

Platsval – lokalisering av slutförvaret för använt kärnbränsle

Svensk Kärnbränslehantering AB

December 2010

Svensk Kärnbränslehantering AB

Swedish Nuclear Fuel
and Waste Management Co

Box 250, SE-101 24 Stockholm
Phone +46 8 459 84 00



ISSN 1402-3091

SKB R-10-42

Platsval – lokalisering av slutförvaret för använt kärnbränsle

Svensk Kärnbränslehantering AB

December 2010

Nyckelord: Lokalisering, Platsval, Slutförvar, Använt kärnbränsle, Forsmark, Förstudie, Platsundersökning, SKBdoc 1229379.

En pdf-version av rapporten kan laddas ner från www.skb.se.

Sammanfattning

SKB har valt Forsmark som plats för slutförvaret för använt kärnbränsle. Platsvalet är slutresultatet av ett omfattande lokaliseringsarbete som tog sin början under tidigt 1990-tal. Strategin för och uppläggningsen av arbetet grundade sig på erfarenheter från undersökningar och utvecklingsarbete under mer än tio år dessförinnan.

Detta dokument beskriver lokaliseringsarbetet och SKB:s val av plats för slutförvaret. Vidare redovisas SKB:s underlag och motiv för de beslut som har fattats under arbetets gång. Dokumentet utgör Bilaga PV till ansökningar enligt kärntekniklagen och miljöbalken om att dels få uppföra och driva en inkapslingsanläggning i anslutning till det centrala mellanlagret för använt kärnbränsle i Oskarshamn, dels att få uppföra och driva en slutförvarsanläggning för använt kärnbränsle i Forsmark i Östhammars kommun.

Lokaliseringen av slutförvaret för använt kärnbränsle utgår ytterst från tillämpliga krav i miljöbalken och föreskrifter till kärntekniklagen och strålskyddslagen. Enligt den så kallade lokaliseringsprincipen i miljöbalkens allmänna hänsynsregler ska den plats som väljs för en verksamhet vara lämplig med hänsyn till att ändamålet ska kunna uppnås med minsta intrång och olägenhet för människors hälsa och miljön. Kraven på minsta intrång och olägenhet ska vägas mot att de insatser som krävs för att ta platsen i anspråk ska vara skäligen i förhållande till den nytta som uppnås. Platsen måste också vara tillgänglig.

Ändamålet med slutförvaret är att slutförvara använt kärnbränsle för att skydda människors hälsa och miljön mot skadlig verkan av joniserande strålning från det använda kärnbränslet, nu och i framtiden. Förutsättningarna för detta är beroende av egenskaper hos berggrunden och det grundläggande kravet på den plats som väljs är därför att det finns berggrund som medger att säkerhetskraven uppfylls. För att platsen ska vara tillgänglig och projektet i realiteten ska vara genomförbart måste det också finnas en politisk och allmän acceptans i den berörda kommunen och bland närboende. Dessa grundkrav har varit vägledande för SKB:s lokaliseringsarbete.

Förstudieskedet

Under 1990-talet genomförde SKB förstudier i åtta kommuner. Syftet med en förstudie var att bedöma om det fanns förutsättningar för vidare lokaliseringsstudier för ett slutförvar i den aktuella kommunen, samtidigt som kommunen och dess invånare gavs möjlighet att utan förpliktelser bilda sig en uppfattning om slutförvarsprojektet och en eventuell fortsatt medverkan. En huvuduppgift var att identifiera områden med berggrund som kunde vara lämplig för ett slutförvar. Geologiska studier baserade på befintligt underlag utgjorde därför ett viktigt inslag. Inga borrhningar utfördes i detta skede. Även tekniska, miljömässiga och samhällsliga förutsättningar utreddes.

Slutresultatet av förstudierna blev att åtta enskilda lokaliseringsalternativ kunde identifieras, fördelade på de fem kommunerna Tierp, Östhammar, Nyköping, Oskarshamn och Hultsfred. Dessa alternativ bedömdes alla vara tillräckligt lovande för att motivera vidare studier, med bland annat borrhålsundersökningar av berggrunden på plats. Med detta resultat från förstudierna samt tidigare utförda undersökningar och andra studier som grund bedömde SKB år 2000 att ett tillräckligt underlag fanns för att gå vidare till nästa fas av lokaliseringsarbetet, med platsundersökningar för utvalda lokaliseringsalternativ.

Jämförande värderingar gjordes för att kunna prioritera mellan de identifierade lokaliseringsalternativen. SKB kunde då konstatera att två alternativ framstod som givna kandidater för en fortsättning, nämligen Forsmark i Östhammars kommun och Simpevarp i Oskarshamns kommun (alternativet Simpevarp inkluderade även Laxemarområdet). Motiven var att dessa platser uppvisade lovande berggrundsförhållanden samtidigt som de hade en rad fördelar i andra avseenden. Det senare inkluderade tekniska, miljömässiga och samhällsliga förutsättningar som ger fördelar ur tillgänglighets- och etableringssynpunkt. Utöver platsundersökningar på dessa två platser föreslog SKB även undersökningar inom ett område i Tierps kommun samt ytterligare utredningar av förutsättningarna i Fjällvedenområdet i Nyköpings kommun. Huvudskälet för att inkludera även dessa alternativ i programmet var önskemålet att, inom rimliga gränser, bibehålla en god geologisk bredd på urvalsunderlaget, vilket bedömdes motiverat eftersom bedömningarna av plats-specifika berggrundsförhållanden i detta skede var preliminära.

Platsundersökningsskedet

SKB:s prioriteringar av platser för vidare undersökningar presenterades i en komplettering till Fud-program 1998 (den s k Fud-K-rapporten), och blev därmed föremål för myndighetsgranskning följt av ställningstaganden av regeringen och senare berörda kommuner. Regeringen hade inga invändningar, och Östhammars- och Oskarshamns kommuner ställde sig positiva till platsundersökningar i Forsmarks- respektive Simpevarpsområdena. Tierps och Nyköpings kommuner avböjde däremot fortsatta lokaliseringsstudier. De politiska förutsättningarna för fortsättningen av lokaliseringsarbetet var därmed klarlagda, SKB kunde gå vidare och inledde år 2002 platsundersökningar i Forsmark och Simpevarp.

Platsundersökningarna genomfördes under perioden 2002–2008 och innebar en etappvis karaktärisering av de båda platserna. Undersökningar av berggrunden med ett stort antal borrhål till olika djup utgjorde ett huvudinslag. Från att inledningsvis ha omfattat stora områden fokuserades undersökningarna successivt mot lägen och bergvolymerna som bedömdes mest intressanta (i fallet Simpevarp med resultat att Laxemarområdet prioriterades, varefter detta alternativ benämns Laxemar). Resultaten från undersökningarna har legat till grund för platsbeskrivningar, projektering av platsanpassade försvarsutformningar och genomförandeplaner, utredningar av miljökonsekvenser samt säkerhetsbedömningar och säkerhetsanalyser. Sammantaget har platsundersökningsskedet genererat ett underlag som medger en tillförlitlig värdering av förutsättningarna att åstadkomma en säker slutförvaring i Forsmark respektive Laxemar.

Valet mellan Forsmark och Laxemar

I det avslutande steget av lokaliseringsprocessen var SKB:s uppgift att med stöd av underlaget från platsundersökningarna välja antingen Forsmark eller Laxemar som plats för slutförvaret. Den strategi som lades fast för valet utgick från ändamålet med slutförvarsprojektet och formulerades i följande två punkter:

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.

De jämförande analyser som gjorts av Forsmark och Laxemar har enligt SKB:s uppfattning gett underlag för ett väl grundat val mellan dessa alternativ. SKB konstaterar vid en samlad värdering att ett slutförvar i Forsmark ger klart bättre förutsättningar för att säkerhet på lång sikt ska uppnås i praktiken än ett slutförvar i Laxemar. I enlighet med strategin för platsvalet har SKB därför valt att förlägga slutförvaret till Forsmark.

Underlag för valet mellan Forsmark och Laxemar

För att få det underlag som krävdes för att välja mellan Forsmark och Laxemar jämfördes platserna med avseende på en uppsättning lokaliseringsfaktorer indelade i fyra huvudgrupper, se figur S-1. Faktorena är en vidareutveckling av den struktur som tillämpats för värderingar i tidigare skeden, men anpassad för uppgiften att jämföra två väl undersökta alternativ. Lokaliseringsfaktorerna gav ramverket för strukturerade jämförelser mellan platserna, där olika aspekter kunde värderas var för sig på ett systematiskt sätt.

Parametrarna under rubriken *säkerhetsrelaterade platsegenskaper* i figur S-1 har direkt påverkan på förvarets säkerhet efter förslutning. Platsjämförelser har gjorts för dessa parametrar och de har också bildat grund för samlade riskanalyser. Analyserna har generellt visat att de processer som skulle kunna skada kapslar på mycket lång sikt är korrosion om bufferten förloras samt möjligen stora jordskalv i förvarets närhet. Om alla kapslar förblir intakta sker inga utsläpp av radioaktiva ämnen.

För många av de faktorer som kan påverka säkerheten är utfallet för platserna relativt lika. Det finns dock skillnader i grundvattenförhållanden som får stora konsekvenser för bedömningen av den långsiktiga säkerheten i de scenarier där kapselskador antas kunna uppstå på lång sikt. Frekvensen av vattenförande sprickor på förvarsdjup är väsentligt lägre i Forsmark än i Laxemar. Detta påverkar miljön för bufferten, vilket i sin tur kan påverka tidpunkter för när kapselskador kan uppstå och det

SKB:s lokaliseringsfaktorer

Säkerhetsrelaterade platsegenskaper	Teknik för genomförande
Bergets sammansättning och strukturer	Flexibilitet
Framtida klimatutveckling	Tekniska risker
Bergmekaniska förhållanden	Teknikutvecklingsbehov
Grundvattenströmning	Funktionalitet, driftfrågor
Grundvattnets sammansättning	Synergieffekter
Fördröjning av lösta ämnen	Kostnader
Biosärförhållanden	
Platskännedom	

Samhällsresurser	Miljö och hälsa
Leverantörer, kompetensförsörjning	Arbetsmiljö och strålskydd
Offentlig och privat service	Naturmiljö
Kommunikationer	Kulturmiljö
	Boendemiljö
	Hushållning med resurser

Figur S-1. Faktorer som bildade grund för att jämföra lokaliseringsalternativen Forsmark och Laxemar inför platsvalet.

antal kapslar som då kan riskera att skadas. För Forsmark visar analyserna att endast ett fåtal kapslar skulle kunna skadas, och det först efter mer än hundrausen år. De betydligt högre grundvattenflödena i Laxemar innebär att betydligt fler kapslar kan skadas och att detta kan inträffa i tidigare skeden.

Dessa skillnader i potential för kapselskador får stort genomslag i de samlade riskberäkningarna för slutförvaret. För Forsmark visar beräkningarna att det kvantitativa gränsvärde för årlig effektiv dos som Strålsäkerhetsmyndigheten angett (det så kallade riskkriteriet) uppfylls med mycket god marginal. För Laxemar blir utfallet betydligt sämre. Det utesluter inte möjligheten att bygga ett säkert slutförvar i Laxemar, men det skulle då krävas en layout och konstruktion av förvaret som i praktiken kan vara svår att åstadkomma för det antal kapslar som behövs.

Jämförande bedömningar avseende teknik för genomförande har gjorts med platsanpassade förvar, utformade enligt gällande konstruktionsförutsättningar, som utgångspunkt. Med dessa förutsättningar ger båda platserna möjligheter att bygga och driva ett slutförvar. Jämförelser utfaller olika för olika lokaliseringsfaktorer, men sammantaget bedöms Forsmark ge bättre förutsättningar för ett robust genomförande. Den viktigaste orsaken är att den ringa förekomsten av vattenförande sprickor i Forsmark minimerar risken för att tilltänkta deponeringshål måste överges på grund av för höga inflöden av vatten. Osäkerheterna i detta avseende är betydligt större för Laxemar.

De bergrelaterade tekniska genomföranderisker som ändå finns i Forsmark är framförallt kopplade till förekomsten av jämförelsevis höga bergspänningar. Det kan inte uteslutas att detta leder till överbelastning och viss uppsjälkning av berget närmast deponeringshålen. Det finns dock goda möjligheter att anpassa förvarets utformning så denna risk reduceras. Att spjälkningen skulle få stora konsekvenser för tillgången till användbara deponeringspositioner bedöms inte sannolikt.

Ett förvar i Forsmark kan göras avsevärt mindre till utbredning och volym än ett förvar i Laxemar, väsentligen därför att berget i Forsmark har högre värmeledningsförmåga och att kapslarna därmed kan placeras med mindre inbördes avstånd. Ett mindre förvar ger mindre berguttag, materialåtgång, transportbehov m m vilket bidrar till effektivitet i genomförandet och reducerar kostnaderna.

En jämförelse av de yttre faktorer som påverkar genomförandet av slutförvarsprojektet utfaller till Laxemars fördel. Den redan betydande omfattningen på SKB:s verksamhet i Oskarshamn skulle ge vissa synergifördelar, särskilt i inledningsfasen av projektet. Vidare skulle ett slutförvar i Laxemar samla hela hanteringskedjan för det använda kärnbränslet till en plats i landet. Förutom effektivitetsvinster skulle det ge en lägre grad av omvärldsberoende. Den tydligaste fördelen för Laxemar relativt Forsmark är att behovet av sjötransporter av inkapslat bränsle från inkapslingsanläggningen bortfaller. Detta innebär inga skillnader ur säkerhetssynpunkt och kostnadsbesparingen blir liten, men man kan inte bortse från att den längre transportkedjan till Forsmark utgör en möjlig källa till driftstörningar.

Det omfattande utredningsarbetet under platsundersökningsskedet har verifierat SKB:s uppfattning att båda platserna är lämpliga lokaliseringalternativ med avseende på *miljö- och hälsofrågor*. Förutsättningen är att projektet anpassas till miljön på respektive plats och att förebyggande, konsekvenslindrande och kompenserande åtgärder vidtas. I fallet Forsmark gäller anpassningsbehoven i första hand hänsyn till områdets höga och känsliga naturvärden. I fallet Laxemar finns å andra sidan ett större behov av hänsyn till kultur- och boendemiljö. De naturresurser som slutförvarsprojektet kommer att förbruka påverkas av platsvalet, men inte i någon betydande utsträckning. Sammantaget bedöms en rangordning av platserna utifrån skillnader i miljöpåverkan inte vara motiverad.

En likartad bedömning görs när det gäller *samhällsresurser*. Inför platsundersökningarna gjorde SKB bedömningen att både Oskarshamns och Östhammars kommuner är fullgoda alternativ vad avser samhällsförutsättningarna för att genomföra slutförvarsprojektet. Den fördjupade kunskap som byggts upp sedan dess har inte ändrat på bedömningen. Mycket tyder dessutom på att intresset för slutförvaret som industrietablering har stärkts under platsundersökningsskedet, något som gäller båda kommunerna. SKB ser därmed inga samhällsfaktorer som väsentligt skulle försvåra en etablering i någon av kommunerna. Vad som då återstår att beakta är vilka lokala och regionala resurser som finns och hur detta kan påverka effektiviteten i etableringen. SKB:s slutsats är att de skillnader som kan ses i det avseendet inte är av den digniteten att de påverkar platsvalet.

Platsvalet i relation till miljöbalkens bestämmelser

SKB har kunnat visa att Forsmark är en lämplig plats med hänsyn till ändamålet med slutförvaret, och att detta ändamål kan uppnås med mycket begränsade intrång och olägenheter. I kravet på minsta intrång och olägenhet ligger också att det inte ska finnas någon annan plats som är tillgänglig och som vid jämförelse ger uppenbart bättre förutsättningar.

Redan inför platsundersökningsskedet kunde slutsatsen dras att de platser som valdes för undersökningar erbjöd väsentliga fördelar med avseende på miljöpåverkan samt industriella etableringsförutsättningar och lokala samhällsförhållanden. Detta gällde både i förhållande till andra övervägda alternativ och i mera generell bemärkelse. Det omfattande underlag som tillkommit sedan dess har förstärkt denna uppfattning.

För många geovetenskapliga parametrar av betydelse för förvarets säkerhet krävs data från undersökningsborrningar för att kunna göra fullständiga jämförelser mellan platser. Med tillgång till resultaten från platsundersökningen kan därför Forsmarks lämplighet nu värderas (vid sidan av jämförelsen med Laxemar) även i relation till andra platser där undersökningar gjorts. Jämförelser med detta syfte har gjorts för ett antal säkerhetsrelaterade platsegenskaper. Jämförelseunderlaget har i huvudsak hämtats från de så kallade typområden som var föremål för undersökningar innan det egentliga lokaliseringsförfarandet för slutförvaret inleddes. Slutsatsen är att Forsmark är en lämplig, och gynnsam, plats även i relativ bemärkelse. Ingen plats har kunnat identifieras som skulle kunna ge avgjort bättre förutsättningar än Forsmark. Det hindrar inte att det finns andra platser som uppvisar likvärdiga geologiska förhållanden. Det är också möjligt att det finns platser som totalt sett ger jämförbara förutsättningar att uppnå en långsiktigt säker förvaring. Det går däremot inte att se att det finns någon plats som kan ge sådana verifierbara fördelar över Forsmark att det skulle kunna motivera insatser för att söka en sådan plats.

SKB:s samlade slutsats är därmed att lokaliseringen av slutförvaret står i överensstämmelse med miljöbalkens intentioner att det inte ska finnas någon uppenbart bättre plats som är tillgänglig med insatser som är skäligen i förhållande till vad som skulle kunna uppnås.

