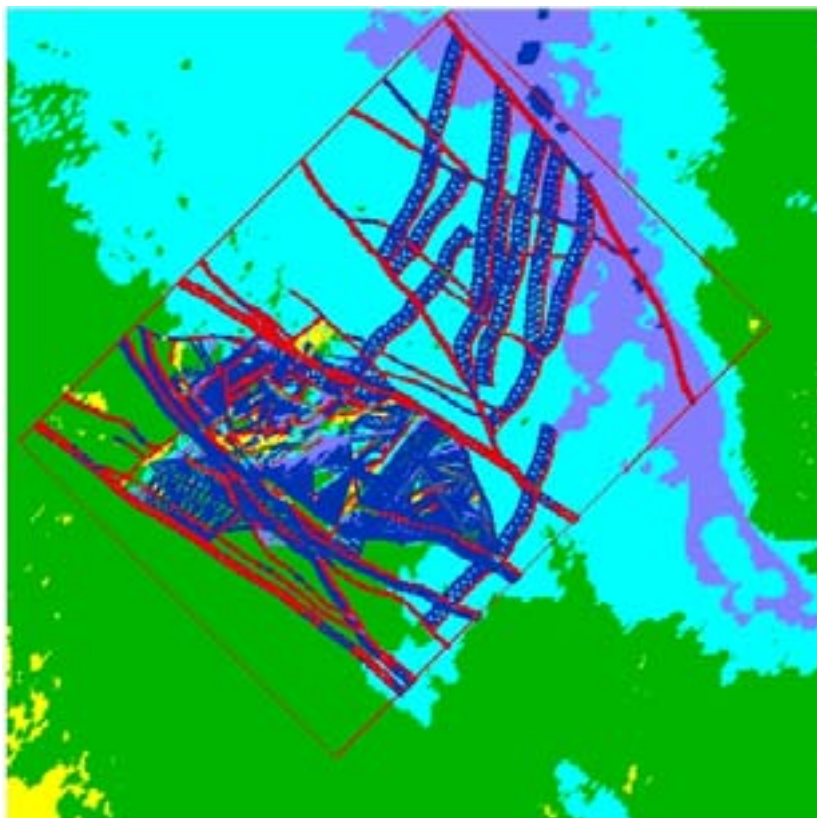
INSITE:s viktigaste påpekande är att den diskreta spricknätverksmodellen som stöd för flödesmodellering av bergmassan inte är en unik tolkning. Följaktligen kommer SKB att behöva presentera alternativa sprickmodeller och alternativ till den tektoniska kontinuummodellen för att ge ett bredare underlag för flöde och transportberäkningar i säkerhetsanalysen. Hittills har den svit av modellvarianter som har undersökts ur ett hydrogeologiskt perspektiv inte räckt till för att lösa problemet.

INSITE anser även att för såväl Forsmark som Laxemar gäller att de strukturer som bidrar till flödet på förvarsdjup inte är helt klarlagda. Detta beror på stora svårigheter och höga kostnader att genomföra hydrogeologiska (och andra) mätningar på djupet. Genomförda interferenstester har hittills fokuserat främst på det ytliga grundvattensystemet. Viktiga frågor kvarstår om hydrogeologiska samband mellan dessa strukturer, och även mellan såväl de stora flackt stupande zonerna som subvertikala deformationszoner.

Redovisning SSM november 2009

Under denna rubrik återges utvalda delar från en redovisning på SSM 13 november 2009 avseende utvärdering av SDM-rapporten för Forsmark.

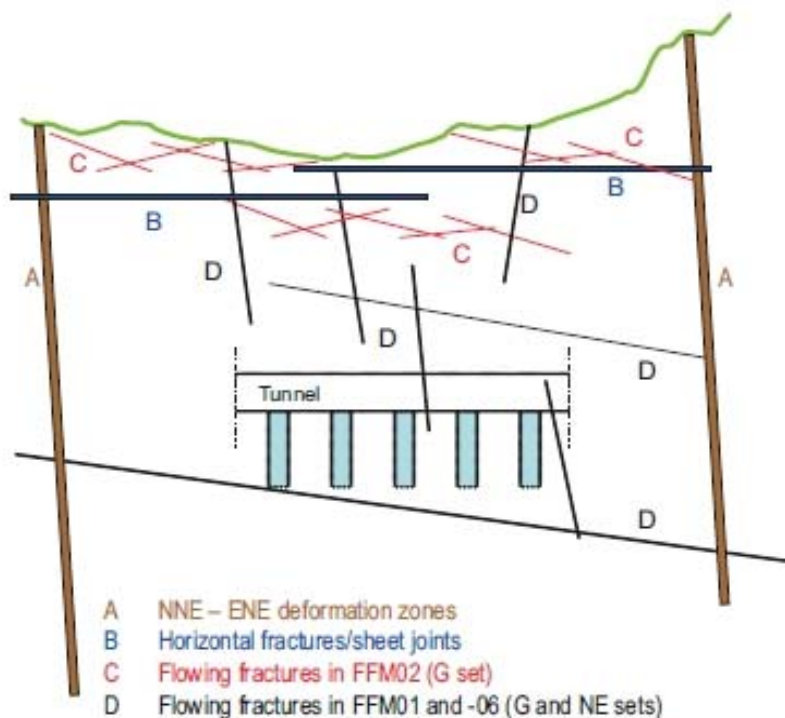
Med hänvisning till figur 6-1 rörande hydrologiskt ledande domäner noterar INSITE att den hydrauliskt ledande domänen (HCD) baserad på kraftigt uppspruckna deformationszoner i skalan >1 km kontrollerar flödet i regional och platsskala. Ett glesare nätverk av enskilda sprickor och mindre deformationszoner i skalan <1 km kontrollerar flödet inom den hydrauliska bergartsdomänen (HRD). Detta innebär att den diskreta spricknätverksmodellen (DFN) är kritisk för flödet runt deponeringshålen.



Figur 6-3. Schematisk illustration belysande geometri och karaktär för deformationszoner i Forsmark. Gul, grön och varierande blå färg visar topografi, röd och mörkblå färg visar deformationszoner på varierande djup (INSITE, SSM november 2009).

Med hänvisning till ovanstående figur konstaterar INSITE att hydrauliskt ledande domäner (Hydraulic Conductor Domains, HCDs) baserade på geologiska

deformationszoner är det som styr/kontrollerar flödet i förvarets omgivning. Om ytterligare hydrauliskt ledande domäner från glest provtagna områden inkluderas kan prediktionen för flödet i platsskala bli annorlunda. Om domänerna slutar mot eller korsar över andra domäner kan flödet genom förvaret påverkas. Komplexa strukturer och variation i hydrauliska egenskaper inom domänerna kan därmed påverka transport av radionuklider. Därför anser INSITE att alternativa modeller behövs för att undersöka/genomlysa konsekvenserna för dessa osäkerheter.



Figur 6-4. Principskiss för den hydrogeologiska konceptuella modellen för berggrunden inom prioriterat område i Forsmark (SKB TR-08-05).

INSITE konstaterar att kraftigt vattenledande, nästan horisontella sprickor ("shallow bedrock aquifer") uppträder i de övre 150 m i berggrunden ovanför förvaret i Forsmark (figur 6-4). Detta innebär enligt INSITE att utbredning, kontinuitet och variabilitet av egenskaper i den ytliga berggrunden påverkar hydrauliska gradienter genom förvaret liksom utsläpp till biosfären. Samband genom mer spridda sprickor runt förvaret är baserat på statistiska antaganden/egenskaper. Dessa egenskaper är högst osäkra och de är dragna utifrån begränsad kartering av hållområden och borrhålsdata. Tillkommande data från tunnelkartering kommer att vara viktiga för att förfina och bekräfta modellerna.

INSITE:s sammanfattning av hydrogeologiska frågor innebär att:

- Alternativa modeller behövs för att undersöka konsekvenser av osäkerheter i storskaliga strukturmodeller för flöden runt ett slutförvar.
- Diskreta spricknätverksmodeller (DFN) är kritiska för flöden runt deponeringshålen, men dess egenskaper är mycket osäkra.
- Tunneldata kommer att vara viktiga för att förfina och verifiera modellerna.

- Alternativa DFN modeller med interna spricksamband och koppling till deformationszoner behövs för att kontrollera effekterna av flöden genom förvaret och utsläppspunkter till biosfären.

BG kommentarer

SKB:s argumentation att om förvaret i Laxemar placeras på nivåer under 700 m skulle visserligen frekvensen vattenförande sprickor sannolikt vara lägre, men en placering på så stort djup bedöms som olämplig på grund av den sämre kännedomen om platsen på det djupet, större tekniska risker och ett mycket större ytbehov på grund av den högre temperaturen i berget kommenteras nedan.

Beträffande sämre kännedom på djupet sett ur perspektivet grundvattenströmning kan konstateras att detta borde ha åtgärdats av SKB genom att införskaffa bättre kännedom genom utökade undersökningsinsatser innan man beslutade sig för att avfärda Laxemar som ett alternativ till Forsmark. Påståendet om större tekniska risker och mycket större ytbehov i Laxemar kommer att kommenteras under kapitlet teknik för genomförande. BG kommentarer om framtida klimatutveckling kommenteras också längre fram i denna rapport.

Det kan konstateras att sämre kännedom om platsen Laxemar är en ganska svag argumentation eftersom osäkerheten, som redan påpekats, kunde ha reducerats genom ytterligare datainsamling. Detta kommer troligen lyftas fram av de som vill ifrågasätta valet av slutförvarsplats för använt kärnbränsle. Risker är uppenbara att de som vill ifrågasätta valet kommer att hävda att informationsmängden från respektive plats inte utgjorts av ett likvärdigt tillgängligt underlag varför valet borde ha gjorts i ett senare skede när tillräckliga jämförbara data funnits för båda platserna.

6.1.4 Grundvattnets sammansättning

SKB konstaterar att platsundersökningarna visar att huvuddragen i grundvattnets sammansättning är likartade på de båda platserna. Nära markytan är vattnet påverkat av nederbörd, som har mycket låg salthalt, längre ner stiger salthalten vilket tyder på att vattnet härrör bland annat från Littorinahavet som bildades efter den senaste istiden. Rester av smältvattnet från inlandsisen påträffas också, även på nivåer som motsvarar förvarsdjup. På ännu större djup är salthalterna ännu högre och vattnet bedöms vara mycket äldre. Eftersom Laxemar var täckt av Littorinahavet under kortare tid är dock inverkan av Littorinahavet där mindre tydlig.

Det finns också enligt SKB:s uppfattning viktiga skillnader mellan platserna och i bedömningen av hur grundvattnets sammansättning kommer att ändras i framtiden. I Forsmark ligger vattnet som påverkats av regn och annan nederbörd relativt grunt, medan påverkan nått betydligt större djup i Laxemar. Skillnaden beror dels på att berget under 150 m djup är betydligt tätare i Forsmark jämfört med Laxemar och dels på att Forsmark befunnit sig ovanför havsnivån mycket kortare tid än Laxemar.

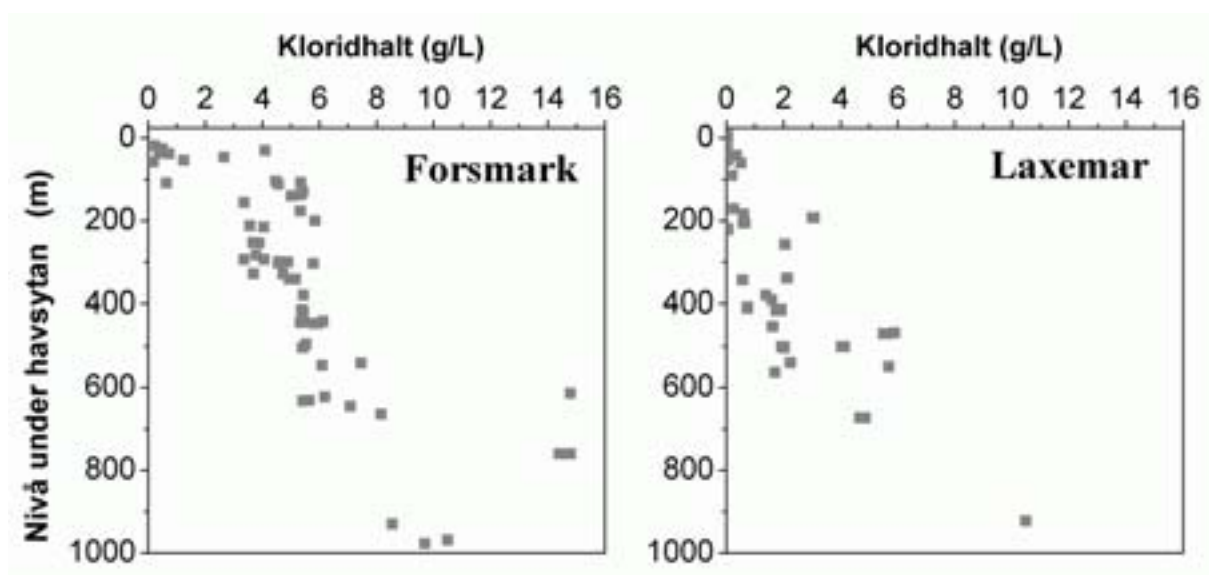
Grundvattnets *salthalt och innehåll av kalcium* påverkar stabiliteten hos bentonitleran. Låga halter kan ge problem med avseende på detta. Även om salthalterna sjunker i en framtid, är det tänkbart att den låga vattengenomsläppligheten i Forsmark gör att salthalten kommer att bli relativt opåverkad på förvarsnivån. I Laxemar är salthalten

enligt SKB:s tolkning redan idag lägre och förväntas sjunka ytterligare. Generellt innebär det att det finns en mindre risk att bentonitleran eroderas och till slut försvinner i några deponeringshål i Forsmark, jämfört med i Laxemar.