Innehåll

1	Introduktion	11
2	Lagar och föreskrifter	13
2.1	Kärntekniklagen	13
2.2	Strålskyddslagen	13
2.3	Miljöbalken	14
3	Upptakten till lokaliseringsarbetet	15
3.1	Tidiga studier	15
3.2	Villkorslagen och KBS-projektet	16
3.3	Typområden	16
3.4	Berglaboratorier i Stripa och på Äspö	17
3.5	Slutsatser och riktlinjer för kommande lokaliseringsarbete	18
4	Förstudieskedet	19
4.1	Inriktning och program	19
4.2	Förstudier	19
4.3	Kompletterande studier	21
4.4	Val av platser för platsundersökningar	22
4.4.1	Urvalsunderlag	22
4.4.2	Jämförande värdering och val	24
4.4.3	Beslutsprocessen inför platsundersökningsskedet	29
5	Platsundersökningsskedet	31
5.1	Inriktning och program	31
5.2	Arbetsmetodik	31
5.2.1	Undersökningar, platsmodellering, projektering och säkerhetsanalys	33
5.2.2	Miljöutredningar	35
5.2.3	Kvalitetskontroll och granskning	35
5.2.4	Information och samråd	35
5.2.5	Kompletterande studier	35
5.3	Forsmark	35
5.3.1	Undersökningar	36
5.3.2	Platsbeskrivningar	37
5.3.3	Säkerhetsbedömningar	37
5.3.4	Berggrund	38
5.3.5	Förvarsutformning	39
5.3.6	Planförhållanden	41
5.3.7	Riksintressen och skyddade områden	41
5.3.8	Infrastruktur	41
5.3.9	Bebyggelse	41
5.3.10	Naturmiljö	41
5.3.11	Kulturmiljö	41
5.3.12	Rekreation och friluftsliv	42
5.3.13	Miljökonsekvenser	42
5.4	Simpevarp/Laxemar	42
5.4.1	Undersökningar	42
5.4.2	Platsbeskrivningar	44
5.4.3	Säkerhetsbedömningar	44
5.4.4	Berggrund	44
5.4.5	Förvarsutformning	45
5.4.6	Planförhållanden	47
5.4.7	Riksintressen och skyddade områden	47
5.4.8	Infrastruktur	47
5.4.9	Bebyggelse	47

5.4.10	Naturmiljö	47
5.4.11	Kulturmiljö	48
5.4.12	Rekreation och friluftsliv	48
5.4.13	Miljökonsekvenser	48
6	Faktorer och metodik för platsval	49
6.1	Lokaliseringsfaktorer	49
6.2	Säkerhetsrelaterade platsegenskaper	50
6.2.1	Bergets sammansättning och strukturer	50
6.2.2	Framtida klimatutveckling	51
6.2.3	Bergmekaniska förhållanden	51
6.2.4	Grundvattenströmning	51
6.2.5	Grundvattnets sammansättning	51
6.2.6	Fördröjning av lösta ämnen	51
6.2.7	Biosfärsförhållanden	52
6.2.8	Platskännedom	52
6.3	Teknik för genomförande	52
6.3.1	Flexibilitet	52
6.3.2	Tekniska risker	53
6.3.3	Behov av teknikutveckling	54
6.3.4	Funktionalitet	54
6.3.5	Synergieffekter	55
6.3.6	Kostnader	56
6.4	Miljö och hälsa	56
6.4.1	Arbetsmiljö och strålskydd	56
6.4.2	Naturmiljö	56
6.4.3	Kulturmiljö	57
6.4.4	Boendemiljö och hälsa	57
6.4.5	Hushållning med naturresurser	58
6.5	Samhällsresurser	58
7	Jämförande värdering och val	59
7.1	Säkerhetsrelaterade platsegenskaper	59
7.1.1	Bergets sammansättning och strukturer	59
7.1.2	Framtida klimatutveckling	60
7.1.3	Bergmekaniska förhållanden	60
7.1.4	Grundvattenströmning	61
7.1.5	Grundvattnets sammansättning	62
7.1.6	Fördröjning av lösta ämnen	64
7.1.7	Biosfärsförhållanden	64
7.1.8	Platskännedom	64
7.1.9	Förväntad risk och sammanfattande bedömning	64
7.2	Teknik för genomförande	66
7.2.1	Flexibilitet	66
7.2.2	Tekniska risker och behov av teknikutveckling	68
7.2.3	Funktionalitet	72
7.2.4	Synergieffekter	74
7.2.5	Kostnader	74
7.2.6	Slutsatser	75
7.3	Miljö och hälsa	75
7.3.1	Arbetsmiljö och strålskydd	75
7.3.2	Naturmiljö	76
7.3.3	Kulturmiljö	78
7.3.4	Boendemiljö och hälsa	78
7.3.5	Hushållning med naturresurser	79
7.3.6	Slutsatser	80
7.4	Samhällsresurser	81

7.5	SKB:s samlade värdering och val	82
7.5.1	Sammanfattande jämförelse av platserna	82
7.5.2	Slutsats	84
8	Lokaliseringen i ett nationellt perspektiv	85
8.1	Bakgrund	85
8.2	Jämförelser avseende säkerhetsrelaterade platsegenskaper	86
8.2.3	Referensområden	86
8.2.4	Bergets sammansättning och strukturer	87
8.2.5	Framtida klimatutveckling	89
8.2.6	Bergmekaniska förhållanden – bergspänningar	90
8.2.7	Bergmekaniska förhållanden – jordskalv	93
8.2.8	Grundvattenströmning	93
8.2.9	Grundvattnets sammansättning	97
8.2.10	Fördröjning av lösta ämnen	98
8.2.11	Platskännedom	99
8.3	Slutsatser	99
9	Referenser	101

1 Introduktion

Den 3 juni 2009 beslöt SKB:s styrelse att välja Forsmark som plats för slutförvaret för använt kärnbränsle. Ett mångårigt arbete med att lokalisera en unik anläggning nådde därmed sitt mål. Valet stod mellan Forsmark i Östhammars kommun och Laxemar i Oskarshamns kommun. Båda alternativen har varit föremål för omfattande undersökningar för att få fram det underlag som krävs för att avgöra och jämföra deras lämplighet. Det som avgjorde valet av plats var att Forsmark bedöms ge bättre förutsättningar än Laxemar för att säkerhet på lång sikt ska uppnås i praktiken.

Detta dokument beskriver tillvägagångssättet bakom SKB:s val av plats för slutförvaret. Vidare redovisas SKB:s motiv för de beslut som successivt har fattats under platsvalsarbetets gång. Dokumentet utgör Bilaga PV till ansökan enligt kärntekniklagen och miljöbalken om att dels få uppföra och driva en inkapslingsanläggning i anslutning till det centrala mellanlagret för använt kärnbränsle i Oskarshamn, dels att få uppföra och driva en slutförvarsanläggning för använt kärnbränsle i Forsmark i Östhammars kommun.

Grundläggande krav

SKB:s beslut om förläggningsplats för slutförvaret är resultatet av en process som tog sin början under tidigt 1990-tal. Riktlinjerna för hur processen lades upp kan i sin tur härledas till erfarenheter från undersökningar och utvecklingsarbete under mer än tio år dessförinnan /Johansson 2006/.

Det finns två grundläggande krav på lokaliseringen av slutförvaret som alltsedan början av 1990-talet har styrt arbetet. Det ena är att det måste finnas lämplig berggrund på den plats som väljs. Det andra är att det måste finnas acceptans och förtroende på lokal nivå för både lokaliseringsarbetet och en etablering av slutförvaret.

Egenskaperna hos berggrunden har avgörande betydelse för förutsättningarna att uppnå ändamålet med lokaliseringen, det vill säga att åstadkomma ett säkert slutförvar. En god förståelse har utvecklats om vilka egenskaper som är betydelsefulla och hur de påverkar lämpligheten för ett slutförvar. De säkerhetsanalyser som SKB och myndigheterna gjort i olika skeden av kärnavfallsprogrammet har varit väsentliga för att nå denna förståelse. Undersökningar på en rad platser har sammantagna gett god kunskap om variationsbredderna för väsentliga egenskaper. Men data om dessa egenskaper som är tillräckligt ingående för att avgöra lämpligheten på en specifik plats kräver omfattande undersökningar, inklusive borrhningar till förvarsdjup, på den platsen. Intill dess att sådana undersökningar genomförs måste värderingar av enskilda platser baseras på den information som kan fås från observationer och mätningar på ytan i kombination med generell kunskap. Beroendet av ofullständig information om bergförhållanden i tidiga planeringsskeden är inte unikt för slutförvaret utan gäller generellt för undermarksanläggningar. Detta förhållande blir dock särskilt påtagligt för slutförvaret eftersom vissa egenskaper hos berggrunden kan ha konsekvenser inte bara för anläggningens utformning och konstruktion utan även för platsens lämplighet överhuvudtaget. Detta har föranlett en lokaliseringsprocess baserad på ett brett geologiskt urvalsunderlag ända fram till slutfasen.

Kravet på acceptans och förtroende från dem som berörs lokalt av slutförvarsprojektet blev en lärdom från den utvecklingsfas som föregick det lokaliseringsarbete som inleddes i början av 1990-talet. Lokalt berörda är beslutsfattare i berörda kommuner likaväl som närboende och allmänheten i övrigt i dessa kommuner. Att lokalisera och etablera slutförvaret mot en kommuns eller stark lokal opinions vilja är enligt SKB:s uppfattning inte rimligt, om ens möjligt. En plats där det nödvändiga lokala stödet saknas kan alltså inte ses som tillgänglig för en lokalisering, oavsett meriter i övrigt.

Samtidigt som de styrande grundkraven förblivit desamma har kunskaper utvecklats och olika regelverk ändrats under de mer än 30 år som lokaliseringsarbetet har pågått. Det mest påtagliga är att nya lagar, föreskrifter och ett antal regeringsbeslut har tillkommit. I ett bredare samhällsperspektiv har förändringar i opinioner och attityder över tid påverkat förutsättningarna för lokaliseringsarbetet. De beslut och vägval som gjorts under arbetets gång måste därför ses mot bakgrund av samtidens förutsättningar.

Valet mellan Forsmark och Laxemar

Den värdering och jämförelse av lokaliseringalternativen Forsmark och Laxemar som utgjort sista steget i lokaliseringsarbetet har utgått från de nämnda grundkraven samt nu gällande lagar och föreskrifter. Kravet på lokal acceptans har SKB bedömt vara väl uppfyllt för båda alternativen, och detta har därmed inte utgjort en skiljande faktor i det slutliga valet. Det som stått i centrum är förutsättningarna för att uppnå långsiktigt säker förvaring. Andra aspekter, som anpassningen till den omgivande miljön och effektiviteten i genomförandet av projektet, har beaktats först i andra hand. SKB:s strategi inför valet mellan Forsmark och Laxemar kan således sammanfattas:

1. Den plats väljs som ger bäst förutsättningar för att säkerhet på lång sikt (efter förslutning av förvaret) 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 platserna jämförts systematiskt med avseende på alla faktorer som kan ha betydelse för den samlade värderingen. Omfattande analyser har gjorts av framförallt platsrelaterade egenskaper som har betydelse för den långsiktiga säkerheten och förutsättningarna att på ett robust sätt genomföra slutförvarsprojektet så att platsens egenskaper tas tillvara. Valet gjordes när analysarbetet kommit så långt att stod klart att den första punkten i strategin skulle fölla avgörandet till Forsmarks fördel och att de delar av analysarbetet som då återstod inte skulle kunna ändra på utfallet.

Denna rapport

Kapitel 2 i denna ansökansbilaga sammanfattar det för slutförvaret tillämpliga regelverket för lokalisering, enligt nu gällande lagar och myndighetsföreskrifter. Kapitlen 3 och 4 ger en översikt över lokaliseringsarbetets huvudskeden, fram till och med de beslut som innebär att platsundersökningar kunde inledas för två lokaliseringalternativ. Tyngdpunkten ligger på de resultat och successiva beslut – av SKB och andra aktörer – som blev avgörande för hur lokaliseringsförfarandet utvecklade sig.

I kapitel 5 redovisas platsundersökningsskedet, med undersökningarna av Laxemar och Forsmark och arbetet med att ta fram platsbeskrivningar, platsanpassade förvarslösningar, säkerhetsbedömningar och underlag för miljökonsekvensbeskrivning. Platserna beskrivs översiktligt med betoning på förhållanden av betydelse för det senare platsvalet.

Kapitlen 6 och 7 behandlar hur platsvalet gjordes på basis av resultaten från platsundersökningarna. Kapitel 6 presenterar faktorer och metodik som SKB tillämpade för att systematiskt jämföra platserna. Kapitel 7 redovisar de jämförande analyser som gjordes med avseende på dessa faktorer, följt av den samlade värdering som ledde fram till valet av Forsmark. I ett avslutande kapitel 8 diskuteras lokaliseringen mot bakgrund av generell kunskap om geovetenskapliga faktorer som påverkar platsens lämplighet och en argumentation förs i relation till de krav som gällande regelverk ställer.

Lokaliseringen av slutförvaret berörs även i andra bilagor till ansökningarna. En sammanfattning finns i den bilaga som redovisar hur miljöbalkens allmänna hänsynsregler iakttagits genom val av plats, metod och teknik, vidtagna skyddsåtgärder m m (Bilaga AH). I den miljökonsekvensbeskrivning (Bilaga MKB) som åtföljer ansökan redogörs för lokaliseringshistoriken samt förhållanden och förutsättningar på den valda platsen i Forsmark, och den alternativa lokaliseringen vid Laxemar. I Bilaga MKB redovisas även påverkan, effekter och konsekvenser för miljö och hälsa som en etablering på någon av dessa platser skulle få. Motivet för att, utöver redovisningarna i ovan nämnda dokument, presentera lokaliseringsarbetet mera utförligt i denna bilaga är den stora omfattningen av underlaget.

2 Lagar och föreskrifter

Krav som lokaliseringen av slutförvaret ska uppfylla finns i kärntekniklagen, strålskyddslagen och miljöbalken. I detta kapitel sammanfattas dessa krav och de ytterligare riktlinjer som ges i Strålsäkerhetsmyndighetens (SSM:s) föreskrifter och allmänna råd.

2.1 Kärntekniklagen

Kärntekniklagen innehåller inga specifika bestämmelser som reglerar lokaliseringen av ett slutförvar för använt kärnbränsle, utan hänvisar till 2 kap. i miljöbalken. Lokaliseringen berörs dock indirekt i SSM:s föreskrifter som ansluter till kärntekniklagen. I SSMFS 2008:21, 2 och 3 §§ ges följande anvisning om hur säkerheten ska uppnås med hjälp av barriärer och deras funktion:

”Säkerheten efter förslutning av ett slutförvar ska upprätthållas genom ett system av passiva barriärer. Varje barriär ska ha till funktion att på ett eller flera sätt medverka till att innesluta, förhindra eller fördröja spridning av radioaktiva ämnen, antingen direkt, eller indirekt genom att skydda andra barriärer i barriärsystemet.”

Utifrån dessa föreskrifter har SSM även tagit fram allmänna råd, där lokalisering behandlas (SSM:s allmänna råd till 2 och 3 §§ i SSMFS 2008:21). I råden konstaterar SSM bland annat följandet:

”Platsen för ett slutförvar och förvarsdjupet bör väljas så att den geologiska formationen ger tillräckligt stabila och gynnsamma förhållanden för att slutförvarets barriärer ska fungera som avsett under tillräckligt lång tid. De förhållanden som avses rör primärt temperatur, hydrologi, samt mekaniska (t.ex. bergmekanik, seismologi) och kemiska (geokemi, inkl. grundvattenkemi) faktorer. Platsen för ett slutförvar bör vidare förläggas på ett betryggande avstånd från naturresurser som utnyttjas idag eller kan komma att utnyttjas i framtiden”.

Formuleringen kan sägas utgå från ändamålet med lokaliseringen och platsspecifika faktorer som är centrala för förutsättningarna att nå detta ändamål. De allmänna råden anger vidare följande beträffande barriärfunktioner:

”Vilka barriärer eller barriärfunktioner som behövs i ett slutförvar beror på dess innehåll av radioaktiva ämnen, andra ämnen som påverkar barriärernas säkerhetsfunktioner och på slutförvarets utformning och lokalisering.”

2.2 Strålskyddslagen

I likhet med kärntekniklagen innehåller strålskyddslagen inga specifika bestämmelser för lokalisering. I föreskrifterna till denna lag (SSMFS 2008:37, 5 §) har SSM dock specificerat kvantitativa krav på långsiktig säkerhet, det så kallade riskkriteriet, som lyder:

”Ett slutförvar för använt kärnbränsle eller kärnavfall ska utformas så att den årliga risken för skadeverkningar efter förslutning blir högst 10^{-6} för en representativ individ i den grupp som utsätts för den största risken.”

Föreskrifterna ger också anvisningar om vilka typer av analyser som ska ligga till grund för redovisningen av slutförvarets skyddsförmåga i olika tidsperspektiv.

Lokaliseringen berörs i de allmänna råden till denna föreskrift (Allmänna råd till 4, 8 och 9 §§ i SSMFS 2008:37), där SSM anger följande:

”Tillämpning av bästa möjliga teknik i samband med slutförvaring innebär att förläggningsplats, utformning, bygge och drift av slutförvaret och tillhörande systemkomponenter bör väljas för att förhindra, begränsa och fördröja utsläpp från både tekniska och geologiska barriärer så långt som är rimligt möjligt. Avvägning mellan olika åtgärder bör göras genom en samlad bedömning av deras påverkan på slutförvarets skyddsförmåga.”

I samma föreskrifter ställer strålsäkerhetsmyndigheten mera allmänna krav som berör människors hälsa och miljön, och som har betydelse för de generella värderingar som lokaliseringen måste bygga på (SSMFS 2008:37, 3 §):

”Människors hälsa och miljön ska skyddas från skadlig verkan av joniserande strålning, dels under den tid då de olika stegen i det slutliga omhändertagandet av använt kärnbränsle och kärnavfall genomförs, dels i framtiden. Det slutliga omhändertagandet får inte orsaka svårare effekter på människors hälsa och miljön utanför Sveriges gränser än vad som accepteras inom Sverige.”

2.3 Miljöbalken

Till skillnad från kärntekniklagen och strålskyddslagen inrymmer miljöbalken uttryckliga lokaliseringsbestämmelser. Enligt det allmänt formulerade kravet i 2 kap 6 § första stycket miljöbalken (den så kallade lokaliseringsprincipen) ska, för en verksamhet eller åtgärd som tar i anspråk ett mark- eller vattenområde, väljas en plats som är lämplig med hänsyn till att ändamålet ska kunna uppnås med minsta intrång och olägenhet för människors hälsa och miljön. Enligt 2 kap 7 § miljöbalken kan kraven på minsta intrång och olägenhet jämkas om det är orimligt att uppfylla dem. Lagkonstruktionen kan beskrivas som ett långtgående allmänt krav balanserat av en regel som öppnar för skälighetsbedömning från fall till fall.

Platsen ska således passa för såväl ändamålet med verksamheten som för hälso- och miljöskyddsintresset i allmän mening. Med lämplig plats avses en plats som är lämplig med hänsyn till miljöbalkens mål enligt 1 kap 1 §. Där anges följande:

”Bestämmelserna i denna balk syftar till att främja en hållbar utveckling som innebär att nuvarande och kommande generationer tillförsäkras en hälsosam och god miljö. En sådan utveckling bygger på insikten att naturen har ett skyddsvärde och att människans rätt att förändra och bruka naturen är förenad med ett ansvar för att förvalta naturen väl.

Miljöbalken skall tillämpas så att

- 1. människors hälsa och miljön skyddas mot skador och olägenheter oavsett om dessa orsakas av föroreningar eller annan påverkan,*
- 2. värdefulla natur- och kulturmiljöer skyddas och vårdas,*
- 3. den biologiska mångfalden bevaras,*
- 4. mark, vatten och fysisk miljö i övrigt används så att en från ekologisk, social, kulturell och samhällsekonomisk synpunkt långsiktigt god hushållning tryggas, och*
- 5. återanvändning och återvinning liksom annan hushållning med material, råvaror och energi främjas så att ett kretslopp uppnås.”*

Vid bedömningen om platsen är lämplig ska vidare 3 och 4 kap. miljöbalken tillämpas. Dessa kapitel behandlar grundläggande och särskilda bestämmelser om hushållning med mark- och vattenområden. I 3 kap 1 § anges att mark- och vattenområden ska användas för de ändamål som de är mest lämpade för, med företräde för en från allmän synpunkt god hushållning. Mark- och vattenområden som är opåverkade eller endast obetydligt påverkade av exploateringsföretag eller andra ingrepp i miljön (2 §) och områden som är särskilt känsliga från ekologisk synpunkt (3 §) ska så långt möjligt skyddas mot åtgärder som kan påverka eller skada området karaktär. I 3 och 4 kap miljöbalken återfinns även bestämmelser om riksintressen.

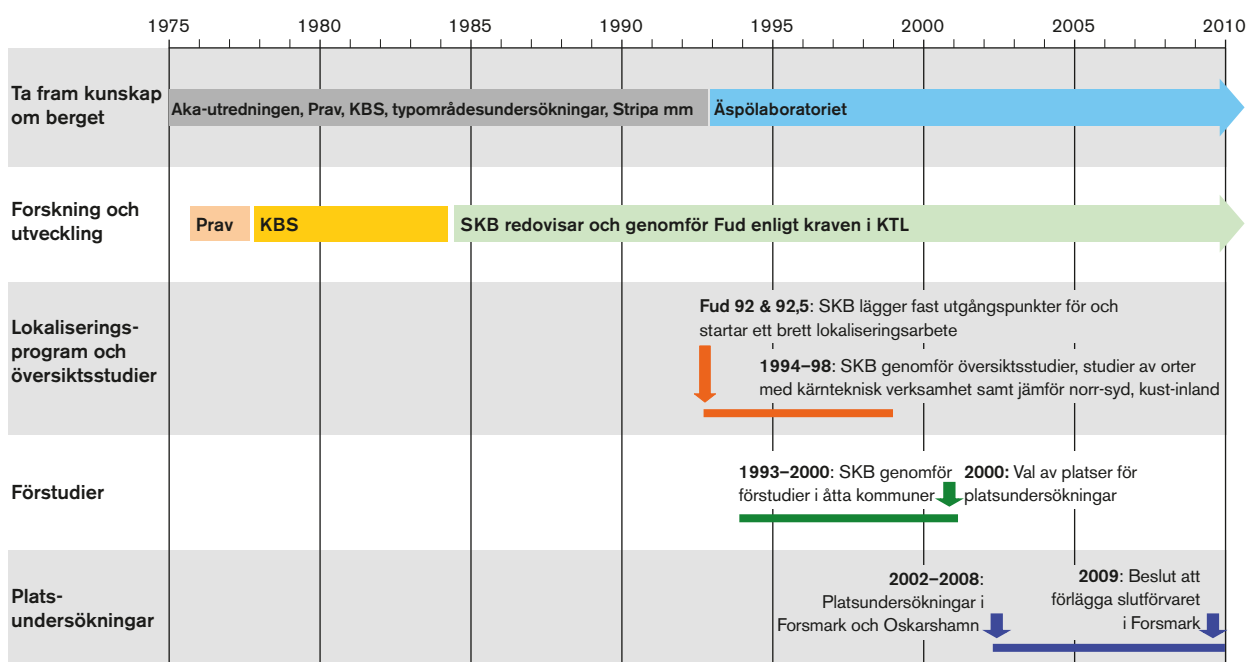
3 Upptakten till lokaliseringsarbetet

Figur 3-1 illustrerar huvudskeden och milstolpar i det mångåriga arbete som lett fram till SKB:s ställningstagande att förlägga slutförvaret i Forsmark. Arbetet med att utveckla en metod och välja en plats startade redan på 1970-talet, i spåren av en intensiv kärnkraftsdebatt som några år senare ledde fram till en folkomröstning om kärnkraftens framtid. Utvecklingsinsatser och undersökningar som gjordes från starten och fram till början av 1990-talet genererade en kunskapsbas som fick stor betydelse för uppläggningsen och genomförandet av det lokaliseringsförfarande som sedan initierades i och med att SKB presenterade Fud-program 92 /SKB 1992/. I detta kapitel sammanfattas insatser och erfarenheter fram till denna tidpunkt.

3.1 Tidiga studier

Ett grundläggande krav för slutförvaring av använt kärnbränsle är att människors hälsa och miljön ska skyddas från skadlig verkan av joniserande strålning. Eftersom det tar mycket lång tid innan radioaktiviteten i det använda bränslet har avklingat till en nivå som är jämförbar med vad man kan finna i naturen, måste avfallet isoleras och förvaras så att det inte kan skada kommande generationer. Detta krav ledde tidigt till slutsatsen att avfallet bör förvaras i någon form av geologisk formation. För Sverige blev inriktningen att förvaret skulle placeras i det urberg som dominerar vår berggrund. Andra länder med andra geologiska förutsättningar har valt andra alternativ, till exempel förvaring i saltformationer eller i lerstenar.

En av huvuduppgifterna i inledningsskedet blev därför att skaffa sig god kunskap om den svenska berggrunden och vilka egenskaper berget måste ha för att kravet på en säker slutförvaring skulle kunna uppnås. Den första samlade insatsen gjordes av Aka-utredningen (Använt kärnbränsle och radioaktivt avfall) som tillsattes av regeringen vid årsskiftet 1972/1973 och som redovisade sitt slutbetänkande år 1976 /SOU 1976/. Sedan dess har ett omfattande arbete genomförts för att bygga upp en allmän kunskap om berggrunden i landet och de förhållanden som kan påverka funktionen hos ett slutförvar.



Figur 3-1. Huvudskeden och milstolpar i det arbete som lett fram till beslutet att lokalisera slutförvaret till Forsmark.

Geologiska studier genomfördes över hela landet och i olika geologiska miljöer, se figur 3-2. Med hjälp av flygbilder och geologiska kartor identifierades ett stort antal möjliga områden för närmare undersökningar. Valet av områden baserades i första hand på följande kriterier:

- flack berggrundstopografi,
- låg sprickfrekvens i hälltytor,
- glest mellan större sprickzoner,
- enhetlig sammansättning och struktur på bergmassan,
- områden med låg seismisk aktivitet,
- dokumenterat låg vattenföring i bergmassan.

Nästa steg var fältbesök och enkla geologiska karteringar. Därefter följde mer omfattande undersökningar av de områden som bedömdes ha bra förutsättningar att uppfylla kraven på ett långsiktigt säkert slutförvar. Parallellt pågick utvecklingen av bättre och anpassade undersökningsmetoder /Johansson 2006/.

3.2 Villkorlagen och KBS-projektet

Riksdagens beslut år 1977 om villkorlagen blev en viktig utgångspunkt för lokaliseringsarbetet. Villkorlagen krävde att reaktorinnehavarna redovisade hur och var en helt säker förvaring av det högaktiva avfallet (efter upparbetning) eller det använda kärnbränslet (utan upparbetning) kunde ske, för att de skulle få regeringens tillstånd att starta de reaktorer höll på att färdigställas eller var under planering. Kärnkraftföretagen genomförde inom KBS-projektet ett intensivt arbete med provborringar och forskningsinsatser för att uppfylla detta krav /KBS 1977, 1978, SKBF/KBS 1983, Johansson 2006, SKB 2010a/.

Den inledande delen av KBS-projektets undersökningsprogram omfattade provborringar på fem platser som representerade tre olika urbergsmiljöer:

- urgraniter i nordöstra Uppland (Forsmark i Östhammars och Finnsjön i Tierps kommun),
- ung kvartsrik granit i sydöstra Småland (Kråkemåla och Ävrö i Oskarshamns kommun),
- kustgnejsformationen i Blekinge, (Sternö i Karlshamns kommun).

Efter inledande studier valdes Sternö, Kråkemåla och Finnsjön för närmare undersökningar, se figur 3-2. Programmet omfattade provborringar, markgeofysiska mätningar, håll- och sprickkartering, utvärdering av borrhåll, borrhållsloggning, TV-granskning av borrhål, vattenförlustmätningar samt vattenprovtagning för kemisk analys och åldersbestämning. Resultaten från dessa undersökningar ingick i den redovisning till regeringen som låg till grund för tillstånd att starta reaktorerna Ringhals 3 och Forsmark 1 /Regeringen 1979/ samt Ringhals 4 och Forsmark 2 /Regeringen 1980/.

Senare tillkom liknande undersökningar på ytterligare fyra platser, nämligen Fjällveden, Gideaå, Kamlunge och Svartboberget. KBS-projektet avslutades i och med att KBS-3 metoden redovisades och regeringen gav tillstånd att starta reaktorerna Forsmark 3 och Oskarshamn 3 /Regeringen 1984/.

3.3 Typområden

De platser som under KBS-projektet var föremål för mera omfattande undersökningar (genomförda av SKB eller i några fall det statliga Programrådet för radioaktivt avfall, Prav) kom att benämnas typområden. Ytterligare ett typområde tillkom efter avslutningen av KBS-projektet, nämligen Klipperås, se figur 3-2. Förutom typområdesundersökningarna genomförde SKB en särskild studie av sprickzoner vid Finnsjön /SKB 2010a/.

Valet av områden för undersökningar baserades på de omfattande rekognoseringar och översiktliga bedömningar som pågått sedan mitten av 1970-talet. Totalt borrades 85 kärnborrhål med en sammanlagd längd av mer än 45 kilometer. Borrhålen undersöktes med hjälp av olika mätmetoder.



Figur 3-2. Platser i landet där undersökningar gjordes under perioden från mitten av 1970-talet till 1990 /SKB 2010a/.

Särskild omsorg lades på att bestämma bergets vattengenomsläpplighet och den kemiska sammansättningen av grundvattnet på stora djup. Resultaten från typområdesundersökningarna visade att det finns möjlighet att finna många platser i Sverige, där de geologiska förutsättningarna är lämpliga för att anlägga ett slutförvar.

3.4 Berglaboratorier i Stripa och på Äspö

Det omfattande arbetet med forskning, utveckling och demonstration av koncept och teknik för slutförvaring krävde testmöjligheter i realistisk miljö. Till en början utnyttjades berganläggningar vid Stripa gruva i Bergslagen Där utfördes under åren 1976–1992 utveckling av metoder för att undersöka och karaktärisera berggrunden. Vidare utfördes experiment för att studera bland annat bergmassans termomekaniska egenskaper samt funktionen hos bentonitbuffert, borrhålspluggar och tunnelpluggar. En stor del av arbetet utfördes i internationellt samarbete /Fairhurst et al. 1993, Gnirk 1993, Gray 1993/.

Åren kring 1990 etablerade SKB Äspölaboratoriet nära Simpevarp i Oskarshamn. Äspölaboratoriet har varit och är av central betydelse för utveckling, demonstration och test av KBS-metoden, undersökningsmetoder m.m. Under perioden 1986–90 utfördes omfattande geovetenskapliga förundersökningar innan tunneldrivningen för berglaboratoriet igångsattes /Gustafson et al. 1989, Almén och Zellman 1991, Wikberg et al. 1991, Gustafsson et al. 1991/. Laboratoriet togs i drift 1995. Planering, byggande och drift av Äspölaboratoriet har gett viktiga erfarenheter som använts vid platsundersökningarna och som utgör en grund för planeringen av slutförvarets uppförande och drift /Stanfors et al. 1997a, b, Rhén et al. 1997a, b, c/.

3.5 Slutsatser och riktlinjer för kommande lokaliseringsarbete

En huvudslutsats från typområdesundersökningarna och andra studier av berggrunden var att lämpliga respektive mindre lämpliga områden inte kan hänföras till någon särskild landsdel eller speciell geologisk miljö inom urbergsområdet. Det är i stället lokala förhållanden som har störst betydelse. En annan lärdom var som redan nämnts att lokaliseringsarbetet måste bygga på en acceptans och ett förtroende från dem som berörs lokalt. På flera håll väckte undersökningarna lokal opinion och protester. Att driva arbetet vidare i ett sådant lokalt samhällsklimat var för SKB:s del ingen framkomlig väg. Dessa slutsatser blev centrala utgångspunkter för det program för lokalisering av slutförvaret som togs fram i början av 1990-talet, och har sedan dessa varit vägledande för arbetet /SKB 1994/.

4 Förstudieskedet

Det egentliga arbetet för att finna lämpliga platser för slutförvaret inleddes när SKB hösten 1991 formerade ett lokaliseringsprojekt. Det blev inledningen på ett skede som bland annat innefattade förstudier där lokaliseringsförutsättningarna i åtta kommuner utreddes och som ledde till att de lokaliseringsalternativ som senare blev föremål för platsundersökningar kunde identifieras.

4.1 Inriktning och program

SKB redovisade sina planer för ett brett upplagt lokaliseringsarbete i Fud-program 92 /SKB 1992/. Baserat på kunskapen att det finns en betydande frihet att finna försvarsområden med lämpliga geologiska förhållanden menade SKB att det var rimligt och realistiskt att vända sig till kommuner som både kunde bedömas ha lämpliga förutsättningar och som själva önskade medverka, eller på annat sätt visade ett intresse, för att närmare utreda potentialen för en lokalisering.

FUD-program 92 kompletterades efter krav från regeringen /SKB 1994/, varefter regeringen i ett beslut 1995-05-18 /Regeringen 1995/ angav att ”de lokaliseringsfaktorer och kriterier som SKB anger bör vara en utgångspunkt för det fortsatta lokaliseringsarbetet”. Av regeringsbeslutet framgick vidare att ansökningarna om tillstånd att uppföra ett slutförvar för använt kärnbränsle bör innehålla material för jämförande bedömningar som visar att platsanknutna förstudier bedrivits på 5–10 platser i landet och att platsundersökningar bedrivits på minst två platser samt skälen för valet av dessa platser.

4.2 Förstudier

Under perioden 1992–2000 förde SKB mer eller mindre långtgående diskussioner om förstudier med ett tjugotal kommuner i olika delar av landet, se figur 4-1. I åtta fall, Storuman, Malå, Östhammar, Nyköping, Oskarshamn, Tierp, Älvkarleby och Hultsfred, ledde detta till att en förstudie genomfördes. I övriga fall avslutades diskussionen, antingen därför att SKB fann att en förstudie inte var motiverad, eller för att den aktuella kommunen valde att avstå.

Syftet med studierna var att bedöma om det fanns förutsättningar för vidare lokaliseringsstudier för ett slutförvar i den aktuella kommunen, samtidigt som kommunen och dess invånare gavs möjlighet att utan förpliktelser bilda sig en uppfattning om slutförvarsprojektet och en eventuell fortsatt medverkan. En huvuduppgift var att identifiera områden med berggrund som kunde vara lämpliga för ett slutförvar. Geologiska studier utgjorde därför en huvudkomponent. Studierna baserades på befintligt underlag, men några borrhningar utfördes inte. Även tekniska, miljömässiga och samhällsliga förutsättningar utreddes. Inom ramen för studierna hade SKB också en omfattande, aktiv dialog med såväl allmänhet som kommun och länsstyrelse.

Förstudierna genomfördes enligt det program och med de lokaliseringsfaktorer som redovisades i SKB:s komplettering till Fud-program 92, vilket innebar att framförallt följande frågor behandlades /Johansson 2006/.

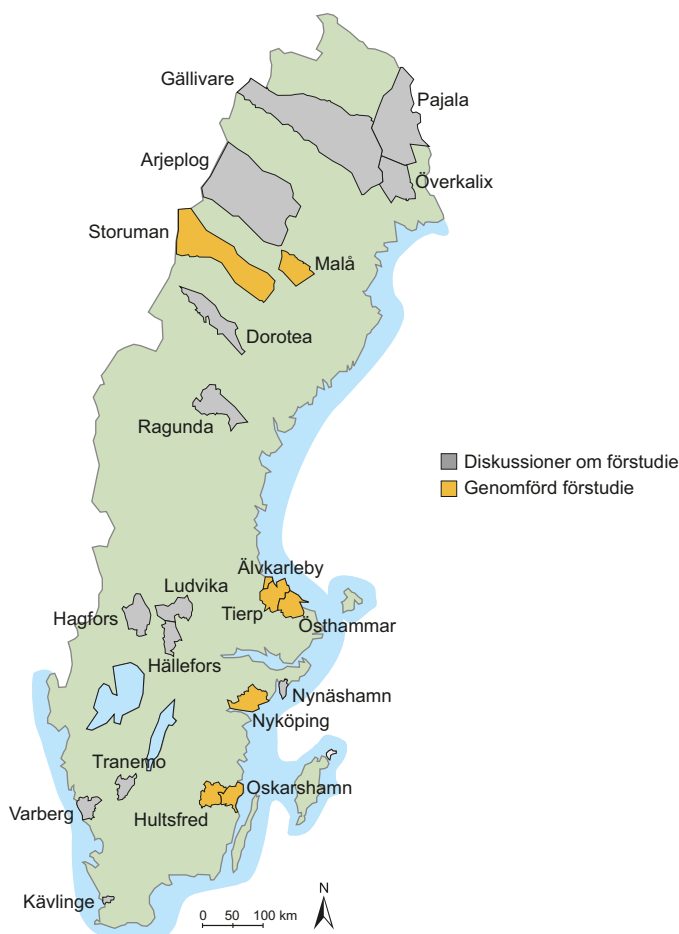
- Vilka är de allmänna förutsättningarna för lokalisering av ett slutförvar till kommunen?
- Var kan det finnas lämpliga platser för ett slutförvar med hänsyn till geovetenskapliga och samhällsliga förhållanden?
- Hur kan transporterna ordnas?
- Vilka är de viktiga miljö- och säkerhetsfrågorna?
- Vilka kan konsekvenserna bli, positiva och negativa, för miljö, ekonomi, turism och annat näringsliv inom kommunen och regionen?

Arbetsgången var i huvudsak följande:

- Kommunens generella förutsättningar med avseende på de angivna frågorna utreddes.
- Områden som inte hade tillräckligt goda möjligheter att uppfylla kraven på berggrunden uteslöts.
- En preliminär prioritering gjordes mellan de områden som kvarstod, utifrån en samlad bedömning där också tekniska och miljömässiga lokaliseringsförutsättningar vägdes in. Områden valdes för geologiska fältkontroller.
- Resultaten redovisades i en preliminär slutrapport, som tillsammans med övrigt utredningsmaterial remissbehandlades av kommunen.
- Geologiska fältkontroller och andra kompletteringar utfördes.
- Alla resultat sammanställdes, varvid synpunkter från remisshanteringen beaktades. Lokaliseringsalternativ värderades och prioriterades. Hela förstudien redovisades i en slutrapport.

De första förstudierna gjordes i Storumans /SKB 1995b/ och Malå kommuner /SKB 1996/, efter att dessa visat intresse och SKB:s preliminära bedömningar pekade på potentiellt gynnsamma förhållanden. Förstudierna bekräftade dessa bedömningar, men lokala folkomröstningar ledde i båda fallen till att fortsatt medverkan i lokaliseringsprocessen avvisades. I enlighet med utgångspunkterna för lokaliseringsarbetet uteslöt SKB därmed fortsatta studier i dessa kommuner.

Parallellt med de första förstudierna studerade SKB översiktligt förutsättningarna för att lokalisera slutförvaret till kommuner i landet som har kärntekniska anläggningar, det vill säga Oskarshamn, Nyköping, Östhammar, Varberg och Kävlinge /SKB 1995c/. För Oskarshamn, Nyköping och Östhammar var det geologiska underlaget omfattande och tydde på goda lokaliseringsmöjligheter. SKB föreslog och genomförde förstudier i dessa kommuner /SKB 2000a, b, c/. SKB förordade också en förstudie av Varbergs kommun, men kommunen avböjde. För Kävlinge kommun blev SKB:s bedömning att en förstudie inte var motiverad med hänsyn till bland annat de geologiska förutsättningarna.



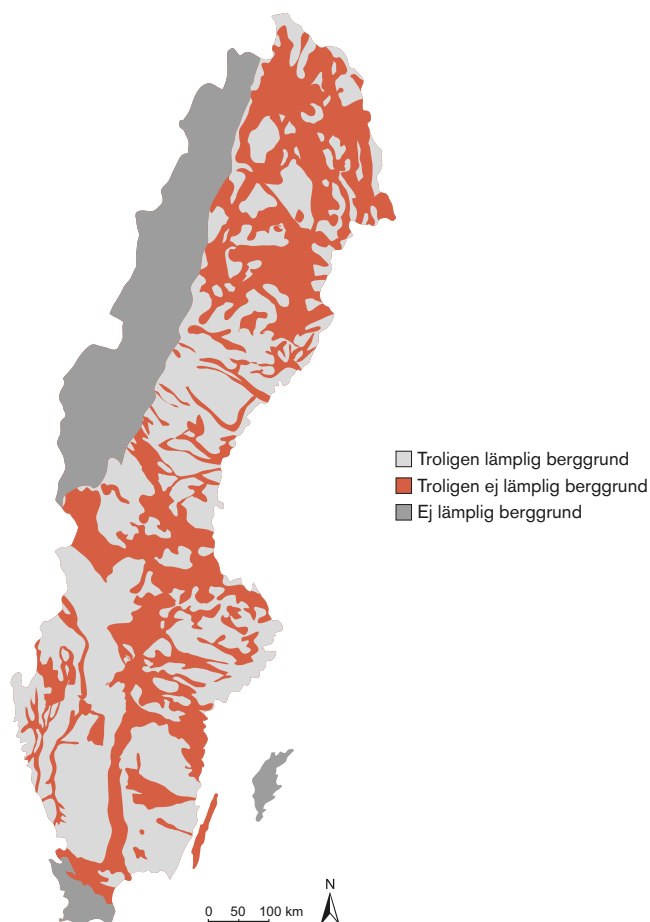
Figur 4-1. Kommuner där SKB genomfört eller fört diskussioner om en förstudie.

Ytterligare tre förstudier genomfördes, i Tierps /SKB 2000d/, Älvkarleby /SKB 2000e/ och Hultsfreds kommuner /SKB 2000f/, se figur 4-1. Motiven var, liksom för de tidigare, att SKB:s preliminära bedömningar pekade på potentiellt gynnsamma förutsättningar, i kombination med ett intresse från kommunerna.

4.3 Kompletterande studier

Parallellt med förstudierna och efter regeringens beslut med anledning av Fud-program 95 /SKB 1995a/ gjordes även andra lokaliseringstudier för att på olika sätt komplettera underlaget. I slutet av 1990-talet presenterade SKB länsvisa översiktsstudier för samtliga län (utom Gotland) /SKB 1998–1999/. Studierna fokuserade på den långsiktiga säkerheten och därmed på förhållandena i berggrunden, men omfattade även översiktliga kartläggningar av miljöfaktorer, befintlig industri och transportförutsättningar. Huvudslutsatsen var att det i samtliga studerade län finns berggrund som kunde motivera vidare studier rörande lokaliseringen av slutförvaret, se figur 4-2. Samtidigt identifierades stora områden som troligen är olämpliga.

Frågor om eventuella för- och nackdelar med att lokalisera slutförvaret till norra respektive södra Sverige, samt vid kusten respektive i inlandet utreddes särskilt /Leijon 1998/. Slutsatsen blev att dessa faktorer inte har någon avgörande betydelse. Bedömningar av lämpligheten måste istället grundas på konkreta studier av lokala förhållanden. Frågor om mera generella skillnader mellan kust- och inlandsalternativ har aktualiserats även i senare skeden, bland annat av dåvarande SKI (Statens Kärnkraftinspektion) och SSI (Statens Strålskyddsinstitut) i samband med valet av platser för platsundersökningar. Mer specifikt har det gällt huruvida långa strömningsvägar (och långa cirkulationstider) för grundvatten från inlandslägen kan ge fördelar ur säkerhetssynpunkt. Resultat och slutsatser av de analyser som SKB gjort med anledning av denna fråga behandlas i avsnitt 8.2.