Grundvattnats halt av *sulfid* är också viktig, eftersom sulfiden kan korrodera koppar och därmed skada kapseln. Om bentonitbufferten är intakt krävs det dock extremt höga sulfidhalter för att detta ska vara ett problem. Om bufferten skadas blir sulfidhalten viktigare. Idag är sulfidhalterna generellt låga under ostörda förhållanden i både Laxemar och Forsmark. För båda platserna finns det relativt likartade förutsättningar för att mikrober ska omvandla sulfat till sulfid. Den framtida utvecklingen av sulfidhalterna förväntas också vara likartad på båda platserna.

Grundvattnet på försvarsnivå får inte innehålla *löst syre* eftersom syre korroderar koppar. Idag förbrukas syret i infiltrerande nederbörd genom mikrobiella processer mycket nära ytan och kravet är uppfyllt, men för den långsiktiga säkerheten är det också viktigt att bedöma bergets framtida förmåga att förbruka syret i infiltrerande vatten. Även bergets framtida *kapacitet att buffra pH* är viktig. Vid båda platserna innehåller sprickorna olika mineral, främst kalcit, vilket tyder på god kapacitet för att buffra pH. För att reducera syre är förekomsten av järnmineral, Fe(II) viktig. Berget i Laxemar har ungefär dubbelt så hög halt Fe(II) jämfört med Forsmark, men eftersom vattengenomsläppligheten är så mycket lägre i Forsmark, blir ändå den totala kapaciteten att hindra nedträngning av löst syre betydligt bättre i Forsmark.

Grundvattnets sammansättning och framtida utveckling uppvisar enligt SKB stora likheter mellan platserna, men bedöms sammantaget vara mer fördelaktig i Forsmark. Det gäller framförallt att dagens salthalt är mer gynnsam för buffertens stabilitet. Till stor del beror det på att berget i Forsmark är tätare än det i Laxemar. Å andra sidan innebär det tätare berget i Forsmark att det har varit svårt att ta vattenprover (375 grundvattenprover tagna i Forsmark, 525 i kärnborrhål i Laxemar?) och att det därför finns en något lägre tilltro till den geokemiska beskrivningen där.



Figur 6-5. Uppmätt salthalt för olika djup vid Forsmark och Laxemar (SKB öppen rapport).

BG kommentarer

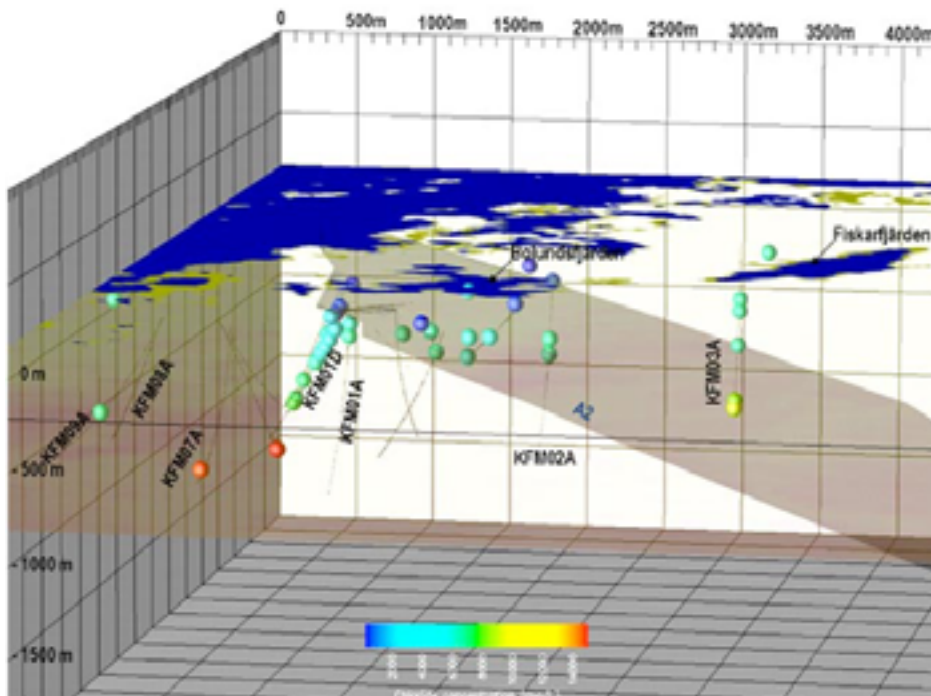
Utgående från figur 6-5 verkar SKB dra slutsatsen att i Laxemar är salthalten redan idag lägre än i Forsmark och förväntas sjunka ytterligare. Denna förväntan grundar SKB sannolikt på att berget är sprickigare och mer vattenförande i Laxemar i jämförelse med Forsmark vilket INSITE har synpunkter på (se nedan). SKB:s påstående att dagens salthalt i Forsmark (på försvarsnivå) är mer gynnsam för buffertens stabilitet kan ifrågasättas. Som framgår av figur 6-5 uppgår salthalten på försvarsdjup (ca 500 m) till 6 g/L på båda platserna vilket innebär att det inte går att hävda som SKB gör att salthalten i Forsmark är mer gynnsam för buffertens stabilitet i jämförelse med Laxemar. Vad som däremot går att utläsa från figuren är att salthalten ner till försvarsdjup varierar mellan 3 till 6 g/L i ett större antal prov medan få prov i Laxemar har motsvarande halter. Dessutom synes halterna mellan 500 -700 m djup i Forsmark (6 till 8 g/L) vara högre än i Laxemar. De tre höga halterna på ca 1 000 m djup i Forsmark är registrerade i kärnbrorhål KFM03 beläget utanför kandidatområdet. I figur 6-5 redovisas fler analyser för Forsmark än för Laxemar trots att fler analyser verkar vara gjorda i Laxemar enligt platsundersökningsrapporterna 2002-2007 (se även figur 9-3 i SKB TR-09-01 som redovisar koncentrationen av klorid i en profil från Laxemar och figur 6-6 på nästa sida som redovisar motsvarande profil från Forsmark). Av tabell 9-4 i SDM-rapporterna framgår att 39 respektive 46 godkända kategori 1-4 prover från kärnbrorhål analyserats från Forsmark respektive Laxemar. Godkända analyserade prover från hammarborrhål är 25 och 18 för respektive plats. SKB påstående att pga. svårigheter att ta vattenprov i Forsmark finns en lägre tilltro till den geokemiska beskrivningen för Forsmark borde ha motiverats i den öppna rapporten. Noterbart är dock att i Forsmark har fem vattentyper identifierats medan motsvarande siffra i Laxemar är åtta (inklusive en övergångszon), vilket skulle tyda på mer komplexa hydrogeokemiska förhållanden i Laxemar.

Fördelning av de olika vattentyperna längs en WNW-ESE profil i Forsmark redovisas på sidan 339 (figur 9-22) i SKB TR-08-05. Fördelning av de olika vattentyperna längs en NW-SE profil i Laxemar redovisas på sidan 361 (figur 9-20) i SKB TR-09-01.

INSITE synpunkter

Under denna rubrik återges utvalda synpunkter från gruppens granskning av SDM-rapporterna för Forsmark och Laxemar och en redovisning på SSM 13 november 2009 avseende utvärdering av SDM-rapporten för Forsmark.

Med hänvisning till figur 6-6 på nästa sida gällande analyserade kloridhalter i Forsmark konstaterar INSITE att data är generellt glest fördelade och att data under 600 m djup i princip saknas inom prioriterat område med några få undantag. Vattenprovtagning och kemisk in-situ monitorering var långsam och utförd endast i sprickor med flöden. Använda data är mestadels tillräckligt tillförlitliga men undantag finns för vätesulfid (HS⁻), kolloider och uran.



Figur 6-6. Provpunkter för analyserade kloridhalter i intervallet 2 000 till 14 000 mg/L Forsmark (SKB TR-08-05).

Beträffande grundvattnets sammansättning på förvarsdjup konstaterar INSITE att t.ex. vattnets kloridhalt i deponeringshålen kommer att bero på halterna i såväl bergmatrisens porvatten som i grundvattnet i sprickzoner. Dessutom anser INSITE att SKB behöver utvärdera sannolikhet och påverkan på barriärerna genom uppkoning av salt vatten (under och efter byggande av förvaret) från djup under 600 m. Dessutom behöver SKB under jord utföra tester för att minska osäkerheter för rörligheten av sulfat/sulfid och kolloider (kan underlätta radionuklidtransport).

INSITE konstaterar att den paleohydrogeologiska utvecklingen indikerar möjligheten att i en framtid kan såväl ett mer utspätt som saltare vatten uppträda på förvarsdjup i Laxemar. SKB däremot anser att salthalten förväntas sjunka ytterligare.

INSITE noterar beträffande mätningar av redox (Eh), som är en viktig parameter för kapselkorrosion, att provtagning varit särskilt svår att genomföra. Dock konstaterar INSITE att det föreligger en övertygande bevisning att löst syre inte förekommer på förvarsdjup och att detta gäller för såväl Forsmark som Laxemar.

INSITE konstaterar att reducerande förhållanden och mikrobiell aktivitet främjar bildandet av korroderande sulfid men osäkerhet föreligger beträffande styrande processer. INSITE noterar att i motsats till Forsmark ökar sulfathalten reguljärt med djupet till ca 1 000 mg/L på 1 000 m djup och är nästan i jämvikt med kalciumsulfat i Laxemar. På förvarsdjup är dock halterna relativt lika på respektive plats. SKB:s förklaring gällande ursprung och biogeokemisk reduktion av sulfat och pyritens geokemi är enligt gruppen översiktlig och inte övertygande (SKB R-08-93, sidan 82).

Sammanfattande synpunkter

Beträffande scenarier för grundvattnets framtida utveckling konstaterar INSITE att grundvattnets sammansättning på förvarsdjup successivt kommer att spädas ut vid en normal utveckling och därmed också påverka de tekniska barriärernas utveckling. Beträffande scenariet uppkonung av salt vatten behäftas detta med stora osäkerheter. Framtida glaciation borde medföra transport av utspädda vatten till förvarsdjup men att löst syre skulle nå förvarsnivå har liten sannolikhet. Däremot skulle permafrost kunna höja salthalten genom utfrysning varför dessa effekter behöver beaktas vid modellering av de tekniska barriärerna. INSITE rekommenderar därför SKB att vid hydrogeologisk och geokemisk modellering bedöma potentiell påverkan från nämnda scenarier.

SKB har enligt INSITE gjort alla rimliga ansträngningar beträffande kostnader och teknisk strategi för att erhålla representativa data för rörligt grundvatten i vattenförande sprickor i såväl Forsmark som Laxemar. SKB har vidare utvecklat en god förståelse för grundvattnets sammansättning i både Forsmark och Laxemar men eftersom sammansättningen är baserad på utspridd provtagning och analys behöver osäkerheter och grundvattnets utveckling modelleras som stöd för säkerhetsanalysen. Kalibrering av grundvattenflödets modeller med hydrokemiska data behöver uppdateras och användas för att bedöma framtida påverkan från salt och glacialt vatten. Dessutom framför INSITE att effekterna av grundvattnets sammansättning och transport av kolloider behöver beaktas i modellen för radionuklidtransport i säkerhetsanalysen.

6.1.5 Förmåga att fördröja utsläppta radionuklider

Enligt SKB visar data från platserna att bergmaterialets förutsättningar för matrisdiffusion och sorption är goda och likartade på båda platserna. Generellt anser SKB att bergets förmåga att fördröja utsläppta radionuklider blir betydligt bättre i Forsmark, eftersom strömningsvägarna där har mycket större transportmotstånd.