Figur 4-2. SKB:s länsvisa översiktsstudier omfattade samtliga län utom Gotland. För varje län gjordes bland annat en grov indelning med avseende på berggrundens bedömda lämplighet för ett slutförvar.

4.4 Val av platser för platsundersökningar

4.4.1 Urvalsunderlag

Med resultaten från förstudierna och andra översiktliga studier som grund bedömde SKB år 2000 att underlaget fanns för att gå vidare till nästa fas av lokaliseringsarbetet, med platsundersökningar för prioriterade lokaliseringsalternativ. SKB redovisade platsval och program för platsundersöknings-skedet i den komplettering till Fud-program 2000 som presenterades hösten 2000 – den så kallade Fud K-rapporten /SKB 2000g/.

I Storuman och Malå hade lokala folkomröstningar efter förstudierna resulterat i att dessa kommuner avböjt fortsatt deltagande i lokaliseringsprocessen (avsnitt 4.2). Det underlag från vilket SKB kunde välja platser för fortsatta undersökningar omfattade därmed de sex kommunerna, Hultsfred, Oskarshamn, Nyköping, Tierp, Älvkarleby och Östhammar, se figur 4-1.

SKB konstaterade att det i alla dessa kommuner utom Älvkarleby fanns områden där berggrunden bedömdes som potentiellt lämplig för ett slutförvar. För Älvkarleby konstaterades att de geologiska förhållandena var alltför svårbedömda och att sannolikheten att hitta tillräckliga volymer med lämplig berggrund var alltför liten för att motivera fortsatta undersökningar. Beträffande de tekniska och miljömässiga förutsättningarna visade förstudierna genomgående på goda möjligheter. SKB gjorde även bedömningen att det i aktuella kommuner och regioner fanns möjligheter att få det stöd bland politiker och allmänhet som var nödvändigt för att kunna driva lokaliseringsarbetet vidare.

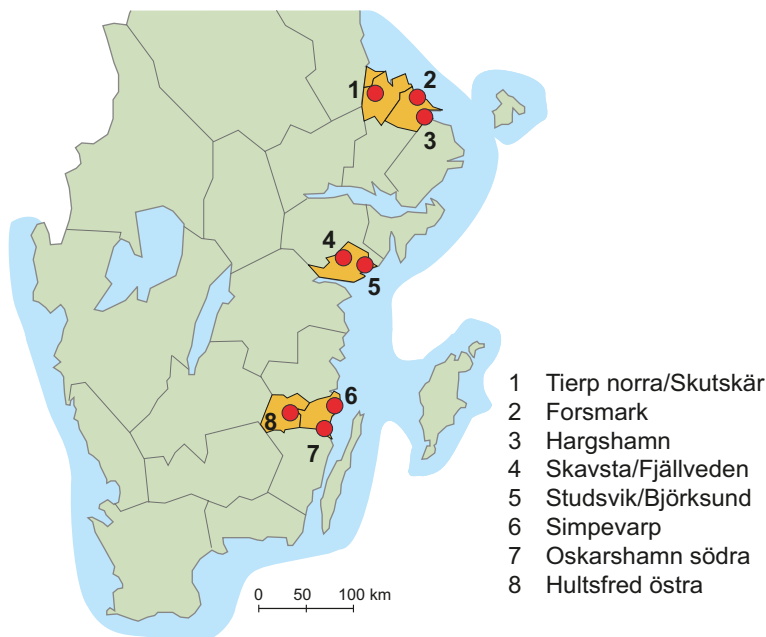
Förstudierna hade identifierat områden med potentiellt gynnsam berggrund samt gett översiktliga förslag till hur anläggnings- och transportfrågor kunde lösas för det fall att slutförvaret förlades till något av dessa områden. Arbetsgången för att få fram dessa resultat beskrivs i avsnitt 4.2. För att komma fram till lokaliseringsalternativ som kunde ingå i ett underlag för valet av platser för platsundersökningar värderades resultaten med avseende på:

- Berggrunden: Berggrundens egenskaper avgör förutsättningarna för långsiktig säkerhet och de tekniska förutsättningarna för att bygga och driva slutförvarets underjordsdelar. Säkerhetskraven och de krav dessa i sin tur ger på berget skiljer slutförvaret från andra berganläggningar.
- Industrietableringen: Slutförvarsprojektet måste kunna genomföras som industriprojekt betraktat. Det ställer krav på att bygge och drift ska kunna fungera väl rent tekniskt, att resurser finns tillgängliga och att alla krav på skydd och varsamhet mot människa och miljö kan uppfyllas. I dessa avseenden skiljer sig inte slutförvaret på något väsentligt sätt från annan industriverksamhet.
- Samhällsfrågan: För att slutförvarsprojektet ska bli genomfört krävs ett politiskt och opinionsmässigt stöd för detta. SKB måste bedöma det som sannolikt att den berörda kommunen samt miljödomstolen och regeringen kommer att acceptera lokaliseringen. I praktiken innebär det att det krävs ett brett förtroende i samhället för SKB och för kärnavfallsprogrammet.

Genomgången resulterade i att totalt åtta lokaliseringsalternativ identifierades, fördelade på fem kommuner. Värderade var för sig och ur alla aspekter bedömdes dessa tillräckligt lovande för att kunna rekommenderas för fortsatta studier. Figur 4-3 visar beteckningar och lägen, och tabell 4-1 sammanfattar alternativens grundläggande förutsättningar.

Frågan var då om dessa åtta alternativ gav ett underlag med tillräcklig bredd och kvalitet för att gå vidare och prioritera ett mindre antal för platsundersökningar. Denna fråga analyserades utifrån samma faktorer som låg till grund för värderingen av de enskilda lokaliseringsalternativen, dvs berggrundens egenskaper samt industriella, miljömässiga och samhällsliga förutsättningar.

I geologisk mening representerade platserna flera typer av urberg. I Norduppland finns i huvudsak gnejsgraniter (Forsmark och Hargshamn) och massiv av yngre granit (Tierp). I Nyköpings kommun dominerar gnejsgraniter och ådergnejsjer av sedimentärt ursprung. De identifierade alternativen i Oskarshamn och Hultsfred var belägna inom stora sammanhängande granitområden. Erfarenheter från undersökningar och säkerhetsanalyser av andra platser med i olika avseenden jämförbara geologiska miljöer var ett viktigt skäl till SKB:s bedömning att samtliga åtta identifierade alternativ gav gynnsamma geologiska förutsättningar. Den betydande geologiska bredden sågs som en tillgång mot bakgrund av att underlaget från förstudierna inte möjliggjorde någon rangordning av alternativen. SKB:s slutsats var att underlaget var fullt tillräckligt för att göra ett urval av platser för fortsatta undersökningar.



Figur 4-3. Urvalsunderlag inför platsundersökningsskedet. Förstudierna resulterade i åtta lokaliseringsoptioner som bedömdes tillräckligt lovande för att kunna rekommenderas för vidare studier. Alternativet Simpevarp inkluderade geografiskt även det område som under platsundersökningsskedet betecknats Laxemar (bearbetad efter figur 11-1 i /SKB 2000g/).

Tabell 4-1. Grundläggande förutsättningar för de åtta lokaliseringsoptionerna som utgjorde urvalsunderlaget /SKB 2000g/.

Lokaliseringsoption	Grundläggande förutsättningar (typ av berggrund, miljö för markförlagda anläggningar, transportförutsättningar för använt kärnbränsle)
Tierp norra/Skutskär Tierp och Älvkarleby kommuner	Stort granitmassiv norr om Tierps tätort Nyetablering på skogsmark Transporter på järnväg från Skutskärs hamn i Älvkarleby kommun
Forsmark Östhammars kommun	Gnejsgranit (tektonisk lins) sydost om Forsmarks kärnkraftverk Etablering på industrimark i anslutning till kärnkraftverket Transporter på väg från Forsmarks hamn
Hargshamn Östhammars kommun	Gnejsgranit (tektonisk lins) Troligen nyetablering på skogsmark nära Hargshamn Transporter på väg från hamnen i Hargshamn
Skavsta/Fjällveden Nyköpings kommun	Sedimentådergnejs i Fjällveden/Tunsätter-området norr om Nyköping Etablering eventuellt i anslutning till Skavsta flygplats Transporter på järnväg eller väg från Oxelösunds hamn
Studsvik/Björksund Nyköpings kommun	Gnejsgranit i kommunens östra kustområde, väster om Studsviksanläggningen Etablering i anslutning till Studsviksanläggningen Transporter på väg från Studsviks hamn
Simpevarp Oskarshamns kommun	Granit (smålandsgranit) mot väster från Simpevarpshalvön (inkluderar det område som nu betecknas Laxemar) Etablering på industrimark i anslutning till kärnkraftverket och Clab huvudalternativ Eventuellt kort vägtransport från planerad inkapslingsanläggning
Oskarshamn Södra Oskarshamns kommun	Granit (smålandsgranit) söder om Oskarshamn Etablering i anslutning till hamnen i Oskarshamn Transport på järnväg eller i tunnel från hamnen i Oskarshamn
Hultsfred östra Hultsfreds kommun	Granit (smålandsgranit) öster om Måilla Nyetablering på skogsmark Transport på järnväg från hamnen i Oskarshamn

Till grund för att värdera underlaget med avseende på industriella etableringsförutsättningar låg bland annat förslag på hur ett slutförvar kunde utformas på de utpekade platserna. Urvalsunderlaget innefattade alternativ med speciella förutsättningar i form av begränsade transportbehov, tillgång till industrimark och närhet till kärnteknisk industri. Detta var väsentligt eftersom dessa förhållanden ger uppenbara fördelar ur bland annat miljösynpunkt. Andra alternativ krävde större insatser för transporter eller etablering på plats, men även för dessa visade förstudierna på goda möjligheter att åstadkomma tekniskt och miljömässigt godtagbara lösningar.

Vad beträffar de samhälleliga förutsättningarna konstaterade SKB att de kommuner som ingick i urvalsunderlaget deltagit aktivt och engagerat i förstudiearbetet, samt att det fanns goda förutsättningar för fortsatt förtroende i en eventuell nästa fas. Samtidigt fanns ett mer eller mindre uttalat intresse även från andra kommuner i landet. SKB:s bedömning var dock att en utökning av underlaget inte skulle bidra till att ytterligare stärka stödet för slutförvarsprojektet från samhällets sida.

Med dessa resultat och överväganden som grund drog SKB följande slutsats beträffande urvalsunderlaget /SKB 2000g, s 185/:

”SKB anser att lokaliseringsarbetet ska gå vidare med platsundersökningar då urvalsunderlaget innehåller tillräckligt många alternativ för vilka förutsättningarna är goda att uppfylla säkerhetskraven och genomföra [slut]förvarsprojektet med samhällets stöd.”

4.4.2 Jämförande värdering och val

Nästa steg i processen var att göra en jämförande värdering och prioritering av de åtta lokaliseringsalternativ som utgjorde urvalsunderlaget. Värderingen utgick från den struktur för lokaliseringsfaktorer som använts under förstudierna. Parallellt med förstudierna hade också metodiken för utvärdering av det lokaliseringsunderlaget som genererades utvecklats, med stöd av aktuell kunskap från bland annat geovetenskaplig forskning och säkerhetsanalys /SKB 1999/. Metodiken presenterades i samband med att de sista förstudierna slutfördes /Andersson et al. 2000/ och i SKB:s samlade redovisning inför övergången till platsundersökningsskedet /SKB 2000g/. Då redovisades en uppsättning vägledande krav och önskemål för olika lokaliseringsfaktorer. Med *krav* avsågs – och avses – absoluta villkor som måste uppfyllas. Om ett krav inte kan uppfyllas för en plats, så innebär det också att platsen måste bedömas som olämplig. *Önskemål* avser förhållanden som bör, men inte måste, vara uppfyllda. Många önskemål kan formuleras och att uppfylla alla är inte realistiskt. Slutförvaret kan mycket väl visa sig vara säkert även om flera önskemål inte är uppfyllda, men ett uppfyllt önskemål kan ge fördelar i form av exempelvis större säkerhetsmarginaler, förenklad förvarskonstruktion eller lägre kostnader.

Uppsättningen av krav och önskemål var i första hand avsedd som verktyg för vägledning av de platsundersökningar som förutsågs och för att tydliggöra hur resultaten från undersökningarna skulle komma att värderas, se vidare kapitel 5. Delar av krav och önskemål kunde även användas som stöd vid den jämförande värderingen av alternativen i urvalsunderlaget från förstudierna. Samtliga alternativ bedömdes uppfylla de krav som kunde kontrolleras i detta skede och värderingarna handlade därför i huvudsak om att värdera osäkerheterna i dessa bedömningar samt i vad mån alternativen uppfyllde de önskemål som formulerats.

Berggrunden

Till varje lokaliseringsalternativ som ingick i urvalsunderlaget hörde ett område som bedömts ha potentiellt gynnsam berggrund för ett slutförvar. Bedömningarna grundade sig med få undantag på vad som kunnat observeras från markytan i kombination med generell kunskap. De hade därmed karaktären av prognoser av vad en platsundersökning kunde förväntas påvisa, och var behäftade med osäkerheter av olika art och grad. Den metodik för platsvärdering som tagits fram /Andersson et al. 2000/ omfattade ett flertal krav och önskemål på berggrunden. Vilka av dessa som var möjliga att beakta i förstudieskedet, och hur detta gjordes, sammanfattas i /SKB 2000g, tabell 11-1, s 151/.

Det begränsade underlaget medgav ingen rangordning av alternativen med avseende på de geologiska förutsättningarna att uppfylla säkerhetskraven. En rangordning skulle tvärtom riskera att bli missvisande, bland annat därför att kunskapsnivån och tillförlitligheten i tillgängliga data varierade från fall till fall. Den jämförande analysen fokuserades därför på att värdera kvalitén på underlaget samt identifiera plats specifika frågor och osäkerheter som bedömdes viktiga att klargöra vid en eventuell platsundersökning. Tabell 4-2 sammanfattar resultaten av dessa värderingar.

Tabell 4-2. Sammanfattning av underlag om berggrunden för inför valet av platser för platsundersökningar (från /SKB 2000g, tabell 12-1/).

Område	Utmärkande egenskaper	Dataunderlag	Viktiga frågor och osäkerheter
Forsmark	Gnejsgranit. Tektonisk lins med homogen, sprickfattig berggrund. Litet område.	Data från närliggande berganläggningar och borrhål. Relativt hög andel håll.	Omgivande skjuvzoners betydelse. Linsens utsträckning mot djupet och storlek av gynnsamt område på förvarsdjup. Förekomst av flacka sprickzoner. Höga bergspänningar. Berggrund med malmpotential mot djupet.
Hargshamn	Gnejsgranit. Tektonisk lins med homogen, sprickfattig berggrund. Relativt stort område.	Enbart ytdata. Relativt hög andel håll.	Läget i en tektonisk lins medför samma frågor som i Forsmark. Inga ytterligare platsspecifika frågor kan identifieras då underlaget är begränsat till ytdata.
Tierp	Isolerat massiv av yngre granit. Homogen berggrund med granitgångar. Flackt jordtäckt område. Få tolkade sprickzoner. Stort område.	Enbart ytdata. Få hållar.	Frekvens och vattengenomsläpplighet hos granitgångar. Granitens djupgående. Inga ytterligare platsspecifika frågor kan identifieras på grund av begränsade ytdata.
Björksund	Gnejsgranit. Homogen berggrund med låg sprickfrekvens. Området har relativt många sprickzoner. De har en dominerande riktning vilket ger bergblocken en långsmal form. Relativt stort område.	Enbart ytdata. Hög andel håll.	Storlek på gynnsamt område på förvarsdjup och slutförvarets anpassning till sprickzoner. Tillfartstunnel till slutförvaret måste passera flera regionala sprickzoner, kan ge byggtekniska problem. Inga ytterligare platsspecifika frågor kan identifieras då underlaget är begränsat till ytdata.
Fjällveden-Tunsätter	Sedimentådergnejs med inslag av gnejsgranit Homogen berggrund. Stort område.	Omfattande databas från typområde. Säkerhetsanalys. KBS-3 (god prognos). Relativt hög andel håll.	Förekomst, storlek och läge av lämpliga berggrundsblock utanför typområdet. Tillfartstunnel till slutförvaret måste passera flera regionala sprickzoner, kan ge byggtekniska problem.
Simpevarp	Stora sammanhängande massiv av yngre granit. Homogen berggrund med inslag av andra bergarter och gångar. Sprickzoner uppdelar berggrunden i tydliga bergblock. Stort område.	Omfattande data finns från Äspö och Laxemar. Relativt hög andel håll.	Storlek och läge av berggrundsblock med gynnsamma egenskaper på förvarsdjup. Förekomst och betydelse av granitiska gångar och sprickzoner, särskilt med avseende på vattengenomsläpplighet.
Oskarshamn södra	Stora sammanhängande massiv av yngre granit. Homogen berggrund med få granitiska gångar. Stort område.	Enbart ytdata. Relativt hög andel håll.	Storlek och läge av berggrundsblock med gynnsamma egenskaper på förvarsdjup. Inga ytterligare platsspecifika frågor kan identifieras då underlaget är begränsat till ytdata.
Hultsfred östra	Stora sammanhängande massiv av yngre granit. Homogen berggrund med få granitiska gångar. Stort område.	Enbart ytdata. Relativt hög andel håll.	Storlek och läge av berggrundsblock med gynnsamma egenskaper på förvarsdjup. Inga ytterligare platsspecifika frågor kan identifieras då underlaget är begränsat till ytdata.

Industriablering

Forstudierna gav ett översiktligt men heltäckande underlag om etableringsförutsättningar i form av miljöförhållanden, transportmöjligheter, marktillgång m m. Detta möjliggjorde jämförande värderingar och viss prioritering av lokaliseringalternativen i urvalsunderlaget.

De krav och önskemål som utarbetats för slutförvaret som industri redovisas i /SKB 2000g, tabell 10-7 och 10-8/. Samtliga alternativ uppfyllde som nämnts legala och andra grundläggande krav, varför jämförelserna till stor del avsåg alternativens för- och nackdelar i förhållande till önskemål.

Generellt värderades alternativ där befintlig industrimark kunde nyttjas högre än sådana där nya markområden behövde tas i anspråk. Ett läge med få konkurrerande markanvändningsintressen och/eller få markägare betraktades som gynnsamt. Lokaliseringsmöjligheter i anslutning till befintlig kärnteknisk verksamhet bedömdes ge särskilda fördelar. Önskemål om tillgång till lokala resurser för genomförandet av slutförvarsprojektet (arbetskraft, service etc) bedömdes vara väl uppfyllda för samtliga alternativ, och beaktades därför inte i värderingen. Möjligheterna att ordna slutförvarets transporter värderades också. Transportkedjor med få länkar, korta transportvägar och befintlig infrastruktur för transporter var faktorer som gav fördelar.

Tabell 4-3 sammanfattar de värderingar som gjordes av etableringsförutsättningar, samt särskilda för- och nackdelar, för de olika lokaliseringalternativen. De transportbehov som anges i tabellen avser inkapslat använt kärnbränsle. Transporter av återfyllnadsmaterial, bergmassor m m tillkommer.

Tabell 4-3. Sammanfattande värdering av lokaliseringförutsättningarna med avseende på etablering av slutförvaret, inför valet av platser för platsundersökningar (från /SKB 2000g, tab 12-2/).