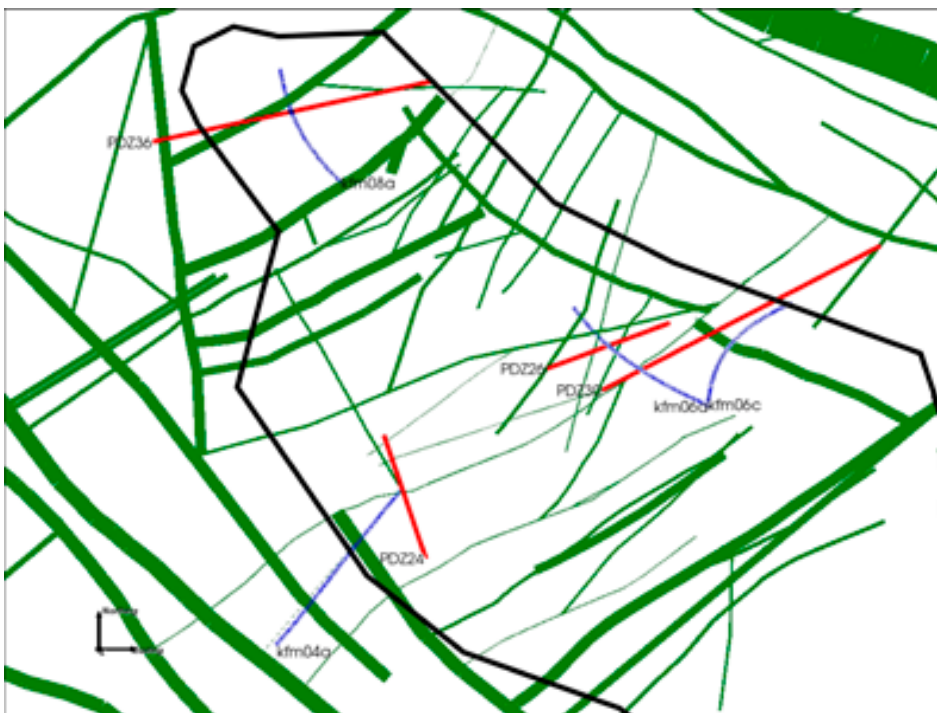
INSITE synpunkter

Beträffande transportegenskaper konstaterar INSITE att SKB totalt sett har haft en sund utgångspunkt (god grund) för att definiera transport av lösta ämnen och kvarhållande/fördröjande kriterier för sprickor, intakt berg och deformationszoner som i stort sett representerar de senaste rönen inom detta vetenskapliga område. SKB har också inom ramen för genomförda platsundersökningar skaffat sig så mycket information som de kunnat beträffande parametrar som kan kopplas till såväl transportmodell som modell för fördröjning av radioaktiva ämnen i såväl Forsmark som i Laxemar. Parameterdata är dock inte kompletta, vilket behöver adresseras vid planerade undersökningar under jord.

Beträffande konfirmerande fälttester av transportparametrar anser INSITE att SKB i sin modell i stort sett har lyckats demonstrera flöde och fördröjning i form av existens av fördröjning beroende på matrisdiffusion och sorption.

En fråga som INSITE ställer är om det finns några direkt observerbara bevis för förekomst av snabba transportvägar från förvarsdjup upp till ytan. INSITE anger sex exempel i sin rapport (M-09-06 sidan 43) på att det finns ett antal potentiella indikatorer beträffande förekomst och lokalisering av transportvägar som har transmissiviteter och samband som tillåter snabbt flöde och transport från förvarsdjup upp till ytan. INSITE

anser att konceptet snabba flödesvägar måste beaktas utgående från kunskap och antaganden om hydrogeologin i stora deformationszoner, speciellt ZFMA2 i Forsmark, som är den flackt stupande deformationszonen (på 400-500m djup under Bolundsfjärden i borrhål KFM02A) och som separerar berggrundens ligg- och hängvägg. Andra deformationszoner som är potentiellt relevanta som snabba flödesvägar är ZFMENE0060 som stupar brant och delar berget i liggväggen i två delar samt Singö och Eckarfjärdens regionala deformationszoner. Transmissiviteten i ZFMA2 varierar från ytligare delar ner till 400 m djup mellan ung 10^{-4} till 10^{-5} m²/s. Därmed skulle en snabb flödesväg vara betydande för transportmodellen ”in the safety case” om det skulle visa sig finnas ett samband mellan förvarets bergvolym och någon av de stora deformationszonerna. Ett exempel på en sådan alternativ konceptuell modell framgår av figur 6-7 nedan. Förekommande kortare zoner än 3 km som ev. skulle kunna sammanlänka de större omgivande deformationszonerna diskuteras även av INSITE i M-09-09 sidan 8.



Figur 6-7. Potentiell alternativ konceptuell modell (ACM) för Forsmark. Möjliga sprickzoner är rödmarkerade som tillägg till grönfärgade fastställda deformationszoner på 600 m djup i Forsmark (INSITE SSM 13 november 2009, SKB R-08-23).

INSITE anser vidare att vid beaktande av betydelsen av snabba flödesvägar behöver SKB anstränga sig för att identifiera och studera de möjliga snabba flödesvägar som finns i fält. Hittills har SKB inte sökt speciellt efter dessa vägar genom att använda alla tillämplade metoder under platsundersökningarna. Detta är enligt INSITE delvis förståeligt pga. svårigheterna att finna entydiga bevis för snabba flödesvägar som når ytan.

Vid presentationen av INSITE på SSM 13 november 2009 redovisades ett antal potentiella svagheter som inte utretts tillräckligt av SKB. Dessa svagheter redovisades under rubrikerna; överföring från SDM data in i platsmodellerna, förenklingar som

använts för att utveckla säkerhetsanalysmodeller och från beräkningsmodeller till säkerhetsanalysen. Påpekandena var en rekommendation till SSM att uppmärksammas vid granskning av kommande ansökan.

6.1.6 Framtida klimatutveckling

SKB konstaterar att ett framtida klimat präglad av global uppvärmning är i huvudsak positivt för förvarets utveckling vid båda platserna, eftersom det skjuter perioder med permafrost och inlandsis framåt i tiden. En eventuell höjning av havsytan på grund av smältande inlandsisar på Grönland och/eller Antarktis bedöms inte ha någon negativ inverkan på förvaret. Båda platserna kan dock så småningom utsättas för framtida inlandsisar. Detta påverkar grundvattenströmningen, eftersom isen ändrar förutsättningarna för grundvattenflöde i berget. Det påverkar även grundvattnets framtida sammansättning negativt, genom att smältvattnet från isen antas ha hög halt av löst syre och mycket låg salthalt. Betydelsen av detta har diskuterats i kapitel 6.1.4.

SKB konstaterar vidare att Forsmark ligger längre norrut än Laxemar, vilket vid kalla torra perioder ger ett mer gynnsamt klimat för permafrosttillväxt. Berget i Forsmark har dessutom högre värmeledningsförmåga än berget i Laxemar. I Forsmark är värmeledningsförmågan cirka 3,5 W/(m·K) medan den i Laxemar varierar mellan 2,6 och 2,9 W/(m·K). Det innebär att Forsmark är mer känsligt för framtida påverkan av permafrost. Om klimatet utvecklas på ett sätt som liknar den senaste istiden visar genomförda beräkningar att grundvattnet skulle kunna frysa ner mot några hundra meters djup. Frysningen når dock inte så djupt som ner till förvarsnivå. För mer extrema, men tänkbara, framtida klimat kan det finnas en möjlighet att grundvattnet fryser ända ner till förvarsnivå i Forsmark, men inte i Laxemar.

BG kommentarer

Myndigheterna SKI och SSI framförde i sin granskning av SR-Can att ett högre vattenstånd i Östersjön skulle kunna leda till en högre salthalt och eventuellt en större havsvatteninträngning i slutförvaret (Holmlund, 2008). Därför är SKB:s påstående att en eventuell höjning av havsytan på grund av smältande inlandsisar på Grönland och/eller Antarktis inte bedöms ha någon negativ inverkan på förvaret diskutabelt. Det kan noteras att Forsmark skulle hamna under vattenytan tidigare än Laxemar pga. platsernas topografiska förhållanden.

SKB anser att om klimatet utvecklas på ett sätt som liknar den senaste istiden visar genomförda beräkningar att grundvattnet skulle kunna frysa ner mot några hundra meters djup. Detta antagande baseras troligen på redovisningen i SR-Can att erosionen av bergytan vid en glaciation uppgår till högst 5 meter. Vid myndighetsgranskningen av SR-Can konstaterade Holmlund (2008) att SKB inte tillräckligt diskuterat risken för en betydande glacial erosion vid de båda kandidatområdena. Med tanke på att analysen beaktar en miljon år kan detta inte uteslutas utan en mer detaljerad motivering.

Storleken av erosionsdjupet för hela perioden beror på erosionspotentialen och tiden för glacial erosion under varje cykel. Holmlund (2008) utesluter inte erosionshastigheter på ca 1 mm/år under erosionstider på 20-30 tusen år. Detta skulle medföra erosionsdjup som avsevärt skulle kunna påverka beräkningarna av permafrost och möjligheten att undvika frysning av bufferten mot slutet av den period som säkerhetsanalysen täcker in.

Enligt de beräkningar som SKB gjort (SR-Can) kommer temperaturen på förvarsnivån aldrig under -5°C på någon av platserna. Bentonitbufferten fryser enligt SKB först vid temperaturer under -5°C . Analyser visar enligt SKB dessutom att bufferten klarar att frysa och tina och då återfå sina egenskaper. Det gäller även återfyllnaden i deponeringstunnlar. Bromma Geokonsult anser ändå det vara rimligt att anta att någon förändring i bentonitens struktur borde ske i samband med upprepad frysning och tining under upprepade glaciationer. SKB:s påstående om oförändrade egenskaper behöver verifieras genom hänvisning till den forskning som lett fram till denna slutsats. Vid en sökning på SKB:s hemsida är det svårt att finna referenser som berör frysning och tining av bufferten i ett KBS-3 förvar men rimligen borde SKB kunna visa upp ett antal referenser som beskriver denna process (SKB R-07-60 beskriver frysning av buffert i SFR 1).

SKB anser att återfyllnadsmaterial i tillfarterna, på högre nivåer, kommer att frysa, men bedömningen är att lermaterialen även här återfår sin funktion när temperaturen åter stiger. Hållrum med fritt vatten skulle dock, för de mest extrema klimatfallet, kunna frysa på förvarsdjup i Forsmark. Preliminärt bedömer SKB inte heller detta ge någon ökad risk för skador på förvaret. Det kan ändå konstateras att om inte risken för skador på förvaret ökar på förvarsdjup kan man ändå inte utesluta att när temperaturen stiger flödesvägar kan öppnas upp.

Det kan även konstateras att under SSM:s pågående samråd med SKB har SKB framfört att man i SR-Site avser att utgå ifrån att bufferten fryser först vid -10°C . Anledningen till detta skulle kunna vara att SKB nu är osäker på om temperaturen på förvarsdjup ändå kan nå under -5°C . Oavsett detta är det rimligt att anta, som SKB också konstaterar, att Forsmark är mer känsligt än Laxemar för framtida påverkan av permafrost.

6.1.7 Biosfärförhållandena

En värdering av de framtida biosfärförhållandena på platserna visar att det mer nordliga läget för Forsmark innebär att platsen sannolikt kommer att befinna sig under en inlandsis eller under havet betydligt längre perioder än Laxemar. Under dessa perioder blir doser från eventuella utsläpp av radioaktiva ämnen mycket små. Det kan även finnas skillnader i doskonsekvenser under temperade förhållanden och när eventuella utsläpp skulle kunna nå vattendrag eller jordbruksmark, men skillnaderna mellan platserna är små jämfört med osäkerheterna i sådana bedömningar.

BG kommentarer

SKB:s slutsats verkar vara rimlig att skillnader i doskonsekvenser mellan platserna är små i jämförelse med osäkerheter i gjorda bedömningar.

6.1.8 Platskännedom

SKB har en stor tilltro till platsbeskrivningarna på båda platserna. Denna bedömning grundar SKB på att det finns en stor mängd data från platserna och att dessa data kan tolkas entydigt och med stor överensstämmelse mellan olika ämnesområden, men jämförelsevis är dock berggrunden i Laxemar mer heterogen. Det innebär enligt SKB att det i Laxemar finns större osäkerheter om precis var en viss bergart eller vattenförande

spricka är belägen. Den enda metoden att på ett avgörande sätt ytterligare öka tilltron och detaljkunskaperna är att fortsätta undersökningarna från tunnlar under mark, i samband med att förvaret byggs.

BG kommentarer

Det är förståeligt att SKB bedömer osäkerheterna i Laxemar större än i Forsmark. Anledningen kan vara en mer heterogen berggrund och sämre rumslig fördelning av borrhål men en annan viktig faktor kan vara att tiden för datainsamling i Laxemar varit två år kortare än i Forsmark och att datainsamling och utvärdering därmed inte hunnit bli lika omfattande och dessutom skett under stor tidspress i Laxemar.

Undersökningarna i Laxemar startade 2004 och i Forsmark 2002. Bromma Geokonsult kan därför inte hålla med SKB när de påstår att endast detaljundersökningar kan öka tilltron och detaljkunskaperna. Det är ganska uppenbart att ytterligare undersökningar från ytan i Laxemarsområdets centrala och södra/sydvästra delar väsentligt skulle ha medfört ytterligare detaljkunskap och därmed minskad osäkerhet om såväl bergarts- som sprickfördelning. Särskilt gäller detta området med kvartsmonzodiorit, söder om den sydligt belägna deformationszonen (ZSMNW042A), delvis utanför det fokuserade området (se figur 3-4a, 5-4 och 6-8b).

SKI framförde i sin granskning av SKB:s Fud-program 2007 att ett potentiellt problem för förståelsen av bergets egenskaper i Laxemarområdet är dess heterogena geologi och begränsad information om det prioriterade södra och sydvästra området. SKI sade sig därför ha viss förståelse för Naturskyddsföreningens och Miljöorganisationernas kärnavfallsgranknings farhågor om tillräcklig information finns från det potentiella deponeringsområdet.

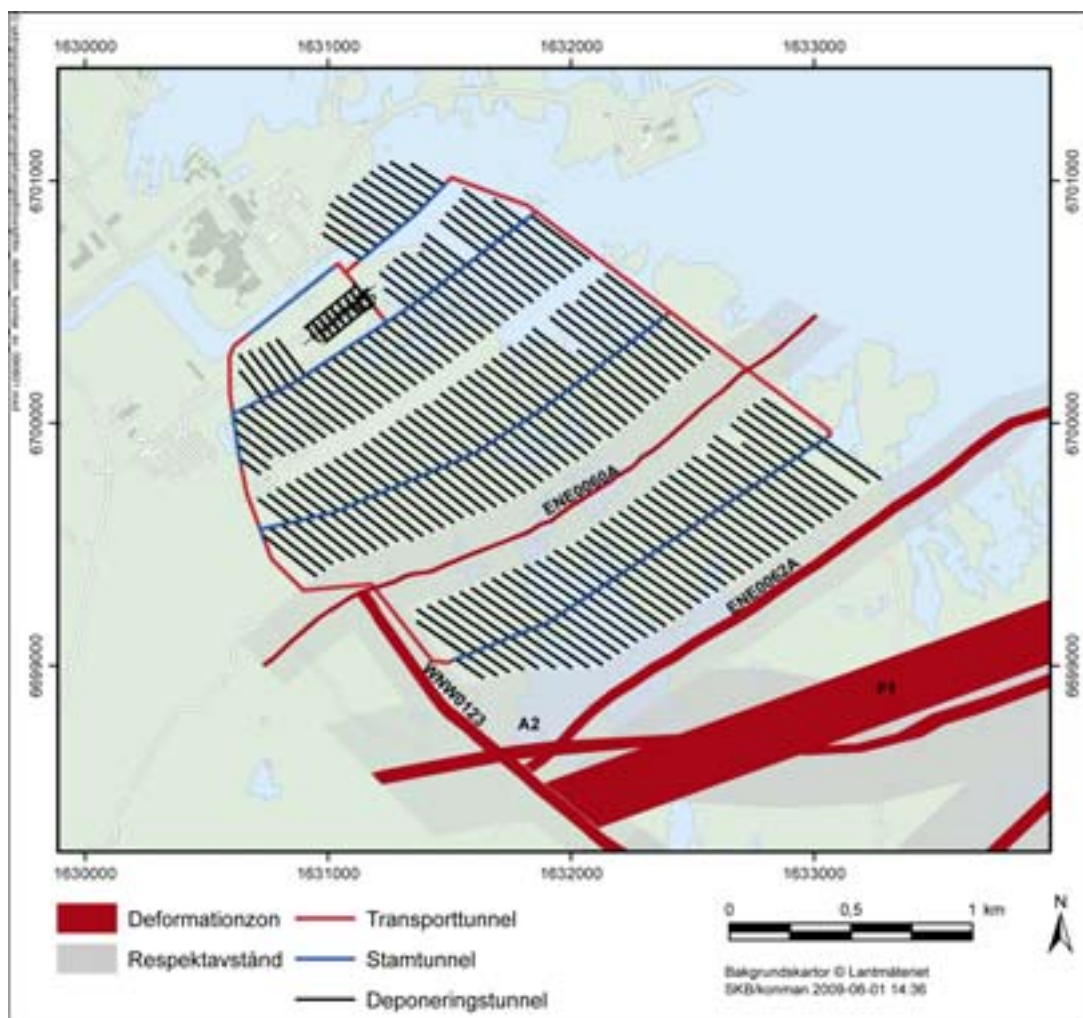
SKB:s inledande kommentar till kapitel 5.1 Säkerhetsrelaterade platsegenskaper i den öppna rapporten att båda platserna är lämpliga och att skillnaderna mellan platserna är små är förvånande och svår att förstå. Anledningen till bryderiet är att SKB samtidigt betonar att det som avgjort valet till Forsmarks fördel är att Forsmark bedöms ge bättre förutsättningar för att åstadkomma ett långsiktigt säkert förvar. SKB betonar också att skillnaderna till Laxemar vad beträffar den långsiktiga säkerheten är så stora att även om mer arbete läggs ned på ytterligare analyser skulle valet bli detsamma. Detta är ett påstående från SKB som i så fall borde verifieras genom att presentera en fullständig jämförbar säkerhetsanalys för båda platserna som för övrigt även rekommenderats av Kärnavfallsrådet.

6.2 Teknik för genomförande

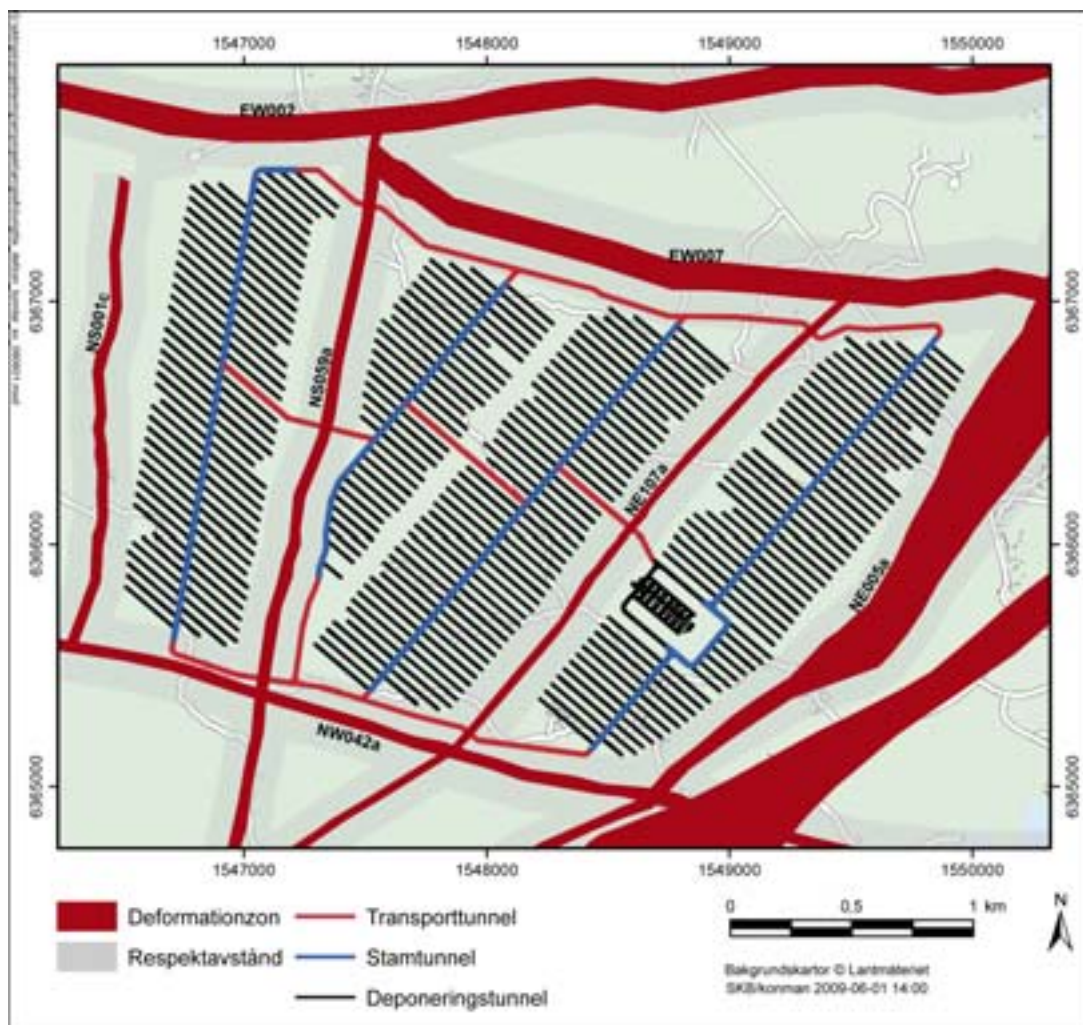
6.2.1 Flexibilitet

SKB bedömer att på båda platserna ges goda möjligheter att bygga förvarets *tillfarter* enligt planerad utformning och ge god flexibilitet för de anpassningar som kan behövas vid detaljprojektering och bygge. Frihetsgraderna att justera lägen för tillfarterna är mera begränsade i Forsmark på grund av fysiska restriktioner ovan mark. Å andra sidan är det svårt att se några behov av större ändringar. Båda platserna kan kräva vissa anpassningar av *rampens sträckning* och utförandet av *centralområdet*, med hänsyn till bergförhållanden.

De platsanpassade förvarslayouter (figur 6-8a och 6-8b) som tagits fram ger för båda platserna en *bruttokapacitet* som överstiger behovet av tillgängliga deponeringspositioner enligt referensutformningen (6 000 positioner) med drygt 20 %. Riskbilden vad gäller bortfall av deponeringspositioner diskuteras under kapitel 6.2.2.



Figur 6-8a. Layout för slutförvar i Forsmark. Figuren visar även layoutstyrande deformationszoner och respektavstånd till dessa (SKB öppen rapport).



Figur 6-8b. Layout för slutförvar i Laxemar. Figuren visar även layoutstyrande deformationszoner och respektavstånd till dessa (SKB öppen rapport).

SKB anser att möjligheter att öka kapaciteten finns, dels inom de områden som är väl undersökta, dels genom att utvidga förvaret till angränsande områden. Det senare gäller med reservation för att kunskapen om bergförhållandena i dessa områden är ofullständig och undersökningar krävs för att bekräfta lämpligheten. I Forsmark kan förvarets kapacitet ökas genom att driva den termiska dimensioneringen längre så att förvarsområdet utnyttjas mera effektivt. En annan möjlighet är att bygga ytterligare en förvarsnivå, ca 100 meter under den första, eller som tredje alternativ att expandera förvaret mot sydost. Laxemar ger jämförbara eller bättre möjligheter att öka kapaciteten genom att förbättra den termiska dimensioneringen eller bygga en andra förvarsnivå. Möjligheter att expandera förvaret finns mot söder och väster. Oavsett plats gäller att eventuella åtgärder för att ändra den termiska dimensioneringen måste vidtas i tidiga skeden för att få god effekt och att den innebär att fler, men tätare placerade, deponeringstunnlar måste byggas. Utbyggnader mot djupet eller expansion av förvarsområdet ska ses som hypotetiska möjligheter på lång sikt.

I Laxemar anser SKB att tillgänglig bruttokapacitet på ca 8 000 deponeringspositioner inte kan bedömas tillräcklig för att tillåta ett förvar enligt referensutformningen med

6 000 godkända kapselpositioner, om inte ytterligare åtgärder vidtas. Anledningen till detta är att vatteninflödena till många deponeringshål riskerar att bli för stora för att kunna accepteras som deponeringspositioner. Problemet är enligt SKB störst inom den norra hydrauliska domänen som med nuvarande förvarsutformning svarar för ca 2 000 deponeringspositioner, men bortfallen blir relativt stora (20-30%) även i övriga domäner. *För att hantera denna risk anser SKB att layouten bör revideras så att den norra domänen helt undviks!* SKB anser att lösningen på problemet är ändrad termisk dimensionering, dock till priset av att fler deponeringstunnlar måste byggas. SKB framhåller att det också kan bli nödvändigt att i Laxemar ta ytterligare bergvolymer i anspråk väster och söder om målområdet för deponering. SKB noterar att det finns gott om tid, både för att revidera layouten och för att slutföra den nödvändiga teknikutvecklingen (fintätning av tunnlar).

Sammanfattningsvis finns det enligt SKB inga avgörande skillnader mellan platserna vad gäller bruttokapacitet för ett förvar inom de områden som är väl undersökta, eller för framtida utbyggnadsmöjligheter.