Alternativ	Förutsättningar för etablering	Särskilda fördelar (+) och nackdelar (-)
Forsmark	Befintligt industriområde Hamn finns. Inga landtransporter utanför industriområde. Få markägare. Höga naturskyddsvärden.	+ Industriområde med kärnteknisk verksamhet. + Ringa miljöpåverkan. – Platsundersökningar i område med höga naturvärden.
Hargshamn	Befintligt industriområde, eller nyetablering. Hamn finns. Inga, eller korta, landtransporter utanför industriområde. Få markägare.	+ Bra hamn. – Osäkerhet om etableringsmöjlighet inom befintligt industriområde.
Tierp norra/Skutskär	Nyetablering av industriområde och transportanslutning (skogsmark). Plats ej preciserad. Hamn och ev anläggningsdelar i Skutskär. Landtransporter, befintlig järnväg och nyanlagd anslutning. Preliminärt få markägare.	+ Stort område – flexibilitet. + Hamn och industriområde i Skutskär. – Landtransporter. – Nyetablering av industriområde.
Studsvik Björksund	Befintligt industriområde. Hamn finns. Inga landtransporter utanför industriområde. Få markägare.	+ Industriområde med kärnteknisk verksamhet. + Liten miljöpåverkan. – Osäkerhet om natur- och kulturskyddsintressen. – Osäkerhet om marktillgång.
Skavsta/Fjällveden	Nyetablering av industriområde i Skavsta (mark avsedd för industri), samt mindre driftområde (Fjällveden, plats ej preciserad). Hamn i Oxelösund. Landtransporter – befintlig järnväg och nyanlagd anslutning förstahandsalternativ till Oxelösund – Skavsta, tunnel Skavsta-Fjällveden. Få markägare inom Fjällvedenområdet.	+ Bra hamn. – Nyetablering av industriområde och transportleder. – Betydande miljöingrepp. – Långt avstånd mellan anläggningsdelar.
Simpevarp	Befintligt industriområde förstahandsalternativ. Inga transporter utanför industriområde. Många markägare.	+ Industriområde med kärnteknisk verksamhet. + Inga transporter av inkapslat använt bränsle. + Ringa miljöpåverkan. – Många markägare kan beröras av platsundersökningar.
Oskarshamn södra	Befintligt industriområde eller nyetablering. Hamn finns. Inga, eller begränsade landtransporter utanför industriområde. Relativt få markägare.	+ Bra hamn. – Osäkerhet om tillgång till befintligt industriområde.
Hultsfred östra	Nyetablering av industriområde och transportanslutning (skogsmark). Plats ej preciserad. Hamn finns i Oskarshamn. Landtransporter, befintlig järnväg och nyanlagd anslutning. Relativt få markägare.	+ Stort område – flexibilitet. – Landtransporter. – Nyetablering av industriområde.

I den samlade värderingen och prioriteringen av lokaliseringalternativen med avseende på förutsättningarna för industrietablering konstaterade SKB bland annat /SKB 2000g, avsnitt 12.3.2/:

”Vad gäller miljöpåverkan bedömer SKB att slutförvarets etablering och drift kan utformas och bedrivs på ett miljömässigt godtagbart sätt för samtliga alternativ. Denna bedömning baseras på att verksamheten generellt ger liten miljöpåverkan jämfört med annan industri av motsvarande storlek”... ”En etablering vid Simpevarp ger den kortaste och enklaste hanteringskedjan eftersom det inkapslade bränslet kan köras direkt från inkapslingsanläggningen till slutförvaret utan omlastning. För de andra alternativen fordras omlastning och sjötransport samt i tre fall även landtransport. De lokaliseringalternativ som innefattar landtransport innebär nyanläggning av järnväg och att ny mark tas i anspråk för industriändamål.

SKB bedömer att en förläggning till områden där det redan finns kärnteknisk verksamhet är fördelaktig eftersom där finns infrastruktur som passar slutförvarets behov. Enligt SKB:s bedömning finns det två alternativ som ger uppenbara fördelar. Dessa är Forsmark och Simpevarp som båda har hamn, tillgång till industrimark och kärnteknisk verksamhet. Detta bedömer SKB ger särskilt goda förutsättningar att uppfylla miljöbalkens krav om att industrilokaliseringar ska ske så att ändamålet uppnås med minsta möjliga olägenhet och intrång. Landtransporter av använt kärnbränsle på allmänna vägar/järnvägar undviks med dessa alternativ.

För de övriga alternativen bedöms förutsättningarna för etablering av slutförvaret som jämförbara förutom för Fjällveden och Björksund där osäkerheterna bedöms som större än för de andra alternativen.”

Samhälle

De krav och önskemål som identifierats med avseende på samhällsförutsättningar som måste vara uppfyllda för att en etablering av slutförvaret ska vara möjlig redovisas i /SKB 2000g, tabell 10-10, s 144/ SKB konstaterade att många av dessa var svåra att tillämpa mot bakgrund av tidsperspektivet för lokaliseringsprocessen och möjliga förändringar av förutsättningarna. Kravet på förtroende på lokal nivå var den faktor som tillmättes störst betydelse inför valet av alternativ för platsundersökningar. Vidare noterades en osäkerhet beträffande acceptansen för landtransporter av radioaktivt avfall på allmänna kommunikationsleder.

Den jämförande värderingen av alternativen resulterade i följande slutsatser /SKB 2000g, avsnitt 12.3.3/:

”SKB bedömer att det i samtliga förstudiekommuner som ingår i urvalsunderlaget finns ett stöd bland folkvalda och allmänhet som ger goda förutsättningar för att gå vidare med platsundersökningar. Denna bedömning grundar sig bland annat på de opinionsundersökningar som gjorts för SKB:s räkning.

SKB anser att lokaliseringalternativen med avseende på samhällsförutsättningar kan rangordnas, såtillvida att Simpevarp och Forsmark ger bättre förutsättningar än övriga. Ett skäl för detta är att förtroendet för SKB:s verksamhet bedöms vara mest stabilt på de orter där det sedan länge finns kärnteknisk verksamhet. Ett stabilt lokalt förtroende, vunnet genom praktisk handling, ses som en positiv faktor som kan stärka möjligheterna att genomföra slutförvarsprojektet både på kort och lång sikt.

Vidare konstaterar SKB att en förläggning av slutförvaret till Forsmark eller Simpevarp av många betraktas som naturliga val. Ett vanligt argument för detta är att under förutsättning att säkerhetskraven kan uppfyllas, och att man kan lita på de instanser som har att bedöma detta, så är det svårt att se några rationella argument för andra val än de platser där det redan finns kärntekniska anläggningar. Ett undantag är Studsvik/Björksund där flera remissinstanser fört fram kritiska synpunkter.

Övriga lokaliseringalternativ innebär etablering till orter som inte har kärnteknisk verksamhet. SKB:s uppfattning är att detta kräver en längre diskussion i den aktuella kommunen och bland närboende för att avgöra inställningen till en sådan verksamhet. Mot bakgrund av resultat från opinionsundersökningar och det intresse som folkvalda och allmänhet visat under förstudierna menar SKB att stödet är tillräckligt för att gå vidare med platsundersökningar. Det är först om cirka åtta år som kommunen och berörda behöver ta ställning till en eventuell etablering. Det finns därför god tid till att sätta sig in i frågan.”

Val av platser för platsundersökningar

SKB:s strategi för valet av platser för platsundersökningar utgick från det övergripande målet att efter genomförda platsundersökningar kunna redovisa en plats som uppfyllde alla krav för en etablering av slutförvaret. De alternativ som fanns med i urvalsunderlaget visade alla på goda förutsättningar. Samtidigt fanns det för samtliga alternativ kvarstående frågor som måste besvaras innan lämpligheten kunde fastslås. Osäkerheterna gällde framförallt berggrunden, där data från förvarsdjup i de flesta fall saknades och bedömningarna var preliminära. Det kunde därför inte uteslutas att provborringar kunde komma att visa på sådana förhållanden att en plats måste överges. För SKB innebar detta att programmet för platsundersökningsskedet måste vara så robust att negativa resultat från en platsundersökning eller andra förändringar av lokaliseringsförutsättningarna kunde hanteras, utan att det övergripande målet äventyrades. Det talade för ett brett program med undersökningar på flera platser, eftersom sannolikheten att åtminstone någon plats till slut visar sig uppfylla kraven borde öka med antalet alternativ. Detta måste dock vägas mot kraven på rimliga insatser av resurser och tid.

Med dessa överväganden och de redovisade värderingarna av alternativen som grund konstaterade SKB först att /SKB 2000g, avsnitt 12.4/:

”...Forsmark och Simpevarp har tydliga fördelar ur etablerings- och samhällssynpunkt. De har även god prognos när det gäller berggrunden. Med dessa förutsättningar är det svårt att se några argument för att inte gå vidare med dessa alternativ. SKB:s slutsats är således att dessa två alternativ måste finnas med i nästa skede.”

Forsmark och Simpevarp framstod alltså som ur alla aspekter givna för platsundersökningar. Ett program med den omfattningen skulle också tillgodose den förväntan som regeringen gett uttryck för att lokaliseringsunderlaget skulle inkludera material från platsundersökningar på minst två platser /Regeringen 1995/. SKB ansåg dock att kravet på robusthet motiverade ett bredare program, med fortsatta studier av ytterligare alternativ som visade på goda förutsättningar men andra förhållanden än Forsmark och Simpevarp. I första hand gällde det platser som representerade andra geologiska förhållanden samt låg i andra kommuner. SKB gjorde då följande bedömning av de tillgängliga alternativen /SKB 2000g, avsnitt 12.4/:

”Av lokaliseringsalternativen är det Tierp norra och Fjällveden som kan bidra till större bredd på det geologiska underlaget. Dessa bör därför enligt SKB:s mening ingå bland de alternativ som studeras vidare. Tierp norra ger, tillsammans med Skutskär, goda industriella etableringsmöjligheter. SKB bedömer detta alternativ som fullt realistiskt ur alla aspekter. För Fjällveden finns en större grad av osäkerhet vad beträffar genomförbarheten.

Övriga lokaliseringsalternativ erbjuder inte några uppenbara fördelar ur aspekten geologisk bredd. Det finns emellertid inga vägande skäl att i detta skede vare sig avskryva eller påbörja platsundersökningar för något av dessa alternativ. Hargshamn är det främsta alternativet om platsundersökningar i Forsmark inte skulle kunna påbörjas eller om undersökningarna visar att berggrunden inte klarar kraven. På motsvarande sätt utgör Oskarshamn södra och Hultsfred möjliga alternativ till Simpevarp.”

SKB drog av detta slutsatsen att en platsundersökning var motiverad även i det aktuella granitområdet i Tierps kommun. För alternativet Fjällveden gällde osäkerheterna i första hand transportförhållanden och andra industriella etableringsförutsättningar. Data om berggrunden i det aktuella området fanns tillgängliga från borringar som gjordes under 1980-talet. SKB:s plan för alternativet Fjällveden var därför att utreda genomförbarheten av en etablering vidare samt att utvärdera befintligt geovetenskapligt underlag med hjälp av modern metodik för säkerhetsanalys.

Sammanfattningsvis omfattade SKB:s program för platsundersökningsskedet därmed följande:

- En platsundersökning i Forsmarksområdet i Östhammars kommun.
- En platsundersökning i Simpevarpsområdet (inklusive det område som senare kommit att betecknas Laxemar) i Oskarshamns kommun.
- En platsundersökning i ett område i norra delen av Tierps kommun.
- Fortsatt utredning av lokaliseringsförutsättningarna i Fjällvedenområdet i Nyköpings kommun.

4.4.3 Beslutsprocessen inför platsundersökningsskedet

SKB redovisade valet av platser samt ett översiktligt program för platsundersökningsskedet i den kompletterande redovisningen till Fud-program 98 /SKB 2000g/. Programmet blev därmed föremål för myndighetsgranskning och regeringsbeslut i enlighet med den etablerade hanteringsgången för Fud-programmen. Vidare hade SKB klargjort att platsundersökningarna förutsatte de berörda kommunernas samtycke.

Dåvarande Statens kärnkraftinspektion (SKI) sammanfattade i sitt yttrande över Fud-kompletteringen till regeringen dels vad remissinstanserna anfört, dels sin egen bedömning av SKB:s val av områden för platsundersökningar. I /SKI 2001, s 49–50/ redovisade SKI följande sammanfattande bedömning av SKB:s val av platser för platsundersökningar:

”SKI konstaterar att SKB har genomfört förstudier i sex kommuner (totalt åtta inkluderande Storuman och Malå) som tillsammans ger en bred täckning av geologiska och andra geovetenskapliga egenskaper som kan förväntas i svenskt urberg. SKI anser därmed att SKB har presenterat ett tillräckligt urvalsunderlag för val av platser för lokalisering av ett slutförvar och för inledande av platsundersökningar.

SKI anser att SKB har visat, så långt det är möjligt utifrån förstudierna, att lokaliseringsalternativen (västra) Simpevarp i Oskarshamns kommun, Forsmark i Östhammars kommun och Tierp norra i Tierps kommun har förutsättningar att uppfylla myndigheternas säkerhets- och strålskyddskrav. SKI anser också att det är rimligt att ta hänsyn till de fördelar som Simpevarp och Forsmark erbjuder vad gäller industrietablering och samhällsfrågor på det sätt som SKB gjort i sitt val. SKI stödjer därför SKB:s önskan att påbörja platsundersökningar i dessa två områden.

Vad gäller valet av Tierp norra, utan direkt anknäring till en kärnteknisk anläggning, anser SKI med stöd av flera remissinstanser att det finns svagheter i motiveringarna. SKB anger som huvudskäl för valet av Tierp norra att detta alternativ tillför en större geologisk bredd på underlaget. SKI anser dock att SKB bättre bör motivera på vilket sätt Tierp skiljer sig från övriga alternativ i detta avseende. SKB:s förtydligande av motiven för valet av Tierp norra bör ske i det samrådsförfarande som regeringen beslutade om 19 december 1996. SKI har emellertid inga invändningar mot att platsundersökningar genomförs också i Tierp.

SKI vill också framhålla att det finns andra faktorer än berggrundsgeologi som kan tillföra en geovetenskaplig bredd. Erfarenheterna från säkerhetsanalyser visar t.ex. att de hydrogeologiska och geokemiska förhållandena är av stor betydelse för den långsiktiga säkerheten. SKI rekommenderar därför SKB att Hultsfred inte avförs från programmet förrän frågor rörande inströmning/utströmning och salthalter m.m. utretts vidare.

Därutöver har SSI pekat på brister i redovisningen av SKB:s platsval vad gäller biosfärsfrågor, t.ex. utspädning och ackumuleringseffekter i ekosystem, och deras betydelse för långsiktigt strålskydd och säkerhet.”

SKI samtyckte alltså till SKB:s val av platser, och hade i tillägg synpunkter som rörde betydelsen av geografiskt läge i relation till grundvattenströmning och geokemiska förhållanden.

Även KASAM (Statens råd för kärnavfallsfrågor) lämnade ett yttrande till regeringen /KASAM 2001/. KASAM stödde SKB:s val av platser för platsundersökningar och i huvudsak även argumenten för dessa val. Kort innan KASAM redovisade sitt yttrande hade Nyköpings kommun tillkännagivit sin avsikt att inte låta SKB fortsätta med undersökningar i kommunen. Ett skäl som kommunen angav för beslutet var det vänteläge och den oklara roll som skulle råda för Nyköpings fall under den tid som SKB utförde platsundersökningar i Tierp, Östhammar och Oskarshamn eftersom det var först efter genomförandet av dessa platsundersökningar som kommunen kunde få besked om SKB fortfarande var intresserade av att slutförvara kärnavfall i kommunen /SOU 2002, s 204/. Beslutet innebar att alternativet Fjällveden inte längre var aktuellt. Mot denna bakgrund menade KASAM att möjligheten att tillföra något ytterligare alternativ till lokaliseringsunderlaget, då med berggrund liknande Fjällvedenområdets, borde provas.

Den 1 november 2001 fattade regeringen beslut i ärendet som innebar klartecken för SKB att fortsätta arbetet enligt den redovisning som lämnats /Regeringen 2001/. Regeringen hade inget att invända mot att SKB inledde platsundersökningar inom de tre områdena Simpevarp, Forsmark och Tierp norra och utgick från att SKB övervägde de synpunkter som framkommit under granskningen av SKB:s underlag för valet av platser. För Nyköpings del konstaterade regeringen att SKB:s program saknade aktualitet eftersom kommunen redan avböjt vidare medverkan i lokaliseringsprocessen. Regeringen gjorde också bedömningen att KBS-3-metoden skulle användas som planeringsförutsättning för platsundersökningarna.

I och med regeringens klartecken för platsundersökningar återstod ställningstaganden från de berörda kommunerna. I Östhammar beslöt kommunfullmäktige i december 2001 att samtycka till en platsundersökning vid Forsmark. Motsvarande beslut angående en platsundersökning vid Simpevarp fattades av kommunfullmäktige i Oskarshamn i mars 2002. Tierps kommun avböjde däremot i april 2002 fortsatt medverkan i lokaliseringsprocessen för slutförvaret. Grannkommunen Älvkarleby, som skulle beröras av transporter till ett eventuellt slutförvar i Tierp, ställde sig positiva till att platsundersökningen genomfördes.

Utfallet av beslutsprocessen blev alltså att SKB kunde inleda platsundersökningar i Simpevarp och Forsmark. SKB såg detta som ett fullt godtagbart underlag för att fortsätta lokaliseringsarbetet.

5 Platsundersökningsskedet

Besluten under 2001 och 2002 som gav klartecken för platsundersökningar i Oskarshamn och Forsmark markerade också övergången från förstudieskedet till platsundersökningsskedet. En samlad redovisning av programmet för platsundersökningsskedet gavs i Fud-K /SKB 2000g/. Detta kapitel sammanfattar genomförandet av platsundersökningarna och viktiga resultat. Platserna och resultaten redovisas även i miljökonsekvensbeskrivningen /SKB 2011b/. Hur verksamheten under platsundersökningsskedet i sin helhet organiserades och styrdes beskrivs i Bilaga VP.

5.1 Inriktning och program

Det övergripande målet med platsundersökningsskedet har varit att upprätta ansökningar med underlag för tillståndsprövning enligt kärntekniklagen för slutförvaret och enligt miljöbalken för KBS-3-systemet. Detta har krävt undersökningar som gett underlag, tillräckligt omfattande för att:

- visa om den valda platsen uppfyller grundläggande säkerhetskrav och om byggtekniska förutsättningar är uppfyllda,
- möjliggöra jämförelser mellan de undersökta områdena i Forsmark och Oskarshamn som underlag för val av plats för slutförvaret,
- kunna ligga till grund för anpassning av slutförvaret till platsens förutsättningar och egenskaper med acceptabel inverkan på miljö och samhälle.

När alla beslut som krävdes för att inleda platsundersökningarna förelåg hade de tekniska förberedelserna pågått i många år och redovisats i en serie rapporter. I /SKB 2000h/ redovisades vilken typ av information som SKB avsåg att samla in på plats och hur informationen skulle användas för att utvärdera platsens lämplighet för ett slutförvar. /SKB 2001a/ gav en fördjupad och mer detaljerad beskrivning av planerna för undersökningar av berggrunden och de ytnära ekosystemen. Där preciserades vad som skulle eller kunde mätas, vilka metoder som skulle användas och hur platsbeskrivande modeller skulle upprättas. De geovetenskapliga delarna av programmet utgick från de krav och önskemål på berget som SKB formulerat i /Andersson et al. 2000/. Baserat på dessa generella program upprättade SKB platsspecifika undersökningsprogram för Forsmark /SKB 2001b/ respektive Simpevarp /SKB 2001c/. Ambitionen var att den platsspecifika informationen skulle vara tillräcklig för den platsbeskrivande redovisningen och säkerhetsanalysen. Programmen granskades av myndigheterna inom ramen för den samrådsprocess som etablerades i enlighet med vad regeringen anförde i sina beslut över Fud-program 95 /Regeringen 1996/ och Fud-K /Regeringen 2001/.

Som en följd av de delvis branschunika behoven har strategier, metoder och instrument för ytbaserade undersökningar utvecklats och tillämpats allt sedan starten av kärnavfallsprogrammet. Grunden lades under typområdesundersökningarna och tekniken uppdaterades inför byggandet av Äspölaboratoriet. Inför platsundersökningarna utvecklades och förbättrades undersöknings- och analysmetoder ytterligare. Platsundersökningarna kunde därför starta utifrån gedigen kunskap om geovetenskapliga undersökningar. Ämnesområdet ytnära ekosystem ingick varken i typområdesundersökningarna eller i undersökningarna för att bygga Äspölaboratoriet. Inför platsundersökningarna utfördes därför ett omfattande arbete för att identifiera vilka förhållanden och egenskaper hos de ytnära ekosystemen som behövde bestämmas, tänkbara karakteriseringsmetoder och lämpliga modellverktyg /Lindborg och Kautsky 2000, SKB 2001a/.

5.2 Arbetsmetodik

Arbetet under platsundersökningsskedet bedrevs i projektform. De viktigaste aktiviteterna var:

- att genomföra undersökningar i Oskarshamn,
- att genomföra undersökningar i Forsmark,

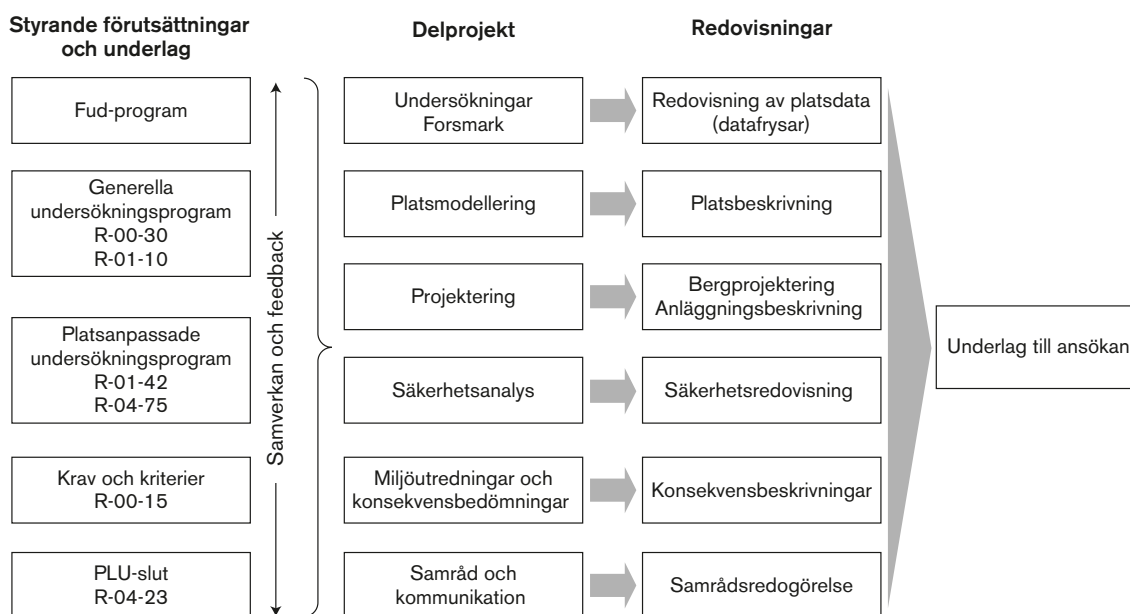
- att ta fram beskrivningar av de undersökta platserna, som grund för platsanpassade förvarslösningar, säkerhetsanalyser samt miljöutredningar och konsekvensbedömningar,
- att projektera anläggningar, system och infrastruktur för slutförvar på de undersökta platserna, till en nivå som ger underlag för de anläggningsbeskrivningar och säkerhetsanalyser som ska ingå i ansökan,
- att ta fram säkerhetsredovisningar för slutförvarets långsiktiga säkerhet och drift (inklusive transporter) av anläggningen på de undersökta platserna,
- att genomföra utredningar som underlag för att bedöma inverkan på miljö, hälsa och samhälle av planerade anläggningar och verksamheter,
- att genomföra föreskrivna samråd och övrig kommunikation med berörda parter och allmänhet,
- att utarbeta ett program för byggskedet,
- att ta fram den miljökonsekvensbeskrivning som ska åtfölja ansökan.

I slutfasen av platsundersökningsskedet gjordes en samlad utvärdering av allt underlag för att kunna:

- välja en plats för slutförvaret och motivera detta val,
- sammanställa tillståndsansökan.

Figur 5-1 visar, med Forsmark som exempel, kopplingarna mellan de viktigaste delprojekten och styrningen av informationsflödet.

Projektet genomfördes i två huvudetapper – inledande platsundersökning (IPLU) respektive komplett platsundersökning (KPLU). På motsvarande sätt har utformningen av ett platsanpassat förvar gjorts i två etapper, benämnda D1 respektive D2. Efter den inledande etappen gjordes en utvärdering, en preliminär säkerhetsbedömning av respektive plats, som bland annat innefattade att insamlade data om förhållandena på plats jämfördes med i förväg uppställda kriterier /Andersson et al. 2000/. Ett väsentligt mål var att utvärdera den bedömning som hade motiverat valen av kandidatplatser, det vill säga att säkerställa att dessa har goda förutsättningar att uppfylla kraven för ett slutförvar. Ett annat mål var att ge återkoppling till de fortsatta undersökningarna och arbetet med förvarsutformningen samt att identifiera geovetenskapliga frågeställningar som kunde behöva uppmärksammas särskilt i det fortsatta arbetet.



Figur 5-1. Förenklad bild av informationsflödet under platsundersökningsskedet med Forsmark som exempel (siffrorna i den vänstra spalten hänvisar till relevanta SKB-rapporter).

5.2.1 Undersökningar, platsmodellering, projektering och säkerhetsanalys

Merparten av arbetet under platsundersökningsskedet har skett inom fyra tekniska huvudaktiviteter: undersökningar, platsmodellering, projektering och säkerhetsanalys.

Undersökningar

Undersökningarna från ytan och luften har omfattat kartläggning av biosfär och geologiska förhållanden samt geofysiska undersökningar. Berggrunden på djupet har undersökts med borrhål, många ner till förvarsdjup eller djupare. Omfattande mätningar har genomförts i borrhålen. Undersökningar av biosfären, främst meteorologi och ytvatten, har gjorts återkommande, vilket gett långa tidsserier. Undersökningsmetodiken har varit densamma vid båda platserna. Men med hänsyn till de frågeställningar som var aktuella vid respektive plats utarbetades platsspecifika undersökningsprogram. Ett viktigt exempel på en platsspecifik anpassning är val av läge för olika borrhål.

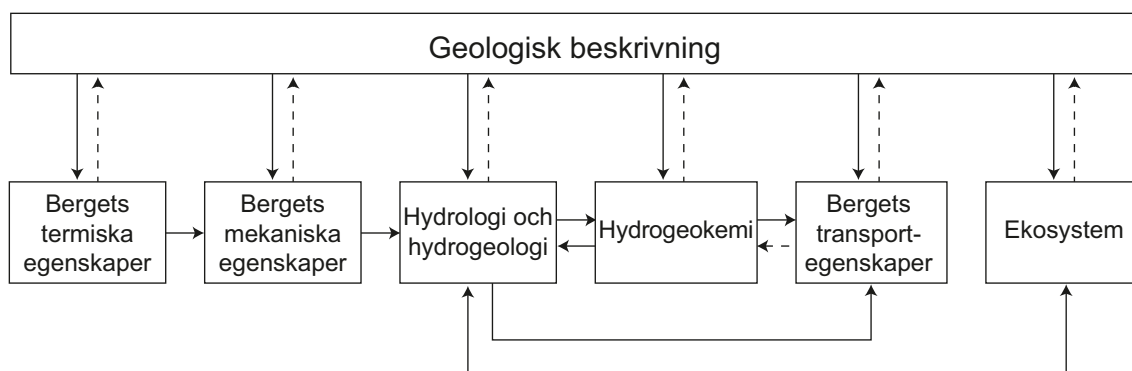
Platsundersökningarna genomfördes i steg med undersökningar och redovisning av platsdata (datafrysar) följda av analyser och återkoppling. Ett sådant iterativt arbetssätt var nödvändigt för att överblicka kunskapsläget och fortlöpande kunna styra insatserna så att undersökningarna fokuserades på frågor där platsmodellerna visade på ytterligare informationsbehov.

Platsmodellering

Informationen från undersökningarna har analyserats och tolkats till en användbar beskrivning av platsen. Denna platsbeskrivning med tillhörande modeller är nödvändig för att förstå hur ett slutförvar skulle påverka miljön runt platsen på kort och på lång sikt. Den är ett nödvändigt underlag för projektering och säkerhetsanalys. Platsmodelleringen görs såväl ämnesspecifikt som integrerat över ämnesområden. Resultatet blir en tredimensionell platsbeskrivande modell av berg, mark och biosfär, se figur 5-2.

Förenklat handlar platsmodellering om att förstå platsens egenskaper samt tolka och överföra den punktvisa informationen från platsundersökningarna i form av mätvärden, till att gälla för ytor och volymer. Värderingar av osäkerheter i enskilda parametervärden samt bedömningar av rimligheten i geometriska indelningar är viktiga moment i arbetet. Generell bakgrundskunskap och data från andra undersökta platser ger stöd för analyserna.

Utgångspunkten vid platsmodelleringen är berggrundens litologiska uppbyggnad (fördelningen av bergarter) samt förekomsten av partier med deformerat berg. Detta redovisas i den geologiska beskrivningen, som omfattar fördelningar av bergarter och deras egenskaper samt deformationszonernas läge, geometri och egenskaper. Utifrån den geologiska beskrivningen kan motsvarande modeller för övriga ämnesområden byggas upp. Berggrundens mekaniska och termiska egenskaper är till exempel nära kopplade till bergarternas sammansättning och förekomsten av sprickor. På motsvarande sätt är fördelningen av bergspänningar kopplad till de mekaniska egenskaperna hos bergarter och deformationszoner.



Figur 5-2. De ämnesspecifika platsmodellerna är kopplade till varandra. Den geologiska beskrivningen utgör grunden för övriga modeller.

Berggrundens sprickstruktur är också basen för den hydrogeologiska modellen. Det är bara de sprickor som har så hög vattengenomsläpplighet att grundvattnet i berget kan röra sig som har betydelse. Vattnets rörelsemönster, uppehållstider och flöden beror på hur genomsläppliga sprickorna är, hur de är sammanlänkade samt vilken drivkraft grundvattnet utsätts för. Genom att undersöka vilka mineral som sprickornas ytor är täckta med kan man också få en uppfattning om vilka kemiska förhållanden som har rått under olika tidsperioder samt uppskatta vilken förmåga berget har att bromsa upp transporten av radionuklider. Man kan se under vilka perioder syrerikt vatten har trängt ner i berggrunden och hur djupt det har nått.

Projektering

I projekteringen har ingått att ta fram en platsanpassad utformning för förvaret och en anläggningsbeskrivning. Arbetet har utgått från den platsbeskrivande modellen. Projekteringen har även omfattat bedömningar av konsekvenserna av anläggningsarbetena.

Projekteringen har genomförts i två steg. Efter den inledande platsundersökningen och baserat på den då framtagna preliminära platsbeskrivningen utvecklades preliminära layouter (layout D1). Syftet med detta preliminära projekteringsarbete var bland annat att /SKB 2004a/:

- pröva och utvärdera projekteringsmetodikerna,
- värdera om slutförvaret kan rymmas på den undersökta platsen,
- identifiera platsspecifika kritiska frågor och därmed ge återkoppling till det fortsatta undersökning- och utvecklingsarbetet,
- ge underlag till preliminära säkerhetsbedömningar och till säkerhetsanalysen SR-Can /SKB 2006a/.

Efter den kompletta platsundersökningen togs anläggningsutformningar fram för respektive plats (layout D2). Målen för detta projekteringssteg var bland annat att /SKB 2007/:

- visa en platsspecifik anpassning av förvaret som uppfyller konstruktionsförutsättningar avseende säkerhet, funktionalitet och tillförlitlighet,
- påvisa genomförbarhet och effektivitet för en stegvis utbyggnad av förvaret,
- identifiera och värdera platsspecifika tekniska risker och behov av att möta dessa i nästa projekteringssteg,
- ge underlag för miljökonsekvensbeskrivning och säkerhetsanalys.

Säkerhetsbedömningar och säkerhetsanalys

I säkerhetsanalyserna har den långsiktiga säkerheten utvärderats utifrån den platsbeskrivande modellen och den föreslagna utformningen av förvaret. En första värdering gjordes efter den inledande platsundersökningen med så kallade preliminära säkerhetsbedömningar. Målen var att med begränsade insatser värdera om förstudien bedömning om kandidatområdet lämplighet ur säkerhetssynpunkt kvarstod i ljuset av då tillgängliga platsundersökningsdata, att ge återkoppling till det fortsatta arbetet med förvarsutformningen samt att identifiera platsspecifika frågor som kunde behöva belysas. Säkerhetsbedömningen innebar främst att kunskap om platsen jämfördes med de krav och önskemål som SKB tidigare presenterat /Andersson et al. 2000/.

En betydligt mer omfattande analys av säkerheten för ett förvar i Forsmark respektive Laxemar gjordes i säkerhetsanalysen SR-Can /SKB 2006a/. Även SR-Can baserades på data från den inledande platsundersökningen och motsvarande platsbeskrivningar.

De platsjämförande värderingar av säkerheten som utgör underlag för valet av Forsmark (redovisas i kapitel 6 och 7) baserades på resultaten från den kompletta platsundersökningen.

5.2.2 Miljöutredningar

Data från undersökningarna har tillsammans med projekteringsresultaten gett underlag för att utreda miljöfrågor och bedöma miljöpåverkan under projektets olika skeden. Utredningarna beskriver bland annat konsekvenserna av bygge, drift och transporter för boendemiljö och hälsa, natur- och kulturmiljö, landskapsbild, rekreation och friluftsliv. Utredningarna omfattar också skadeförebyggande åtgärder och kompensationsåtgärder för att minimera påverkan.

5.2.3 Kvalitetskontroll och granskning

Data från platsundersökningarna har genomgått en omfattande kvalitetskontroll innan de lagts in i SKB:s databaser. I samband med platsmodelleringen gjordes regelmässigt rimlighetskontroller av använda data. Detta har varit en nödvändig förutsättning för att säkerställa god kvalitet i den slutliga modellen. Ett exempel är upptäckten av ett icke-systematiskt fel i data för borrhålens och borkärnornas orientering, som ledde till omfattande revideringar av analysarbetet.

Innan rapporter från undersökningarna publicerats har de granskats internt inom SKB. De viktigaste har på uppdrag av SKB även granskats av en fristående grupp (SIERG) med internationellt erkända experter. Detta granskningsförfarande, i form av så kallad ”peer review”, har varit en väsentlig del i kvalitetssäkringen av platsbeskrivningar och platsmodeller och har i hög grad bidragit till att rapporter och andra dokument har nått den kvalitet som SKB eftersträvar.

När rapporterna väl har publicerats, har många av dem dessutom granskats av myndigheternas internationella granskningsgrupper: SKI:s granskningsgrupp INSITE /Chapman et al. 2005/ och SSI:s OVERSITE. Vid sidan av detta har SKB:s planer och pågående arbete presenterats för myndigheterna och deras granskningsgrupper vid arbetsmöten ungefär två gånger om året.

5.2.4 Information och samråd

Ansvar för att genomföra de två platsundersökningarna har inom SKB legat på två separata platsorganisationer. Dessa har också haft ansvaret för lokal informations- och kontaktverksamhet. En stor mängd besökare av alla kategorier har på plats tagit del av verksamheten. Stor vikt har lagts vid kontakterna med markägare och närboende som direkt berörs av undersökningarna, för att på bästa sätt förena verksamheten med andra intressen, regler ersättningsfrågor etc.

Kontakterna med respektive kommun och länsstyrelse har också varit viktiga arbetsuppgifter. Alltsedan starten av platsundersökningarna har Oskarshamns och Östhammars kommuner aktivt följt SKB:s verksamhet genom egna organisationer och arbetsgrupper. Kommunerna har också bedrivit – och bedriver fortfarande – kompetensuppbyggnad och informationsverksamhet i egen regi.

5.2.5 Kompletterande studier

I samband med valet av platser för platsundersökningar aktualiserade dåvarande SKI (Statens Kärnkraftinspektion) frågan om eventuella för- och nackdelar med att lokalisera slutförvaret vid kusten respektive i inlandet. Mer specifikt gällde det huruvida långa strömningsvägar (och långa cirkulationstider) för grundvatten från inlandslägen kan ge fördelar ur säkerhetssynpunkt. Resultat och slutsatser av de analyser som SKB gjort under platsundersökningsskedet med anledning av denna fråga behandlas i avsnitt 8.2.

5.3 Forsmark

Forsmark ligger i Östhammars kommun i Norduppland. Avståndet till Uppsala är drygt sju mil, se figur 5-3. På 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 5-3. Översiktskarta – Forsmark, Östhammars kommun och delar av Uppland.

5.3.1 Undersökningar

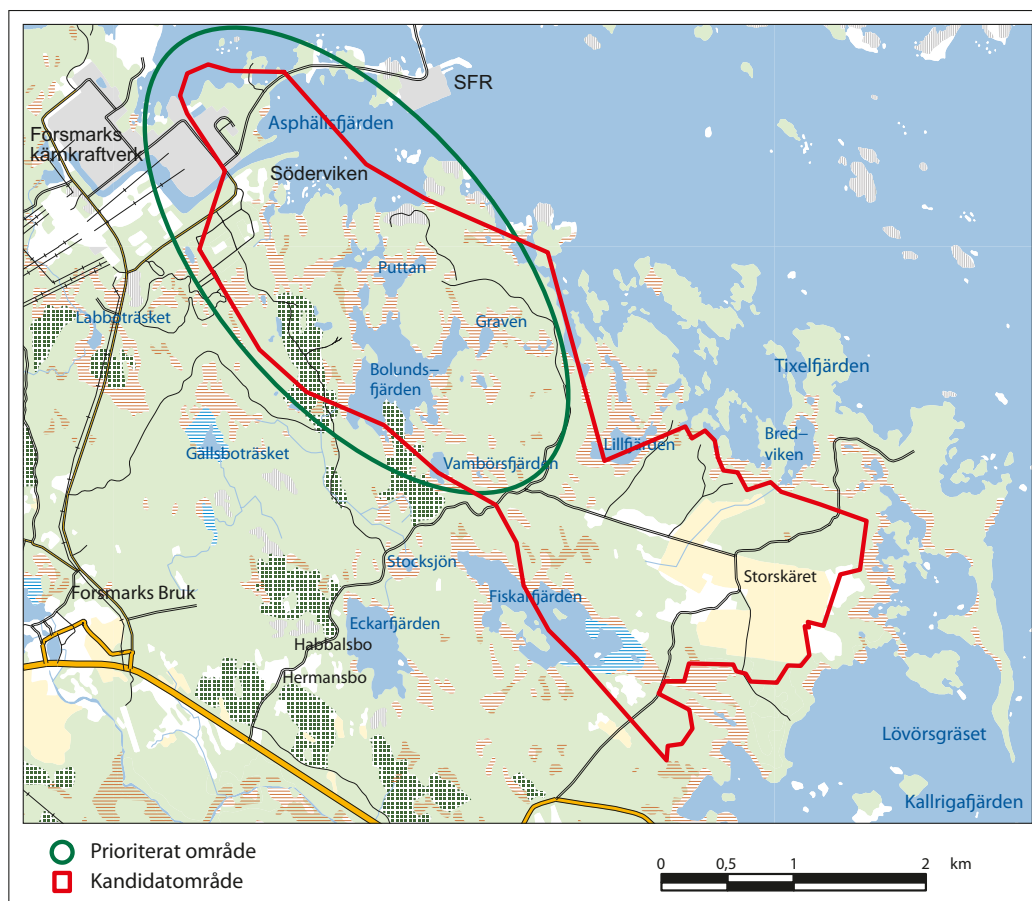
Undersökningarna i Forsmark inleddes 2002 och avslutades sommaren 2007. Inför starten upprättades ett undersökningsprogram som i huvudsak omfattade den inledande delen av platsundersökningen /SKB 2001b/. Under de inledande undersökningarna låg fokus på att besvara både generella och plats specifika frågor som sågs som avgörande för att bedöma platsens lämplighet. De inledande undersökningarna omfattade ett cirka 6 km långt och 2 km brett område (det så kallade kandidatområdet) se figur 5-4. Det utgör den nordvästra delen av en långsträckt så kallad tektonisk lins, där berggrunden förväntades ha bevarats förhållandevis ostörd i en regional omgivning med stora deformationszoner.

Undersökningarna indikerade redan i ett tidigt skede att såväl den nordvästra som den sydöstra delen av kandidatområdet hade berggrund som motiverade fortsatta undersökningar. Den skillnad som ändå kunde noteras var en högre frekvens av flacka, vattengenomsläppliga sprickzoner i den sydöstra delen. Huvudmotiven för att då prioritera den nordvästra delen av kandidatområdet (figur 5-4) var att:

- Preliminära studier av utrymmesbehov och möjliga lägen visade att ett förvar med stor sannolikhet kunde inrymmas inom den nordvästra delen.
- Läget delvis under industriområdet möjliggjorde en förvarsutformning med markförlagda anläggningar inrymda på befintlig industrimark. Detta bedömdes ge en rad tekniska och miljömässiga fördelar.

Ett program för den avslutande delen av platsundersökningen upprättades /SKB 2004b/. De undersökningar som ingick i detta program inriktades på att:

- Bestämma de geologiska gränserna för tillgänglig bergvolym lämplig för deponering på förvarsdjup.
- Karakterisera tillgänglig bergvolym till den omfattning och detaljeringsnivå som krävs.
- Karakterisera den nordvästra delens hydrauliska randområden.



Figur 5-4. Kandidatområde och prioriterat område i Forsmark.

Totalt har platsundersökningen innefattat 25 kärnborrhål, varav 19 går ner till förvarsdjupet eller djupare, och ett stort antal andra borrhål (38 hammarborrhål och drygt 100 jordborrhål) samt ingående geovetenskaplig och ekologisk kartläggning på ytan /SKB 2008a/.