BG kommentarer

SKB har redan genomfört en anpassning av *rampens sträckning* i Forsmark i ett sent skede av projekteringen och flyttat ovanjordanläggning och nedfarter till ett mer gynnsamt läge (Söderviken) i förhållande till ursprunglig plan (Barackbyn). Utförligare argument för flytten finns på sidan 71 i SKB:s preliminära MKB-rapport från december 2009. Detaljerade motiveringar framgår även av nedanstående erhållna sammanställning från SKB där förslaget är framtaget för att reducera förväntade byggproblem för ramp och schakt i den kraftigt vattenförande sprickdomänen FFM02. Fördelarna för Söderviken jämfört med läge Barackbyn (egenskaper nämnda inom parentes nedan) är enligt SKB:

- Mäktigheten av sprickdomän FFM02 ca 50 m (140 m för läge Barackbyn)
- Antal zoner ($T > 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$) att passera ca 5 (ca 11)
- Längd på ramp i FFM02 ca 550 m (ca 1450)
- Längd på injekteringshål för schakt ca 50 m (ca 150)
- Bedömd svårighetsgrad för injektering: Medel (Svår)
- Risk att erforderlig täthet ej uppnås: Låg-mellan (Mellan-hög)
- Kostnader och tid för injektering förväntas minska med en faktor 3 -4
- Bra disponering av södra industriområdet i sin helhet
- Tillfartsväg/Infrastruktur: Förbättras sannolikt även för FKA
- Bostadsområdet kan bevaras längre och användas under byggtiden.

Samtliga nämnda fördelar förefaller vara ett bra motiv för valet Söderviken men några ytterligare lägesförändringar verkar vid behov vara svåra att åstadkomma i Forsmark pga. fysiska restriktioner. BG kommentarer beträffande tekniska risker diskuteras under nästa kapitel 6.2.2.

SKB:s påstående att möjligheter att *öka kapaciteten* finns, dels inom de områden som är väl undersökta, dels genom att utvidga förvaret till angränsande områden är inte helt uppenbart i föreslagen layout för respektive plats (figur 6-8a och 6-8b). I Forsmark är såväl linsens utbredning som förekommande sprickzoner en begränsande faktor medan i Laxemar sprickzoner omger tänkt förvarsvolymer i alla riktningar. Noterbart är dock att i den nordligt belägna begränsade zonen EW007A stupar mot norr och den sydligt

belägna begränsade zonen NW042A stupar mot söder vilket ger utökat utrymme på försvarsdjup i Laxemar (figur 6-8b). INSITE konstaterar att många av strukturerna på försvarsdjup i Laxemar inte verifierats i borrhål eller att de fastlagts endast i enskilda borrhål.

I Forsmark begränsas deponeringsområdet i sydväst av en deformationszon benämnd WNW0123 (figur 6-8a). Att denna zon slutar ungefär vinkelrätt mot deformationszonen ENE060A är inte fastlagt även om riktningen är fastlagd i åtminstone två borrhål. Om zonen WNW0123 är yngre än zonen ENE060A är det rimligt att anta att den slutar såsom SKB föreslagit i sin modell mot zonen ENE060A (se även figur 5-7). Är däremot förhållandena de motsatta innebär det att zonen kan ha en icke dokumenterad fortsättning förbi zon ENE060A. Även INSITE påpekar (M-09-09 sidan 9) att det inte är känt hur zonen slutar. Vid eventuellt framtida jordskalv skulle detta kunna innebära att zonen kan propagera rakt igenom förvaret i nordvästlig riktning och därmed påverka integriteten hos många deponerade kapslar. SKB behöver därför överväga om layouten för Forsmark behöver revideras.

De preliminära förslag till reservområden som diskuteras av SKB i Forsmark är att utnyttja området under befintliga reaktorer och området i sydost fram till zon F1. Det kan inte helt uteslutas att även försvarsvolymen under befintliga reaktorer också skulle kunna påverkas vid en eventuell förlängning och uppdelning (split) av zon WNW0123 med nämnda konsekvenser för deponerade kapslar.

I såväl Forsmark som Laxemar anser SKB att man genom termisk dimensionering kan utnyttja försvarsområdet mer effektivt genom att minska avståndet mellan deponeringstunnlarna från nuvarande planerade 40 m till kortare avstånd. Det kan konstateras att utgångspunkten för val av avstånd mellan deponeringstunnlar och deponeringshål borde vara att redan från början optimera avstånden för att maximalt kunna utnyttja tillgänglig volym. Rent spontant kan konstateras att en minskning av avståndet mellan deponeringstunnlar borde medföra ett större avstånd mellan deponeringshålen om inte yttemperaturen på kapseln på 90° C skall överskridas förutsatt en marginal på 10° C. Därmed borde inte några större kapacitetsvinster kunna uppnås. SKB har tidigare som designkriterium angett att yttemperaturen på kapselytan inte får överskrida 100° C, men numera gäller detta enligt SKB bentonitens kontaktyta med kapseln. I en SKB-studie från 2003 (TR-03-09) kom SKB fram till att kapselavståndet i Forsmark borde vara 6,3 meter beräknat på en kapseffekt på 1700 W. SKB har nyligen (Kärnafallsrådets öppna möte 15 april) bestämt sig för kapselavståndet 6 m i bergartsdomän 029 och 6,8 m i domän 045 (SKB:s beräkningar torde i första hand ha baserats på bergarternas termiska egenskaper). SKB behöver redovisa motiveringen för val av dessa kapselavstånd om det inte redan är gjort i en rapport som förbigåtts av BG. SKB behöver också visa hur man genom termisk dimensionering kan åstadkomma ett mer kompakt förvar än det som hittills föreslagits.

Utgående från en studie av SKB:s systemmyndighet Posiva i Finland (Ikonen, 2009) konstaterar författaren att baserat på tillgängliga data (BWR-bränsle) och utförda beräkningar kan en total besparing av hundratals meter uppnås i 30 paneler med 30 kapslar i varje panel omfattande totalt 900 kapslar. Analyserna resulterade i att avståndet mellan kapslarna (max temperatur 90°C, BWR 1 700 W) i berggrunden i Olkiluoto kan variera mellan 7,3-9,1 m (medelavstånd mellan kapslarna på 7,05-8,75 m)

för tunnelavstånden 25-40 m. Om hänsyn tas till randeffekter finner författaren att för ett givet tunnelavstånd på 40 m varierar kapselavståndet mellan 6,38 m vid randen på panelen till 7,25 m i centrum på panelen. Utifrån dessa redovisade beräkningar i rapporten beträffande avstånd mellan kapslarna kan konstateras att vissa besparingar i tunnellängd för varje panel torde kunna uppnås även i Forsmark och Laxemar genom termisk dimensionering.

Bromma Geokonsult finner det förvånande att SKB i detta sena skede framhåller att det också kan bli nödvändigt att ta ytterligare bergvolym i anspråk för deponering i såväl Forsmark som Laxemar och att det finns gott om tid, både för att revidera layouten och för att slutföra den nödvändiga teknikutvecklingen (fintätning av tunnlar). Det är väl högst troligt att Strålsäkerhetsmyndigheten förväntar sig ett någorlunda slutligt ställningstagande i SKB:s ansökan gällande såväl layout som teknikutveckling och hur SKB tänkt sig att bygga förvaret.

Sammanfattningsvis kan Bromma Geokonsult konstatera att SKB:s påstående att det inte finns några avgörande skillnader mellan platserna vad gäller bruttokapacitet för ett förvar inom de områden som är väl undersökta, eller för framtida utbyggnadsmöjligheter kan diskuteras. Anledningen till detta är att en rättvis jämförelse inte kan göras eftersom SKB själva framhåller att 2 000 nordligt belägna kapselpositioner i föreslagen layout i Laxemar inte anses lämpliga. För att kunna jämföra layouterna borde SKB ha redovisat en reviderad layout med deponeringstunnlar belägna i föreslaget utvidgningsområde t.ex. söder om deformationszonen ZSMNW042A.

6.2.2 Tekniska risker och teknikutvecklingsbehov

Tekniska genomföranderisker har analyserats av SKB med fokus på anläggningar och verksamhet under mark. För bygget och driften av slutförvarets *tillfarter* bedöms riskerna för både Forsmark och Laxemar vara begränsade (se 6.2.1). Till skillnad från berget på förvarsnivå är ytberget i Forsmark ner till ca 100 m uppsprucket och kan vara kraftigt vattenförande. Det kommer därför att krävas särskilda åtgärder för att täta tillfarterna till förvaret (schakt och ramp) i ytberget till en acceptabel nivå. Sådana åtgärder kan enligt SKB leda till extra tidsåtgång. Det ytnära berget i Laxemar är också vattenförande, men inte i samma omfattning som i Forsmark. De skillnader som finns gäller typ av risker, men de potentiella konsekvenserna för slutförvarsprojektet bedöms vara jämförbara och är som sagt i båda fallen enligt SKB begränsade. Motsvarande gäller för *centralområdet*. Riskbilden för tillfarter och centralområde ses därför inte som någon betydelsefull faktor i jämförelsen av platserna.

För *deponeringsområdena* visar analyserna enligt SKB däremot på väsentliga skillnader i termer av risker för bortfall av deponeringshål och utvecklingsbehov för att hantera dessa risker, dvs. risker som påverkar förutsättningarna för att *i praktiken uppnå ett säkert slutförvar*:

- Riskanalysen för **Forsmark** visar enligt SKB att den tillgängliga bruttokapaciteten om cirka 7 800 deponeringspositioner är mer än tillräcklig för att tillåta ett förvar enligt referensutformning med 6 000 godkända deponeringspositioner. Det finns dock enligt

SKB en liten, men inte helt försumbar, risk för stabilitetsproblem (spjälkning) i deponeringshål på grund av höga belastningar (bergspänningar).

- Riskanalysen för **Laxemar** visar enligt SKB att den tillgängliga bruttokapaciteten om cirka 8 000 deponeringspositioner inte kan bedömas vara tillräcklig för att tillåta ett förvar enligt referensutförning med 6000 godkända deponeringspositioner, om inte ytterligare åtgärder vidtas. Skälet är att vatteninflödena till många deponeringshål riskerar att bli för stora för att hålen ska kunna accepteras som deponeringspositioner.

BG kommentarer

Enligt SKB anses riskbilden för tillfarter och centralområde inte som någon betydelsefull faktor i jämförelsen av platserna. Det verkar vara ett rimligt påstående men som också SKB konstaterar är flexibiliteten i Laxemar större än i Forsmark som också har kraftigt vattenförande ytberg som kan komma att medföra problem.

Det finns i **Forsmark** enligt SKB en liten, men inte helt försumbar, risk för stabilitetsproblem (spjälkning) i deponeringshål på grund av höga belastningar (bergspänningar). Bromma Geokonsult anser att det inte kan uteslutas att höga bergspänningar även kan komma att medföra stabilitetsproblem i övriga delar av förvaret, vilket SKB sannolikt är förberedd på att klara av. Det kan dock konstateras att SKB inte har några nämnvärda erfarenheter av bergbyggnad på 500 m djup med bergspänningar på upp till drygt 40 MPa. Som jämförelse kan nämnas att bergspänningarna vid byggande av Äspölaboratoriet uppgick till ca 25-30 MPa. SKB utgår ifrån att höga bergspänningar kan hanteras utan genomgripande ändringar av förvarets utformning, i första hand genom att ytterligare anpassa deponeringstunnlarnas orientering till spänningsfältet. Denna anpassning borde rimligen redan vara gjord varför ytterligare anpassning borde ge begränsad effekt.

Riskanalysen för **Laxemar** visar enligt SKB att den tillgängliga bruttokapaciteten inte är tillräcklig, pga. höga vattenflöden till deponeringshål, om inte ytterligare åtgärder vidtas. Bromma Geokonsult anser att höga vattenflöden kan elimineras genom att använda den tätningsteknik som användes vid byggande av Äspölaboratoriet och genom tillämpning av ny framtagen teknik sedan dess (SKB R-01-38) och ytterligare pågående teknikutveckling (SKB R-07-30, SKB R-08-114).

SKB:s konstaterande att risken för bortfall av cirka 2 000 deponeringspositioner i den norra domänen kunde åtgärdas genom en reviderad layout är mycket förvånande. Detta tyder på att SKB vid valet av plats inte hade tillräcklig kännedom om berget i Laxemar för att där kunna välja ett lämpligt förvarsområde. SKB konstaterar själva att det också kan bli nödvändigt att ta ytterligare bergvolymen i anspråk för deponering. Rimligen borde ytterligare undersökningar gjorts i ett tidigare undersökningsskede. SKB:s motivering om layoutförändring med hjälp av ändrad termisk dimensionering har redan diskuterats under kapitel 6.2.1 ovan.

SKB konstaterar också att det behövs vidareutveckling och produktionsanpassning av den teknik som tagits fram för s.k. fintätning av tunnlar. Bromma Geokonsult anser att det gäller inte bara fintätning av tunnlar utan det gäller även vidareutveckling av konventionell tätningsteknik. Detta påtalades också av SKI vid granskning av SKB:s Fud-program 2004 (sidan 60 i SKI Rapport 2005:31).

6.2.3 Funktionalitet

SKB anser att förvaret ska kunna byggas ut successivt, samtidigt som deponering pågår. Detta ställer krav på utbyggnadsmöjligheter så att tillträde till arbetsfronter, separerade transportvägar m.m. kan tillförsäkras. De platsanpassade layouter som tagits fram av SKB bedöms tillgodose dessa krav och medge en *flexibel utbyggnad där tillredning av nya tunnlar kan samsas med deponeringsverksamheten*, utan stora risker för konflikter mellan dessa verksamheter. Drivnings- och deponeringsarbeten kan pågå i olika delar av samma deponeringsområde, förutsatt att de är åtskiljda och försörjs via olika transportvägar. Detta gäller *båda platserna* i ungefär samma utsträckning, även om layouterna har helt olika geometrier.

De platsskillnader som kan ses med avseende på funktionalitet är enligt SKB istället resultat av dels de tekniska risker med åtföljande åtgärdsbehov, dels det faktum att ett *förvar i Forsmark kan göras avsevärt mindre till utbredningen* än ett förvar med motsvarande kapacitet i Laxemar. Skälet är i grunden skillnader i bergets värmeledningsförmåga, vilket styr avstånden mellan deponeringspositionerna och därmed behovet av deponeringsarea. Mätt i totalt uttagen bergvolym fram till avslutad drift (fullt utbyggt förvar) och med nuvarande förvarslayouter blir ett förvar i Forsmark 30 % mindre än i Laxemar.

Ett mera kompakt förvar reducerar arbetsinsatser, materialåtgång, godsflöden, underhåll m.m. Allt detta bidrar i varierande grad till bättre funktionalitet, dels genom högre effektivitet men i någon mån även minskade risker för driftstörningar. Förutsättningen är givetvis att inte rationaliteten i arbetet hämmas av brist på utrymme, vilket dock inte bedöms vara fallet.

Både Forsmark och Laxemar ger enligt SKB bra och påfallande likartade förutsättningar för de *lokala transporter* som slutförvarsprojektet kommer att kräva. Likheterna gäller exempelvis standard på det lokala vägnätet, pendlingsavstånd från närbelägna bostadsorter och avstånd till de hamnar (Hargshamn respektive Oskarshamn) som kan komma att användas för import av lermaterial för buffert och återfyllning.

BG kommentarer

I granskningen av SKB:s Fud-program 2004 framförde SKI att det är rimligt att SKB mer detaljerat redovisar sina planer för typ och frekvens av framtida monitoring som planeras under såväl byggskedet som inledande driftskede. SKI konstaterade vidare att långtidsobservationer i form av mätningar görs för att bestämma successiva förändringar i miljön. En av de svåraste uppgifterna i övervakningsarbetet under bygg- och driftskedet är att bestämma olika tröskelvärden, larmnivåer och åtgärdsprogram i den händelse åsatta gränsvärden och larmnivåer överskrids. SKI uppmanade därför SKB att fortsätta det inledande arbetet inom detta område i takt med att designarbetet fortskrider.

SKB anser att de platsskillnader som kan ses med avseende på funktionalitet är bl.a. resultat av tekniska risker med åtföljande åtgärdsbehov. Bromma Geokonsult konstaterar att SKB närmare inte anger vilka tekniska risker som avses. BG antar att SKB är bekymrad över svårigheten att som i fallet Laxemar bygga ett förvar i ett relativt

sprickigt och vattenförande berg i jämförelse med Forsmarks tätare berg där dock i stället högre bergspänningar kan förekomma. Det är ändå oroande att SKB i detta skede av processen ser tekniska risker med att bygga i sprickigt vattenförande berg speciellt med bakgrunden att SKB byggt Äspölaboratoriet några kilometer från Laxemar i ett berg som rimligen inte borde vara mycket bättre än berget i Laxemar.

Däremot konstaterar BG liksom SKB att mätt i totalt uttagen bergvolym fram till avslutad drift (fullt utbyggt förvar) och med nuvarande förvarslayouter blir ett förvar i Forsmark 30 % mindre än i Laxemar. Detta antagande baseras på redovisade layouter som för Laxemar uppenbarligen är i behov av att förändras (se tidigare kommentarer).

BG kan också hålla med SKB om att ett mera kompakt förvar reducerar arbetsinsatser, materialåtgång, godsflöden, underhåll m.m. och att allt detta bidrar i varierande grad till bättre funktionalitet, dels genom högre effektivitet men i någon mån även minskade risker för driftstörningar.

Beträffande transportbehovet har BG inte några avvikande åsikter såsom de presenteras av SKB i den öppna rapporten.

6.2.4 Synergieffekter

SKB konstaterar att en lokalisering till Laxemar skulle innebära att *hela hanteringskedjan* för använt kärnbränsle, från dagens mellanlagring till förslutet slutförvar, *samlas på ett ställe* i landet. Det ger en rad fördelar. Den mest tydliga (i jämförelse med Forsmark) är att behovet av sjötransporter av kapslar bortfaller. Mera allmänt bidrar en samlad verksamhet till att reducera omvärldsberoendet. Mot bakgrund av att projektet ska pågå i mer än ett halvsekel i en föränderlig värld ser SKB detta som en väsentlig fördel, om än omöjlig att värdera konkret.

Äspölaboratoriet är en ”leverantör” av unik teknik och kompetens för slutförvarets behov. Överföring av denna teknik och kompetens från utveckling till drift skulle på grund av närheten underlättas vid en lokalisering till Laxemar. Även den geologiska miljön är ur Äspö-perspektiv mera lik förhållandena i Laxemar än i Forsmark.

Sammanfattningsvis ger SKB:s redan omfattande verksamhet i Oskarshamn synergieffekter och effektivitetsvinster om slutförvaret lokaliseras till Laxemar, särskilt i slutförvarsprojektets etableringsskede. Forsmark ger inte samma förutsättningar i detta avseende. Vidare skulle implementeringen av teknik som utvecklas vid Äspölaboratoriet underlättas av en lokalisering till Laxemar, på grund av den geografiska närheten. Slutligen skulle ett val av Laxemar innebära att hela hanteringskedjan för kärnbränslet samlas till en plats, vilket skulle förenkla genomförandet och minska omvärldsberoendet. Synergieffekterna mellan kärnkraftverken och slutförvaret bedöms vara likvärdiga för de båda platserna.

BG kommentarer

Det kan konstateras liksom SKB gör att en lokalisering till Laxemar ger en mängd synergieffekter som talar för denna lokalisering. Särskilt kan nämnas SKB:s argumentation gällande kopplingen mellan Äspölaboratoriet och Laxemar där den geologiska miljön på Äspö är mera lik förhållandena i Laxemar än i Forsmark och där

mycket erfarenhet erhållits hur man bygger en underjordsanläggning i sprickrikt vattenförande berg ner till 460 meters djup.

Byggande av Äspölaboratoriet, färdigställt i mitten av 1990-talet, får anses som en generalrepetition och läroprocess att bygga i relativt dåligt berg med möjlig erfarenhetsåterföring till slutförvaret för använt kärnbränsle. Det kan dock konstateras att betydande driftstörningar uppstod i samband med passage av större svaghetszoner i tunneln ut till Äspö och även vid andra oförutsedda händelser (påträffande av vinklat borrhål, översvämningar etc.). Det är ändå rimligt att utgå ifrån att SKB i Äspölaboratoriet skaffat mycket kunskap under bygg- och driftskedet om tätning av sprickigt berg för tillämpning i slutförvaret.

6.2.5 Kostnader och SKB:s slutsatser

Kostnader

De kalkyler som SKB gjort i samband den platsanpassade projekteringen av slutförvaret visar att ett förvar i Laxemar blir cirka 4,5 miljarder kronor, eller ca 15 % dyrare, än ett förvar i Forsmark. Skillnaden i kostnad beror framförallt på skillnaden i förvarsstorlek. SKB konstaterar att ett slutförvar i Laxemar kräver en mycket större total tunnellängd, vilket får stort genomslag på totalkostnaden eftersom bergarbeten och återfyllnadsmaterial utgör stora poster i kalkylen. Extrakostnaderna för kapseltransporter till sjöss och något längre transportavstånd för lermaterial för Forsmark har beaktats av SKB, men svarar sammantaget bara för ca 1 % av totalkostnaden för projektet.

SKB framhåller att kalkylerna är väl genomarbetade men för många platsskiljande kalkylposter blir osäkerheterna ändå betydande i detta tidiga skede av projektet. Förutsedda skillnader i exempelvis förstärknings- och tätningsbehov i samband med bergbyggnad har så långt möjligt beaktats, men inte möjliga konsekvenser av de mera betydande tekniska genomföranderisker som beskrivits i SKB:s öppna rapport. Också synergieffekter med andra anläggningar och övergripande organisatoriska konsekvenser av platsvalet ligger utanför kalkylerna, eftersom de enligt SKB inte kan översättas till resursmått. Dessa osäkerheter kan enligt SKB ha betydande påverkan på totalkostnader och inbördes skillnader, men bedöms inte kunna ändra på rangordningen mellan platserna ur kostnadssynpunkt.

BG kommentarer

Det kan konstateras liksom SKB gör att kostnaderna för en lokalisering till Laxemar blir betydligt dyrare än en lokalisering till Forsmark. De främsta orsakerna är de som SKB redovisar och beror framförallt på skillnaden i förvarsstorlek med kravet på en mycket större total tunnellängd i Laxemar, vilket får stort genomslag på totalkostnaden eftersom bergarbeten och återfyllnadsmaterial utgör stora poster i kalkylen. En eventuell lokalisering av förvaret till Laxemar på 700 m djup, med enligt SKB:s uppfattning troligen ännu större tekniska genomföranderisker, innebär att kostnaderna för Laxemar skulle öka ytterligare.

SKB:s slutsatser gällande teknik för genomförande

SKB bedömer att båda platserna ger förutsättningar för att bygga och driva slutförvaret på ett robust sätt. Jämförelser utfaller olika för olika lokaliseringsfaktorer, men

sammantaget gör SKB bedömningen att Forsmark ger bättre förutsättningar. Huvudskälet är att *bergförhållandena* i Forsmark ger betydligt lägre risker för omfattande åtgärdsbehov utöver vad som planeras. Detta har direkt betydelse för möjligheterna att i *praktiken* åstadkomma ett förvar som uppfyller säkerhetskraven.

De bergrelaterade tekniska genomföranderisker som ändå finns i Forsmark är enligt SKB kopplade till förekomsten av förhållandevis höga bergspänningar. Men de stabilitetsproblem, med åtföljande bortfall av användbara deponeringspositioner, som detta skulle kunna medföra bedöms dels som osannolika, dels som förhållandevis enkla att hantera om de ändå skulle inträffa. Osäkerheterna för Laxemar är större, och gäller tillgången till deponeringspositioner med acceptabelt låga inflöden och förutsättningar att bygga deponeringstunnlar som uppfyller täthetskraven, givet den jämförelsevis rikliga förekomsten av vattenförande sprickor. SKB bedömer att förändringar av förvarets utformning blir nödvändiga för att möta dessa problem. Vidare behövs fortsatt utveckling av metoder för att täta berget i den omfattning som skulle krävas.

Bergförhållandena i Forsmark ger stora fördelar även vad gäller *effektivitet*. Orsaken är att ett förvar i Forsmark kan göras betydligt mindre och mera kompakt än vad som är möjligt i Laxemar. Det beror i sin tur på att bergets högre värmeledningsförmåga i Forsmark medger mindre kapselavstånd och därmed mindre, total deponeringsarea. De mindre volymerna återspeglas i mindre transportbehov, materialåtgång, arbetskraftsbehov m.m., som sammantaget innebär ett mera effektivt genomförande av projektet.

Beaktas istället *yttre faktorer* så utfaller en jämförelse till Laxemars fördel. Det ena huvudskälet är att SKB:s befintliga anläggningar och betydande verksamhet i Oskarshamn skulle ge *synergieffekter*, särskilt i inledningsfasen av slutförvarsprojektet. Det gäller i synnerhet implementeringen av den teknik och kompetens som utvecklas vid Äspölaboratoriet och får sin tillämpning i samband med driftsättningen av slutförvaret. Det andra huvudskälet är att ett val av Laxemar samlar hela hanteringskedjan för det använda kärnbränslet till en plats i landet. Förutom effektivitetsvinster innebär detta ett mindre omvärldsberoende. Den tydligaste fördelen relativt Forsmark är att *behovet av sjötransporter* av inkapslat bränsle från inkapslingsanläggningen bortfaller. Den extrakostnad som detta innebär för Forsmark är marginell, men man kan inte bortse ifrån att den längre transportkedjan till Forsmark utgör en möjlig källa till driftstörningar.