5.3.2 Platsbeskrivningar

Fyra platsbeskrivande modeller för Forsmark har publicerats /SKB 2004c, 2005a, 2006b, 2008a/. Den preliminära platsbeskrivande modellen, version 1.2 /SKB 2005a/ baserades på resultaten från den inledande platsundersökningen och låg till grund för projekteringssteget D1, preliminära säkerhetsbedömningar /SKB 2005b/ samt säkerhetsanalysen SR-Can /SKB 2006a/. Under den avslutande delen av platsundersökningen genomfördes tre modellsteg. Huvudsyftet med det första steget (version 2.1) var att ge återkoppling till undersökningarna på platserna för att säkerställa effektiv informationsinhämtning under återstoden av platsundersökningen. Utöver detta uppdaterades den geologiska modellen för bergarter och deformationszoner, men ingen komplett integrerad platsbeskrivande modell togs fram. Därefter utfördes modellsteg 2.2 med uppdaterade modeller för platsens geologi, bergmekaniska och termiska egenskaper samt hydrogeologi och transportegenskaper. Dessa modeller var utgångspunkt för projekteringssteget D2 och för modellsteget 2.3, som resulterade i den slutliga integrerade platsbeskrivande modellen /SKB 2008a/. Tillsammans med resultaten från projekteringen, skede D2 /SKB 2009a/ har den utgjort underlag den jämförande säkerhetsbedömningen till stöd för platsvalet /SKB 2010b/ och för säkerhetsanalysen SR-Site /SKB 2011a/.

5.3.3 Säkerhetsbedömningar

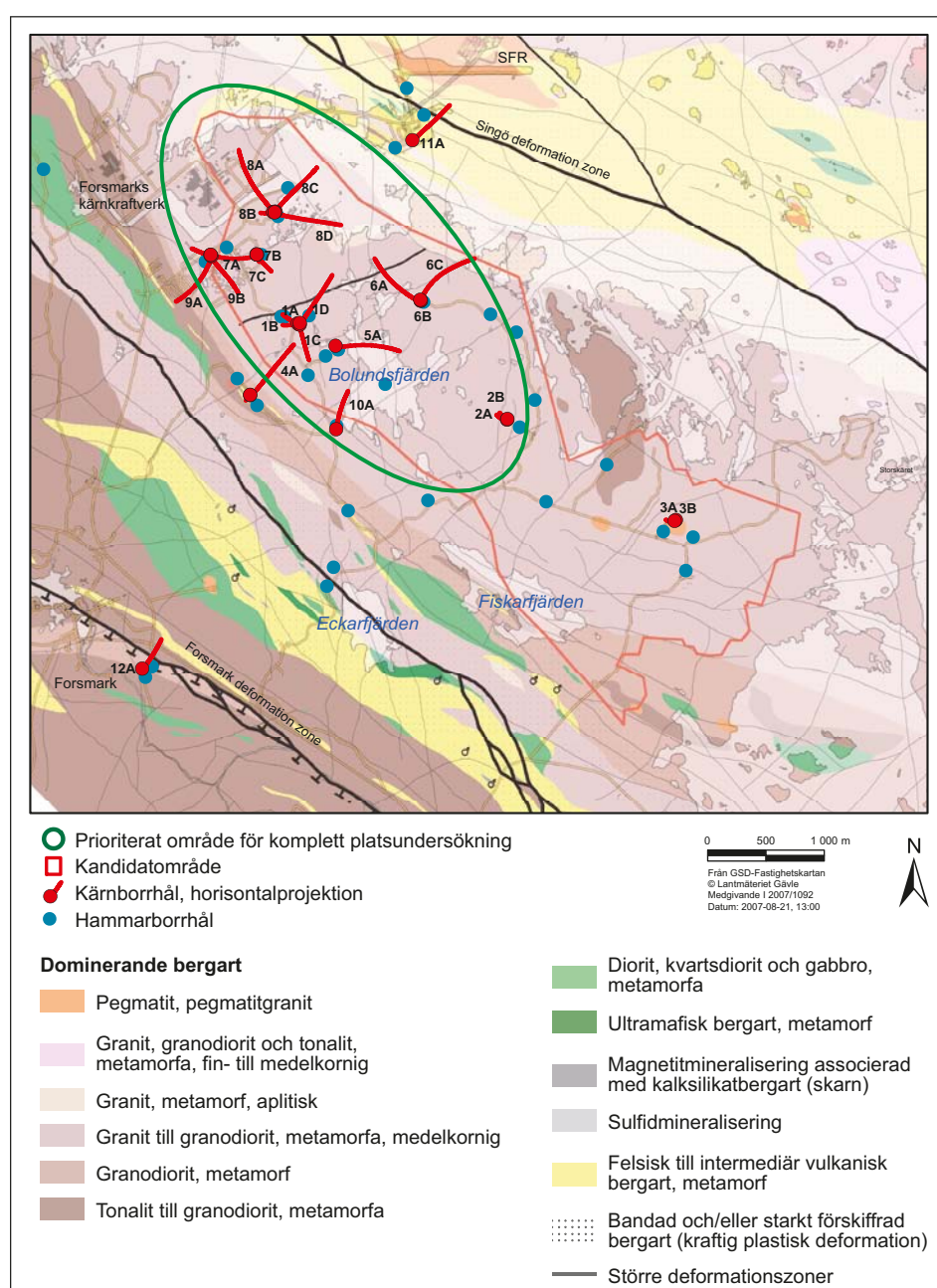
När den inledande undersökningsetappen genomförts och en preliminär platsbeskrivande modell tagits fram gjordes en avstämning av kunskapsläget om platsens egenskaper mot krav och önskemål i /Andersson et al. 2000/. Slutsatsen av denna preliminära säkerhetsbedömning /SKB 2005b/ var

att platsen uppfyllde de krav som kunde kontrolleras och att fortsatta undersökningar därmed var motiverade. Detta verifierades senare i säkerhetsanalysen SR-Can /SKB 2006a/. Avstämningen gav också underlag för att identifiera kvarstående databehov, liksom strategi och program för fortsatta undersökningar.

Baserat på information från de kompletta platsundersökningarna och projekteringssteg D2 har SKB gjort jämförande säkerhetsbedömningar av ett förvar vid Forsmark respektive vid Laxemar /SKB 2010b/, se kapitel 6 och 7.

5.3.4 Berggrund

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, se figur 5-5. Berget har hög termisk ledningsförmåga. En svagt deformationszon som stupar flackt mot sydost delar kandidatområdet i två huvuddelar. Förvarsområdet ligger nordväst om denna zon och korsas av brant stupande zoner.



Figur 5-5. Geologi och borrhål i Forsmark.

Från ytan och ner till som mest cirka 200 meters djup är frekvensen av vattenförande flacka sprickor 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.

Grundvattnets salthalt och ålder ökar mot djupet. Vattensammansättningen i förvarsområdet skiljer sig från den i den svagt lutande zonen i sydost. Detta bedöms bero 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 cirka 9 500 till 5 000 år sedan.

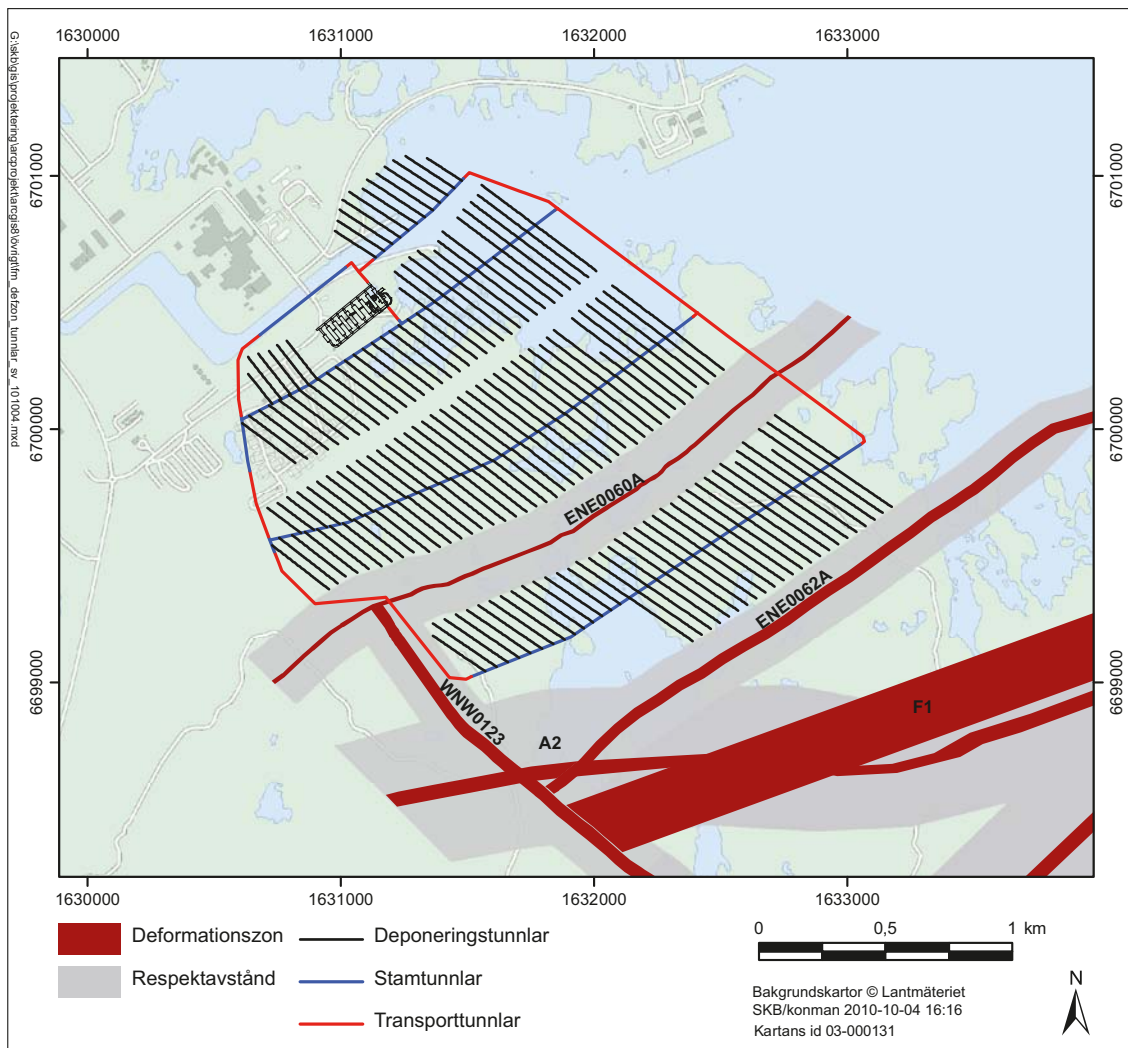
5.3.5 Förvarsutformning

Den platsanpassade utformningen av ett slutförvar i Forsmark har haft som utgångspunkt att själva förvaret förläggs inom det prioriterade området (figur 5-4), samtidigt som anläggningar och verksamhet ovan mark i huvudsak ska kunna inrymmas inom det befintliga industriområdet. Olika förslag har tagits fram och utvärderats, vilket har resulterat i ett förvar på cirka 470 meters djup och med utbredning enligt figur 5-7 och 5-8. Anläggningarna ovan jord samlas på ett driftområde vid Söderviken, se figur 5-6 och 5-8.

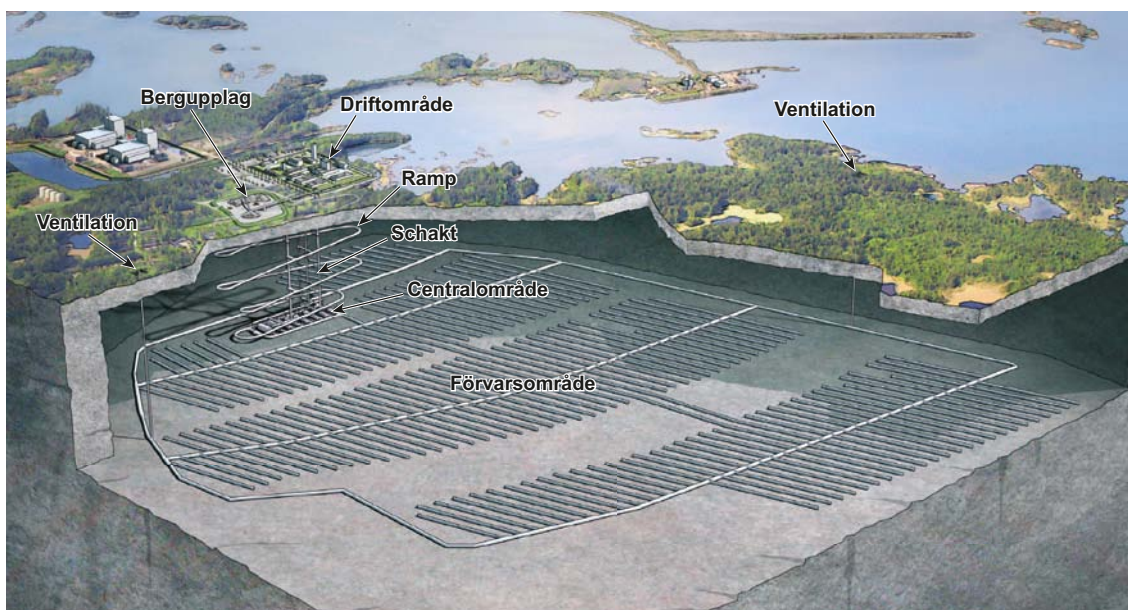
Projekteringen i skede D1 resulterade i en preliminär layout för ett förvar på 400 meters djup. Två alternativa lägen för anläggningar ovan mark studerades. I det ena förlades huvuddelen av anläggningarna i anslutning till SFR-anläggningen. I det andra alternativet samlades anläggningarna till ett driftområde öster om rondellen vid infarten till Forsmark, på den södra delen av industriområdet. Efter en jämförande värdering /SKB 2006c/ prioriterades läget vid infarten. Ett viktigt argument var att detta område ligger ”rätt” i förhållande till förvarets centralområde för att bergtransporter ska kunna ske via ett vertikalt skipschakt. Detta ger betydande driftstekniska fördelar i förhållande till en utformning där alla tunga transporter måste gå via ramp. Andra argument för valet var bättre tillgång till ytor för hantering av bergmassor och totalt sett mindre transportbehov.



Figur 5-6. Flygfoto över Forsmark. Söderviken ligger till vänster om kärnkraftverket, däremellan syns kylvattenkanalen. I förgrunden SFR-anläggningen.



Figur 5-7. Layout för slutförvar i Forsmark. Figuren visar även deformationszoner med sådana egenskaper att specificerade minimiavstånd (respektavstånd) krävs mellan dessa zoner och deponeringstunnlar. Från Layout D2 Forsmark /SKB 2009a/.



Figur 5-8. Slutförvar för använt kärnbränsle i Forsmark, fullt utbyggt.

Under projekteringskedet D2 reviderades och detaljutförades förvarets alla delar baserat på den information som tillkom under KPLU. Med utgångspunkt från den systemutformning som valts och den förvarslayout som togs fram studerades alternativa sätt att justera in lägen för anläggningarna ovan mark och nedfarterna, med hänsyn till både bergförhållanden och andra aspekter. Alternativerna och motiven för den utformning som valdes redovisas i miljökonsekvensbeskrivningen /SKB 2011b/. Förvarsdjupet ökades från cirka 400 meter till cirka 470 meter eftersom platsundersökningarna visade att den redan låga frekvensen av vattenförande sprickor reduceras ytterligare på djup under 400 m. Samtidigt visade undersökningarna att bergspänningarna inte ökade lika snabbt mot djupet som man tidigare antagit varför ett större förläggningsdjup inte innebär ökade problem. Resultatet från projektering under skede D2 redovisas i /SKB 2009b/.

5.3.6 Planförhållanden

Kommunfullmäktige i Östhammars kommun har antagit planregleringar för Forsmark, som innefattar både förändringar av den befintliga detaljplanen och detaljplaneläggning av nya områden. Tillsammans medger dessa regleringar att ett slutförvar för använt kärnbränsle kan byggas på det sätt som planeras.

5.3.7 Riksintressen och skyddade områden

Det område som är aktuellt för slutförvarets anläggningar har pekats ut som riksintresse för slutlig förvaring av använt kärnbränsle och kärnavfall. En stor del av området är också av riksintresse för energiproduktion och en del är av riksintresse för naturvård. Hela området ingår i riksintresse enligt de särskilda hushållningsbestämmelserna för högexploaterade kuststräckor. Längre mot sydväst finns Forsmarks bruk, som är av riksintresse för kulturmiljövård. Områden av riksintresse för vindkraft finns både på land och till havs. I sydost, gränsande mot kandidatområdet enligt figur 5-4, finns Kallriga naturreservat, som även utpekats som Natura 2000-område /Allmér 2010/.

5.3.8 Infrastruktur

Vägtransporterna till och från slutförvaret berör i huvudsak riksväg 76 mot Östhammar och Hargshamn, länsvägarna 288 och 290 mot Uppsala samt i mindre omfattning väg 76 mot Gävle, se figur 5-3. Transporterna av kapslar för deponering kommer att ske sjövägen från Oskarshamn till Forsmarks hamn och därifrån med terminalfordon till slutförvarets driftområde. Lermaterial för buffert och återfyllning skeppas till hamnen i Hargshamn och därifrån på lastbil till Forsmark /Fors och Klingenberg 2008a/.

5.3.9 Bebyggelse

Den befintliga bebyggelsen är gles, närmaste samlade bostadsområde ligger runt Forsmarks bruk, se figur 5-4. Inom 1 km från driftområdet finns inga boende, inom 5 km bor knappt 100 personer och inom en mil ungefär 500 personer /SCB 2009/.

5.3.10 Naturmiljö

Forsmarksområdet är låglänt med en bruten kustlinje och ett antal mindre öar utanför. Skogen går ända ner till strandlinjen. Nyckelkaraktären för landskapstypen är småskalighet och orördhet. Naturmiljön har en för Uppland ovanlig vildmarkskaraktär och består till största delen av skogsklädda moränmarker med enstaka hållpartier. I närheten finns flera skyddade och värdefulla områden, bland annat kring Kallrigafjärden. Området har en rik fågelfauna, med exempelvis flera häckande rovfågelarter. I området finns ett flertal rikkärr med inslag av gölar, där bland annat gölgröda förekommer /Allmér 2010/.

5.3.11 Kulturmiljö

Vid sidan av det nuvarande industriområdet är Forsmark starkt präglad av bruksepoken från 1500-talets slut fram till slutet av 1800-talet, då Forsmarks bruks behov formade landskapet och bebyggelsen. Bruket är genom sin välbevarade bebyggelse ett av de främsta exemplen på bruksmiljöer i landet. Trakten runt Forsmark har dominerats av en stor markägare.

5.3.12 Rekreation och friluftsliv

Marken runt kärnkraftverket var länge ganska svårtillgänglig och friluftslivet i området är därför mindre utbrett än för många andra delar av ostkusten. Värdet för friluftslivet ligger framför allt i den orörda naturen, djur- och fågellivet. Rekreation i form av jakt och fiske är viktiga inslag /Ternström 2008a/. Inom industriområdet finns idrottshall, tennisbana, elljusspår och även badplatser /Ottosson 2007/.

5.3.13 Miljökonsekvenser

Flera värdefulla naturobjekt påverkas direkt eller indirekt av slutförvaret. Riksintresset Forsmark-Kallrigafjärden ligger delvis inom förvarets påverkansområde, vilket kan medföra konsekvenser för riksintresset. Inom det område som kan påverkas av ovanmarksanläggningar och möjlig grundvattensänkning finns ett stort antal värdefulla naturobjekt, bland annat ett par gölar med den fridlysta arten gölgröda. Vidare finns ett antal skyddade och fridlysta växt- och djurarter som också kan påverkas. I samtliga fall är det möjligt att med skademinskande och kompenserande åtgärder eliminera eller åtminstone begränsa konsekvenserna /Allmér 2010/.

Eftersom allt radioaktivt material är inkapslat väntas bygge och drift av slutförvaret inte medföra några förändringar av strålningsmiljön.

Den mark som behövs för slutförvaret ägs idag av SKB och Forsmarks Kraftgrupp AB. Inga privat ägda fastigheter behöver lösas in. Detta förhållande samt att slutförvaret förläggs inom befintligt industriområde relativt långt från bostäder medför att det är få personer som berörs av etableringen och som skulle kunna uppleva en försämrad boendemiljö.