BG kommentarer

SKB:s argumentation med de fördelar och mindre risker som anses föreligga i Forsmark har redan kommenterats under tidigare kapitelrubriker. Det kan dock konstateras att SKB:s redovisning genomsyras av en viss oro över att det behövs fortsatt utveckling av metoder för att täta berget i den omfattning som skulle krävas för att bygga förvaret i Laxemar. Detta är i sig oroande att SKB i dagsläget inte anser sig ha tillräckligt bra metoder framme för att täta sprickigt vattenförande berg eftersom detta behövs även i Forsmark ned till ca 200 m djup där vattentrycket visserligen är lägre än på 500 – 700 m djup (i Laxemar). SKB borde genom förvärvade erfarenheter vid färdigställande av Äspölaboratoriet i mitten av 1990-talet och därefter fortsatt metodutveckling gällande injektering ha nått en sådan nivå att det i detta skede inte borde finnas en omotiverad stor oro för att kunna täta vattenförande sprickor ned till 500 m djup i svensk berggrund.

Som dock framgår av SKB:s rapport R-07-30 har SKB som målsättning att ha löst problematiken gällande injektering innan ansökan om byggande av slutförvaret lämnas in.

Bromma Geokonsult har ingen avvikande uppfattning från SKB:s bedömning av yttre faktorer som vid en jämförelse utfaller till Laxemars fördel.

7 SKB:s samlade värdering och val

7.1 Principer för platsvalet

Med grundläggande krav samt tillämpliga lagar och föreskrifter som utgångspunkter har SKB lagt fast sin strategi för platsvalet. SKB tillmäter därvid förutsättningarna för att *uppnå långsiktig säkerhet störst betydelse*. SKB har gjort analyser av de platsrelaterade egenskaper som har betydelse för säkerheten och förutsättningarna att på ett robust sätt genomföra slutförvarsprojektet så att platsens egenskaper tas tillvara. SKB:s strategi för att välja plats innebär att:

1. Den plats väljs som ger bäst förutsättningar för att säkerhet på lång sikt ska uppnås i praktiken.
2. Om det inte går att se någon avgörande skillnad i förutsättningarna för att uppnå långsiktig säkerhet så väljs den plats som ur övriga aspekter är mest lämplig för att genomföra slutförvarsprojektet.

För att kunna tillämpa denna strategi har SKB jämfört platserna systematiskt med avseende på faktorer som kan ha betydelse för den samlade värderingen.

Underlag och tidpunkt

SKB har drivit platsundersökningarna och de efterföljande analyserna med hög ambitionsnivå när det gäller kraven på att uppnå en tillräckligt god platskänedom. SKB anser att det underlag som finns framme (juni 2009) möjliggör ett väl grundat val. Avgörande för denna bedömning är enligt SKB:s uppfattning att båda platserna är väl undersökta, att de jämförande analyser som gjorts av förutsättningarna för att uppnå långsiktig säkerhet gett tydligt utslag, samt att den valda platsen bedöms vara lämplig i sig. SKB bedömer att de utvärderingar som återstår innan ansökan kan lämnas in för prövning inte kommer att ändra på denna slutsats.

7.2 Jämförelse av platserna

SKB:s tidigare analyser av den långsiktiga säkerheten för platserna (SR-Can) har visat att de processer som skulle kunna skada kapslar på riktigt lång sikt är korrosion om bufferten förloras samt möjligen stora jordskalv i förvarets närhet. För många faktorer som kan påverka säkerheten är utfallet vid en jämförelse av platserna relativt lika. Det gäller t.ex. sannolikheten för framtida jordskalv som är liten och bedöms få små konsekvenser vid båda platserna.

SKB konstaterar att skillnaderna i frekvens och genomsläpplighet av vattenförande sprickor, i någon mån även skillnaderna i grundvattnets framtida sammansättning, ger dock stora skillnader i bedömningen av den långsiktiga säkerheten. SKB kan för tillfället inte utesluta att bentonitleran som omger kapslarna eroderas om det omgivande grundvattnet får för låg salthalt. SKB anser att under en framtida glaciation skulle salthalten på båda platserna kunna bli så låg att detta inträffar, även om det är mindre troligt i Forsmark.

Eftersom vattenflödena (på förvarsdjup) är avsevärt lägre i Forsmark skulle dessutom färre deponeringshål påverkas där vid en sådan eventuell utveckling. Om bentonitleran i bufferten försvinner kan kapseln efter mycket lång tid skadas genom korrosion på grund av den sulfid som finns löst i grundvattnet. Korrosionshastigheten, och därmed antalet kapslar som skulle kunna skadas, beror på grundvattenflödet. I Forsmark visar analyserna att grundvattenflödet i de flesta deponeringshål är så lågt att enbart ett fåtal kapslar skulle kunna skadas, och det först efter hundratusentals år. De betydligt högre flödena i Laxemar innebär att betydligt fler kapslar kan skadas. Detta innebär sammantaget att det bedöms vara betydligt gynnsammare förutsättningar för att åstadkomma ett säkert slutförvar i Forsmark än i Laxemar.

BG kommentarer

Även om SKB bedömer sannolikheten för framtida jordskalv som liten och bedöms få små konsekvenser vid båda platserna behöver SKB genomföra ytterligare insatser för att bättre kunna belägga detta påstående (se tidigare kommentarer om förvarslayouten i Forsmark).

Bromma Geokonsult konstaterar att även om grundvattenflödet i de flesta deponeringshål är så lågt i Forsmark att enbart ett fåtal kapslar skulle kunna skadas, och det först efter hundratusentals år så återstår för SKB att visa detta i SR-Site även om sådana indikationer finns i SR-Can. Ett eventuellt problem med omättad bentonit under upp till 1 000 år med eventuella utfällningar av karbonat och gips mellan kapsel och bentonit behöver tas om hand i säkerhetsanalysen.

SKB:s bedömning att det är betydligt gynnsammare förutsättningar för att åstadkomma ett säkert slutförvar i Forsmark än i Laxemar gäller för ca 500 m förvarsdjup. Som redovisats tidigare i denna rapport är flödena betydligt lägre på 700 m djup i Laxemar, de är t.o.m. lägre än på 500 m djup i Forsmark.

Teknik för genomförande

SKB upprepar under denna rubrik i stort sett vad som redan redovisats under rubrik SKB:s slutsatser gällande teknik för genomförande (sidan 59-60) i kapitel 6.2. Därför hänvisas läsaren till BG:s kommentarer på sidan 60. Det bör ändå noteras att SKB under ovanstående rubrik framhåller att de bergrelaterade tekniska genomföranderisker som ändå finns i Forsmark är kopplade till förekomsten av förhållandevis höga bergspänningar. Att detta skulle få stora konsekvenser för tillgången till användbara deponeringspositioner bedöms dock av SKB som osannolikt!

7.3 SKB:s slutsats

Den systematiska genomgången av förhållanden på platserna visar att Forsmark ger bäst förutsättningar för att säkerhet på lång sikt ska uppnås i praktiken. De viktigaste orsakerna är de stora skillnaderna i frekvens och genomsläpplighet av vattenförande sprickor. Bergförhållandena i Forsmark ger också ett robustare och effektivare genomförande än i Laxemar.

SKB framhåller också i sin sammanfattning att skillnaderna mellan Laxemar och Forsmark beträffande långsiktig säkerhet är så stora att även om mer arbete läggs ned på ytterligare analyser skulle valet ändå bli detsamma.

SKB framhåller vidare att det är tänkbart att fortsatt forskning kommer att visa att SKB idag behandlat riskerna för bentoniterosion alltför pessimistiskt. Om så blir fallet skulle den radiologiska risken bli lägre på båda platserna och den relativa fördelen för Forsmark skulle därmed kunna minska. Det är dock svårt att tänka sig att den säkerhetsmässiga rangordningen mellan platserna skulle ändras med tillkommande kunskap.

SKB bedömer de industriella förutsättningarna för att etablera och driva slutförvaret på ett bra sätt vara goda för båda platserna. De skillnader som finns kan inte tillmätas någon avgörande betydelse för platsvalet. Detsamma gäller för den miljöpåverkan som projektet kommer att orsaka. Mot redovisad bakgrund konstaterar SKB att Forsmark är den lämpligare platsen för slutförvaret.

8 Slutsatser Bromma Geokonsult

Långsiktig säkerhet

SKB:s viktigaste utgångspunkt för bedömning av lämpligaste plats har varit att välja den plats som ger bäst förutsättningar för att säkerhet på lång sikt ska uppnås i praktiken. Det är från denna utgångspunkt, som kunde konstateras redan i samband med SKB:s publicering av säkerhetsanalysen SR-San, knappast förvånande att Forsmark föredras i jämförelse med Laxemar. Resultatet från SKB:s säkerhetsanalys visade visserligen att båda platserna motsvarade uppställda myndighetskrav för slutförvar men beräknade riskgränser efter 100 000 år talade till Forsmarks fördel med SKB:s konstaterande att då tillgänglig datamängd för Laxemar var begränsad och dessutom delvis insamlad utanför kandidatvolymen för förvaret.

SKB betonar att skillnaderna mellan Forsmark och Laxemar vad beträffar den långsiktiga säkerheten är så stora att även om mer arbete läggs ned på ytterligare analyser skulle valet bli detsamma. SKB framhåller att genomförda analyser visar att det ekvivalenta flödet i medeltal är cirka en faktor 100 högre och att transportmotståndet är cirka 10 gånger lägre i Laxemar än i Forsmark. SKB anser det vara möjligt att förfinade modeller för grundvattenflödena i Laxemar skulle kunna visa något lägre flöden på förvarsnivå, men det påverkar inte SKB:s bedömning att Forsmark har betydligt gynnsammare förhållanden.

Ovanstående påstående från SKB borde verifieras genom att presentera en fullständig jämförbar säkerhetsanalys för båda platserna som för övrigt även rekommenderats av Kärnavfallsrådet. SKB framhåller i SR-Can att efter publicering av rapporten fanns mer tillgängliga data för respektive plats som då rimligen borde utgöra underlag för en ny jämförande säkerhetsanalys. Efter slutförda platsundersökningar finns dessutom ytterligare nya data från respektive plats. En jämförande ny säkerhetsanalys ingår inte i SKB:s plan utan i stället avser man i en separat rapport bifogad till ansökan motivera varför Laxemar valts bort.

Mineraltillgångar

Förvaret i sig kommer att utgöra en kraftig geofysisk anomali varför viss risk finns för att området i en avlägsen framtid kan bli föremål för malmprospektering. Innan ett uteslutande av mineraliseringar i nord/nordostlig riktning utanför prioriterat område kan ske torde SKB:s slutsats att framtida exploaterbara mineraltillgångar saknas i Forsmark kunna behöva genomlysas ytterligare.

Tekniska risker

SKB återkommer ofta i sin bedömning i den öppna rapporten till att huvudskälet för valet av Forsmark är att bergförhållandena, speciellt med avseende på sprickfrekvens och vattenflöde på förvarsdjup, i Forsmark ger betydligt lägre risker för omfattande åtgärdsbehov utöver vad som planeras. SKB framhåller också ofta i den öppna rapporten att det föreligger större tekniska genomföranderisker i Laxemar i jämförelse med Forsmark. SKB nämner visserligen att det också finns risker med höga bergspänningar i Forsmark men att dessa är relativt lätta att komma till rätta med. SKB förutser också problem vid passage av relativt ytligt belägna kraftigt vattenförande zoner i Forsmark men att även detta anses vara ett överkomligt problem.

SKB nämner också att det pågår en omfattande utveckling av nya metoder och material för att täta berget. Det är både anmärkningsvärt och oroväckande att SKB ca ett halvt år innan ansökan om att få bygga slutförvaret avses lämnas till myndigheterna inte nått längre i sin teknikutveckling att täta sprickigt berg. Det kan konstateras att det nu gått 15 år sedan Äspölaboratoriet färdigställdes där mycket erfarenhet erhållits hur man bygger en underjordsanläggning i sprickrikt vattenförande berg ner till 460 meters djup. Det är därför rimligt att anta att SKB i Äspölaboratoriet skaffat mycket kunskap under bygg- och driftskedet om tätning av sprickigt berg för tillämpning i slutförvaret.

Sammantaget kan konstateras att SKB:s bedömning av byggtekniska svårigheter i Forsmark präglas av optimism medan motsvarande bedömning av Laxemar är pessimistisk där underlaget för bedömningarna kunde ytterligare ha utvecklats och förtydligats.

Förvarslayout

I Forsmark begränsas deponeringsområdet i sydväst av en deformationszon benämnd ZFMWNW0123. Att denna zon slutar ungefär vinkelrätt mot deformationszonen ZFMENE060C på förvarsdjup är inte fastlagt även om riktningen är fastlagd i åtminstone två borrhål. Om zonen WNW0123 är yngre än zonen ENE060C är det rimligt att anta att den slutar såsom SKB föreslagit i sin modell mot zonen ENE060C (se figur 5-7). Är däremot förhållandena de motsatta innebär det att zonen kan ha en icke dokumenterad fortsättning förbi zonen ENE060C. Vid eventuellt framtida jordskalv skulle detta kunna innebära att zonen kan propagera rakt igenom förvaret och påverka integriteten hos många deponerade kapslar. SKB behöver därför överväga om layouten för Forsmark behöver revideras.

Sammanfattningsvis kan konstateras att SKB:s påstående att det inte finns några avgörande skillnader mellan platserna vad gäller bruttokapacitet för ett förvar inom de områden som är väl undersökta, eller för framtida utbyggnadsmöjligheter kan diskuteras. Anledningen till detta är att en rättvis jämförelse inte kan göras eftersom SKB själva framhåller att 2 000 nordligt belägna kapselpositioner i Laxemar inte anses lämpliga. För att kunna jämföra layouterna borde SKB ha redovisat en reviderad layout för Laxemar med deponeringstunnlar belägna i föreslaget utvidgningsområde t.ex. söder om deformationszonen ZSMNW042A.

Platskännedom och kostnader

SKB framhåller att om förvaret i Laxemar placeras på nivåer under 700 m skulle visserligen frekvensen vattenförande sprickor sannolikt vara lägre, men en placering på så stort djup bedöms som olämplig på grund av den sämre kännedomen om platsen på det djupet, större tekniska risker och ett mycket större ytbehov på grund av den högre temperaturen i berget.

SKB:s bedömning och argumentation i den öppna rapporten utgår från att bygga förvaret på ca 500 m förvarsdjup på båda platserna. Bromma Geokonsult kan konstatera att något svar och bedömning av långsiktig säkerhet för ett förvar på 700 m djup i Laxemar troligen aldrig kommer att erhållas eftersom inga planer verkar finnas för att genomföra ytterligare undersökningar i Laxemar på detta djup och därmed inte heller någon ytterligare säkerhetsanalys för detta alternativ.

Eftersom SKB nu lämnar fältet öppet för spekulation om det varit möjligt att bygga ett förvar i Laxemar på 700 m djup hade det därför varit önskvärt att SKB åtminstone reducerat graden av osäkerhet genom ytterligare undersökningar på detta djup innan beslutet togs att avfärda Laxemar. Det är rimligt att anta att ytterligare undersökningar från ytan i Laxemarsområdets centrala och södra/sydvästra delar skulle ha medfört ytterligare detaljkunskap och därmed minskad osäkerhet om såväl bergarts- som sprickfördelning på större djup. Särskilt gäller detta området söder om den sydligt belägna deformationszonen, delvis utanför det fokuserade området.

Vad som däremot kan konstateras är att det skulle blivit ännu dyrare att bygga ett förvar i Laxemar på 700 m djup i jämförelse med förvaret i Forsmark på 500 m djup. Det kan också noteras att trots besparingar på cirka 4,5 miljarder kronor görs om förvaret byggs i Forsmark lyfter SKB ändå inte fram detta som någon avgörande faktor för valet. I stället framhåller SKB vikten av att långsiktig säkerhet kan uppnås. Om däremot redovisade yttre faktorer beaktas så utfaller jämförelsen till Laxemars fördel vilket verkar vara en rimlig bedömning av SKB.

INSITE synpunkter

INSITE håller i princip med om vad SKB redovisar i sin sammanfattning i den öppna rapporten men förbehåller sig rätten att uttala sig om SKB:s framförda synpunkter kopplade till dess betydelse för säkerhetsbedömningen, eftersom dessa kommer att behöva testas mot de resultat som kommer att presenteras i SR-Site. INSITE framför också uppfattningen att bergspänningarna i Forsmark kan visa sig vara mindre besvärliga (lägre spänningar) än vad SKB för närvarande räknar med. INSITE har också förståelse för SKB:s motivering att föredra Forsmark framför Laxemar. Sammantaget är gruppens ståndpunkt om val av plats i slutet av de kompletta platsundersökningarna att:

- Platsvalet naturligtvis helt och hållet är en fråga för SKB, men SKB måste nu motivera valet tydligt genom att visa konsekvenserna för den valda platsen gällande både långsiktig säkerhet (i SR-Site), driftsäkerhet och lämplig förvarsdesign (i Site Engineering Report).
- Utgående från gruppens kunskap om platsernas geologiska egenskaper innebär det i princip att båda platserna skulle vara möjliga platser för ett geologiskt slutförvar för radioaktivt avfall även om det är, som SKB anger, lättare och därmed innebär mindre projektrisk, att utveckla ett slutförvar och dess tillhörande "safety case" i Forsmark.

Sistnämnda kommentar kan enligt INSITE vara viktig för det svenska programmet för avfallshantering, eftersom det är möjligt att inom några decennier, ett andra geologiskt slutförvar kan behövas och att Laxemar då kan komma att omprövas. I så fall kommer sannolikt kunskaper och åsikter om platsen i dag att tas upp igen.

Referenser

- Andersson, J. m fl., 2000. Vilka krav ställer djupförvaret på berget? Geovetenskapliga lämplighetsindikatorer och kriterier för lokalisering och platsutvärdering, SKB R-00-15. Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm.
- Ask, D. et al., 2007. Stress measurements with hydraulic methods in boreholes KFM07A, KFM07C, KFM08A, KFM09A and KFM09B, Forsmark Site Investigation, SKB P-07-206. Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm.
- Ask, D., 2007. Evaluation of overcoring stress measurements in boreholes KFM01B, DBT-1 and DBT-3 and hydraulic stress measurements in boreholes KFM01A, KFM01B, KFM02A and KFM04A at the Forsmark site, Forsmark site investigation, SKB P-07-234. Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm.
- Ask, D. and Ask, M., 2007. Detection of potential borehole breakouts in boreholes KFM01A and KFM01B, Forsmark site investigation, SKB P-07-235. Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm.
- Bodén, A. m fl., 2001. Översikt av resultat från SKB:s FoU inom injekteringsteknik för bergtätning åren 1996-2000, SKB R-01-38. Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm.
- Emborg, M. m fl., 2007. Långtidsstabilitet till följd av frysning och tining av betong och bentonit vid förvaring av låg- och medelaktivt kärnavfall i SFR, SKB R-07-60. Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm.
- Emmelin, A. m fl., 2007. Rock grouting. Current competence and development for the final repository, SKB R-07-30. Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm.
- Follin, S. et al., 2008. Hydrogeological conceptual model and numerical modelling using CONNECTFLOW, Forsmark modellering development stage 2.3, SKB R-08-23. Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm.
- Glamheden, R. et al., 2007. Rock Mechanics Forsmark. Site descriptive modelling Forsmark stage 2.2, SKB R-07-31. Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm.
- Holmlund, P., 2008. Review of climate and climate-related issues for the safety assessment SR-Can, In: Review of SKB's Safety Assessment SR-Can: Contributions in support of SKI's and SSI's review by external consultants, SKI Report 2008:16, SSI Report 2008:06. Statens kärnkraftinspektion, Stockholm.
- 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. Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm.
- Ikonen, K., 2009. Thermal Dimensioning of Spent Fuel Repository, Workreport 2009-69. Posiva Oy, Helsinki, Finland.
- Laaksoharju, M. et al., 2008. Bedrock hydrogeochemistry Laxemar. Site descriptive modelling Laxemar, SKB R-08-93. Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm.
- Lagerbäck, R., Sund, M., 2008. Early Holocene faulting and paleoseismicity in northern Sweden. Research Paper Serie C 836. Sveriges geologiska undersökning, Uppsala.
- Martin, D., 2007. Quantifying in situ stress magnitudes and orientations for Forsmark,

- Forsmark stage 2.2, SKB R-07-26. Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm.
- SKB, 2006. Long-term safety for KBS-3 repositories at Forsmark and Laxemar – a first evaluation. Main report of the SR-Can project, SKB TR-06-09. Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm.
- SKB, 2007. Långsiktig säkerhet för slutförvar för använt kärnbränsle vid Forsmark och Laxemar – en första värdering. Förenklad svensk sammanfattning av säkerhetsanalysen SR-Can, SKB R-07-24. Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm.
- SKB, 2008. Site description of Forsmark at completion of the site investigation phase, SDM-Site Forsmark, SKB TR-08-05. Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm.
- SKB, 2008. Site engineering report Forsmark. Guideline for underground design Step D2, SKB R-08-83. Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm.
- SKB, 2008. Underground Design Forsmark, Layout D2. Grouting, SKB R-08-114. Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm.
- SKB, 2008. Platsundersökning Forsmark 2002-2007. Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm.
- SKB, 2008. Platsundersökning Oskarshamn 2002-2007. Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm.
- SKB, 2009. Site description of Laxemar at completion of the site investigation phase, SDM-Site Laxemar, SKB TR-09-01. Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm.
- SKB, 2009. Slutförvar för använt kärnbränsle i Forsmark – underlag och motiv för platsval, dokumentID 1207622. Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm.
- SKB, 2009. Miljökonsekvensbeskrivning. Mellanlagring, inkapsling och slutförvaring av använt kärnbränsle. Preliminär version. Underlag för samråd. Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm.
- SKI, 2005. SKI:s yttrande över SKB:s redovisning av Fud-program 2004, SKI Rapport 2005:31. Statens kärnkraftinspektion, Stockholm.
- SKI, 2008. SKI:s yttrande och utvärdering av SKB:s redovisning av Fud-program 2007, SKI Rapport 2008:48. Statens kärnkraftinspektion, Stockholm.
- SKI/SSI, 2008. SKI:s och SSI:s gemensamma granskning av SKB:s säkerhetsrapport SR-Can, SKI rapport 2008:19/SSI rapport 2008:04. Statens kärnkraftinspektion/Statens strålskyddsinstitut, Stockholm.
- SOU, 2008. Slutförvaring av kärnavfall. Kärnavfallsrådets yttrande över SKB:s Fud-program 2007, SOU 2008:70. Kärnavfallsrådet, Stockholm.
- SSM, 2008. INSITE comments on SKB R-07-26. Quantifying in situ stress magnitudes and orientations for Forsmark, Forsmark stage 2.2, INSITE M-08-02. Strålsäkerhetsmyndigheten, Stockholm.
- SSM, 2008. INSITE comments on SKB P-07-206. Stress measurements with hydraulic methods in boreholes KFM07A, KFM07C, KFM08A, KFM09A and KFM09B, Forsmark Site Investigation, INSITE M-08-05. Strålsäkerhetsmyndigheten, Stockholm.
- SSM, 2008. INSITE comments on SKB P-07-234. Evaluation of overcoring stress measurements in boreholes KFM01B, DBT-1 and DBT-3 and hydraulic stress measurements in boreholes KFM01A, KFM01B, KFM02A and KFM04A at the Forsmark site, Forsmark site investigation, INSITE M-08-06. Strålsäkerhetsmyndigheten, Stockholm.
- SSM, 2008. INSITE comments on SKB P-07-235. Detection of potential borehole breakouts in boreholes KFM01A and KFM01B, Forsmark site investigation, INSITE M-08-07. Strålsäkerhetsmyndigheten, Stockholm.

SSM, 2009. INSITE comments on SKB R-07-31. Rock Mechanics Forsmark. Site descriptive modelling Forsmark stage 2.2, INSITE M-09-01. Strålsäkerhetsmyndigheten, Stockholm.

SSM, 2009. Review of SDM-Site Forsmark, SKB TR-08-05, INSITE M-09-06. Strålsäkerhetsmyndigheten, Stockholm.

SSM, 2009. Review of SDM-Site Laxemar, SKB TR-09-01, INSITE M-09-07. Strålsäkerhetsmyndigheten, Stockholm.

SSM, 2009. INSITE Summary Report, INSITE M-09-08. Strålsäkerhetsmyndigheten, Stockholm.

SSM, 2009. Review of Site Engineering Report (SER) Forsmark, SKB TR-08-03, INSITE M-09-09. Strålsäkerhetsmyndigheten, Stockholm.

Rutqvist, J., Tsang, C-F., 2008. Review of SKB's work on coupled THM processes within SR-Can, SKI Report 2008:08. Statens kärnkraftinspektion, Stockholm.

Toverud, Ö., 2001. Östhammar först att säga ja till platsundersökningar. Regeringen ger klartecken för vidare undersökningar, Nucleus nr 4/2001. Statens kärnkraftinspektion, Stockholm.

Toverud, Ö., 2003. Platsundersökningar i Forsmark och Simpevarp. Inget får sopas under mattan, Nucleus nr 4/2003. Statens kärnkraftinspektion, Stockholm.