Vibrationer från sprängningsarbeten och tunga transporter förväntas inte orsaka skador på byggnader, inte heller kommer vibrationerna att upplevas som störande för boende i området.

Buller från anläggningsverksamhet och drift medför att en del av riksintresseområdet för rekreation och friluftsliv får ljudnivåer över gällande riktvärde. I övrigt blir konsekvenserna små. Buller från vägtrafik ger redan idag ljudnivåer över gällande riktvärden. Transporterna till och från slutförvaret medför att något fler än i nuläget blir störda. Detta bedöms dock inte leda till att fler får sämre hälsa /Zetterling och Hallberg 2008a/.

Utsläppen av luftföroreningar från transporter, anläggningsmaskiner och hantering av bergmassor ger mycket små tillskott. Dessutom är mycket få berörda av utsläppen. Sammantaget innebär detta att risken för hälsokonsekvenser på grund av luftföroreningar är mycket liten /Fridell et al. 2008a/.

Vägtransporter ger också andra olägenheter i form av olycksrisker, försämrad framkomlighet, påverkan på rekreation och friluftsliv etc. Dessa är beroende av transportvolymerna, men också av en rad andra faktorer som vägstandard, väderförhållanden och pendlingsmönster.

5.4 Simpevarp/Laxemar

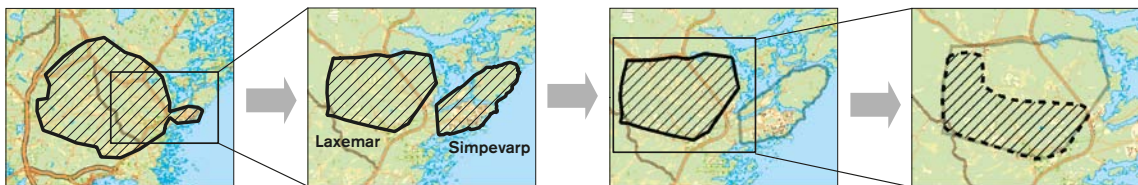
Det område i Oskarshamns kommun som rekommenderades för platsundersökning som ett resultat av förstudieskedet (se avsnitt 4.4) ligger cirka två mil norr om staden Oskarshamn. Det mindre delområde som efter genomförd platsundersökning prioriterades inför platsvalet benämns Laxemar och ligger nordväst om länsväg 743 och cirka två kilometer väster om kärnkraftverket och Clab på Simpevarpshalvön, se figur 5-9. Ungefär tre kilometer åt nordost finns Äspölaboratoriet.

5.4.1 Undersökningar

Undersökningarna i Oskarshamn inleddes år 2002 och avslutades under första kvartalet 2008. Inför starten upprättades ett undersökningsprogram /SKB 2001c/ som i huvudsak omfattade den inledande etappen av platsundersökningen på det cirka 60 kvadratkilometer stora område som utpekats som intressant för en platsundersökning som ett resultat av förstudieskedet, se figur 5-10.



Figur 5-9. Översiktskarta – Laxemar, Oskarshamns kommun och östra Småland.



Figur 5-10. Den stegvisa avgränsningen av undersökningsområdet vid Simpevarp och Laxemar – från det 60 km² stora kandidatområdet till det slutligen prioriterade området i Laxemar.

Undersökningarna, inklusive borringar, inleddes inom ett område som i huvudsak omfattade Simpevarpshalvön (fortsättningsvis benämnt delområde Simpevarp) samt ytekologiska inventeringar inom den regionala omgivningen. Vidare genomfördes geovetenskapliga ytundersökningar med bland annat geofysiska mätningar från helikopter inom hela kandidatområdet. Redan i ett tidigt skede stod det klar att Simpevarpshalvön ger begränsad flexibilitet i förvarslayout på grund av den begränsade ytan. Undersökningsområdet utökades därför till att omfatta även Ävrö, Hålö och närliggande vattenområden.

Baserat på resultat från dessa undersökningar redovisade SKB i mars 2003 en precisering och prioritering för de fortsatta undersökningarna till de två delområdena Simpevarp och Laxemar /SKB 2003/. Med start i början av 2004 genomfördes en inledande platsundersökning av delområde Laxemar, sedan överenskommelser kunnat träffas med berörda markägare.

Hösten 2004 var de inledande undersökningarna genomförda för både delområde Simpevarp och Laxemar. Baserat på resultaten prioriterade SKB preliminärt Laxemar för fortsatta undersökningar. Motiveringen var att området var större och bland annat därför gav bättre flexibilitet. När ytterligare underlag för jämförelser fanns framme (platsbeskrivningar, projekteringsresultat och säkerhetsbedömningar) kunde den preliminära bedömningen bekräftas och SKB fattade ett definitivt beslut om att gå vidare med undersökningar i Laxemarområdet.

Undersökningarna inom delområde Laxemar inriktades successivt mot områdets södra och västra delar, se högra delen av figur 5-10. I söder och väster dominerar kvartsmonzodiorit, som visat sig vara mera homogen och sprickfattig än den berggrund som dominerar områdets norra och östra delar. Dessutom bedömdes bergets vattenförande egenskaper vara gynnsammare i de södra och västra delarna /SKB 2005c/.

Totalt har platsundersökningen innefattat 46 kärnbrorhåll, varav 19 går ner till förvarsdjupet eller djupare, och över 200 andra borrhåll (43 hammarborrhåll och ca 190 jordborrhåll) samt ingående geovetenskaplig och ekologisk kartläggning på ytan.

5.4.2 Platsbeskrivningar

Platsbeskrivningar med tillhörande modeller baserade på de inledande undersökningarna redovisades för de båda delområdena Simpevarp och Laxemar /SKB 2005d, 2006d/. Dessa modeller (version 1.2) låg till grund för preliminära platsanpassade förvarslayouter (version D1) och preliminära säkerhetsbedömningar /SKB 2005e, 2006e/. Under den avslutande etappen av platsundersökningen av delområde Laxemar genomfördes två modellsteg. Huvudsyftet med det första steget (version 2.1 /SKB 2006f/) var att, på samma sätt som i fallet Forsmark, ge återkoppling till undersökningarna för att säkerställa effektiv informationsinhämtning under återstoden av platsundersökningen. Utöver detta uppdaterades de hydrogeokemiska och termiska modellerna, men ingen komplett integrerad platsbeskrivande modell togs fram. Därefter genomfördes det slutliga modellarbetet med reviderade modeller för platsens geologi, bergmekaniska och termiska egenskaper samt hydrogeologi och transportegenskaper. Dessa modeller utgjorde underlag för projekteringssteget D2 och för den slutliga integrerade platsbeskrivande modellen /SKB 2009c/. Tillsammans med resultaten från projekteringen i skede D2 /SKB 2009d/ har denna modell legat till grund för den jämförande säkerhetsbedömningen till stöd för platsvalet /SKB 2010b/.

5.4.3 Säkerhetsbedömningar

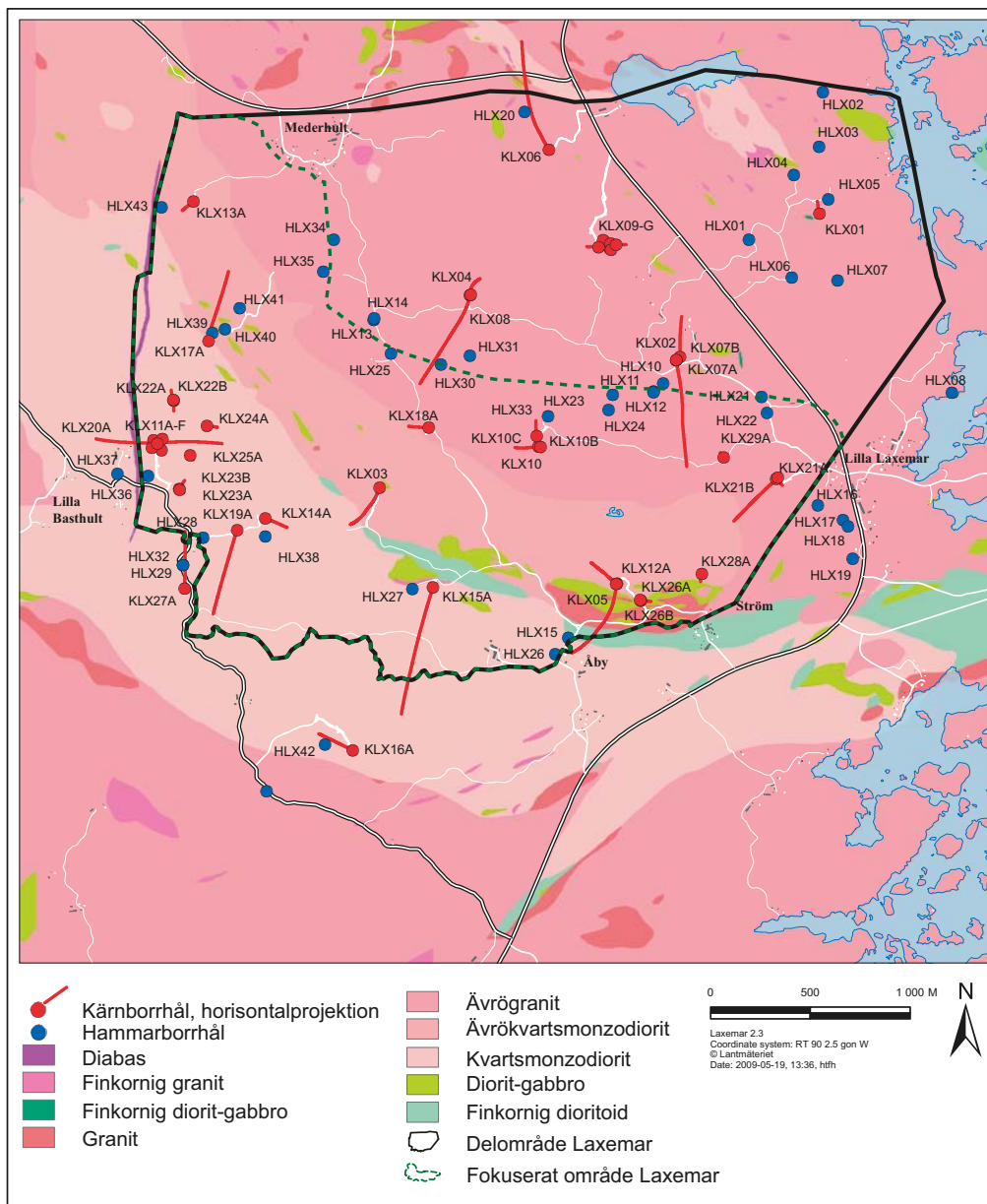
För både delområde Simpevarp och delområde Laxemar gjordes avstämningar av kunskapsläget mot de grundläggande krav som redovisats innan platsundersökningarna inleddes /SKB 2005e, 2006e/. Underlag för dessa säkerhetsbedömningar var platsbeskrivningar version 1.2 och förvarslayout version D1. Slutsatsen blev att båda delområdena uppfyllde kraven, men att de tänkbara lämpliga deponeringsvolymerna under Simpevarpshalvön var begränsade.

Utifrån samma underlag genomfördes säkerhetsanalysen SR-Can /SKB 2006a/. Den visade att ett förvar i Laxemar uppfyllde aktuella riskkriterier men betonade att bedömningen var preliminär och att mer representativa data behövdes för en mer fullständig bedömning. SR-Can gav också underlag för att identifiera kvarstående databehov, liksom strategi och program för fortsatta undersökningar. Baserat på information från de kompletta platsundersökningarna och projekteringssteg D2 har SKB gjort jämförande säkerhetsbedömningar av ett förvar vid Forsmark respektive vid Laxemar /SKB 2010b/, se kapitel 6 och 7.

5.4.4 Berggrund

Berggrunden inom de södra och västra delarna av Laxemarområdet, se figur 5-11, domineras av kvartsmonzodiorit och granit 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.

De översta 150 m av berget har relativt 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, bedöms frekvensen av



Figur 5-11. Geologi och borrhål i Laxemar.

sådana sprickor vara mycket låg (medelavstånd mer än 100 m) men denna bedömning är osäker. Grundvattnets salthalt och ålder ökar med djupet. Bergspänningarna är normala för svensk berggrund och är jämförbara med de som uppmätts vid Äspölaboratoriet.

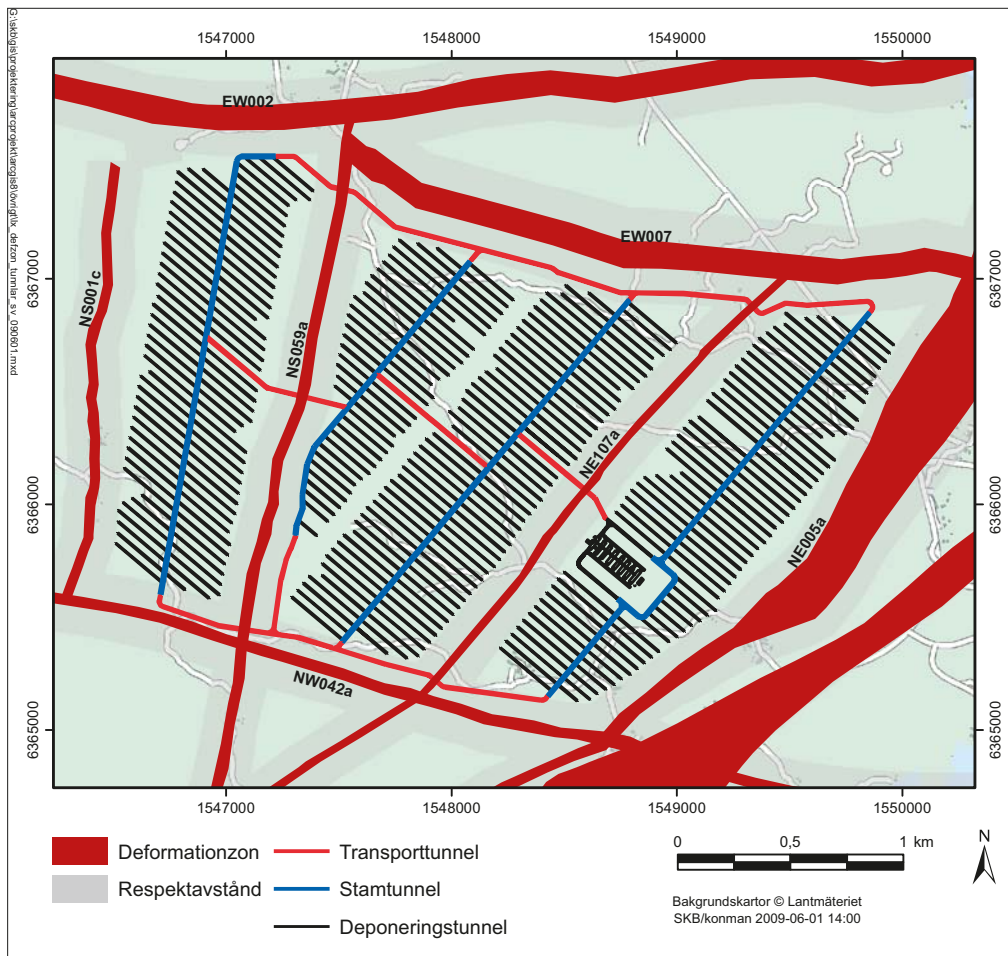
5.4.5 Förvarsutformning

Den platsanpassade utformningen av ett slutförvar i Laxemar resulterade, sedan ett antal alternativ tagits fram och utvärderats, i en utformning med ett förvar på ca 520 meters djup och med en utbredning enligt figur 5-13 och 5-14. Anläggningarna ovan mark samlades till ett driftområde vid Oxhagen, cirka två kilometer väster om Simpevarp, se figur 5-12 och 5-14. Placeringen och utformningen av driftområdet anpassades för att få goda bergförhållanden för bygge av tillfarter samt för att driftområdet skulle kunna placeras ovanför centralområdet. Förutom de geologiska förutsättningarna påverkade även natur- och kulturmiljö, infrastruktur och industriella aspekter placeringen av anläggningarna.

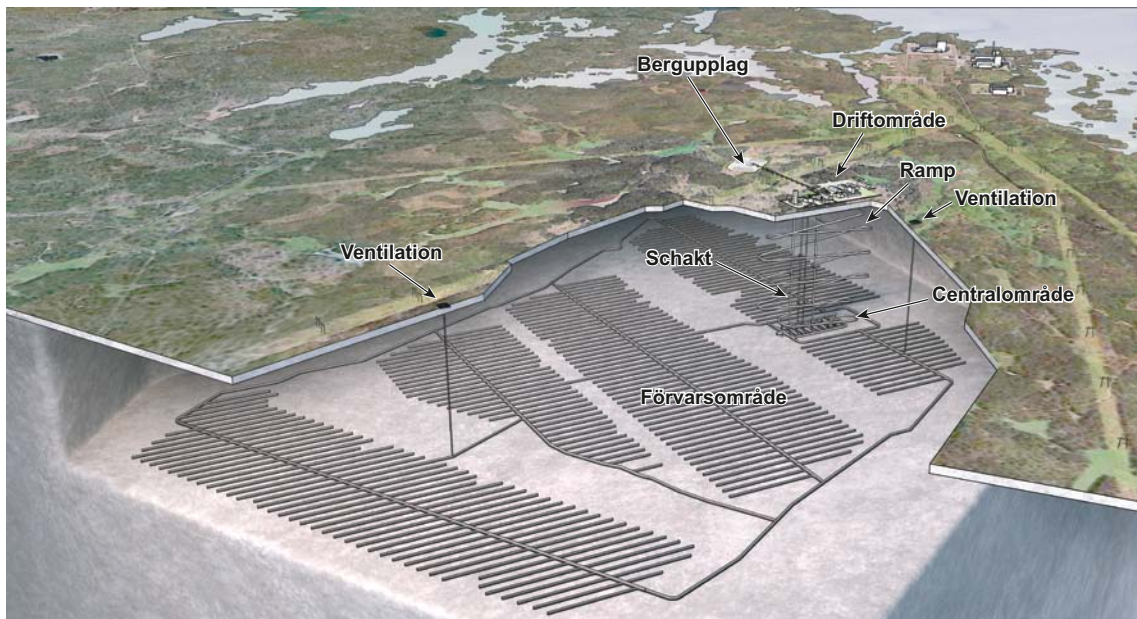
I tidigare skeden utredde SKB flera tänkbara lägen för förvarets markförlagda anläggningar på Simpevarpshalvön och Hälö. I och med beslutet att prioritera Laxemar bortföll dessa alternativ.



Figur 5-12. Flygfoto över Laxemarmrådet, med kärnkraftverket och Clab i bakgrunden och Oxhagen i mitten av bilden.



Figur 5-13. Layout för slutförvar i Laxemar. Figuren visar även deformationszoner med sådana egenskaper att specificerade minimiavstånd (respektavstånd) krävs mellan dessa zoner och deponeringstunnlar. Från Layout D2 Laxemar /SKB 2009d/.



Figur 5-14. Slutförvar för använt kärnbränsle i Laxemar, fullt utbyggt.

5.4.6 Planförhållanden

Kommunfullmäktige i Oskarshamns kommun antog i oktober 2007 en fördjupning av översiktsplanen, Översiktsplan 2000, för Simpevarps- och Laxemarområdena. Syftet var att påbörja den fysiska planeringen enligt plan- och bygglagen för en eventuell slutförvarsanläggning i Laxemarområdet.

5.4.7 Riksintressen och skyddade områden

Området för det tänkta slutförvarets anläggningar har pekats ut som riksintresse för slutlig förvaring av använt kärnbränsle och kärnavfall. Simpevarpshalvön, större delen av Ävrö, del av Hålö och Äspö samt vissa avgränsade vattenområden är av riksintresse för energiproduktion. Två områden i havet sydost om Ävrö är av riksintresse för vindkraft. Hela kust- och skärgårdsområdet ingår i riksintresse enligt de särskilda hushållningsbestämmelserna för högexploaterade kuststräckor enligt 4 kap. miljöbalken. Den del av kust- och skärgårdsområdet som inte omfattas av detaljplan, är av riksintresse för naturvård och friluftsliv.

5.4.8 Infrastruktur

Vägtransporterna av inkapslat bränsle från inkapslingsanläggningen vid Clab skulle kräva en ny väganslutning, från Simpevarp till Oxhagen. Övriga vägtransporter skulle i huvudsak beröra europaväg 22 och länsväg 743, se figur 5-9. Transporter av lermaterial förutsattes ske med lastbil från Oskarshamns hamn /Fors och Klingenberg 2008b/.

5.4.9 Bebyggelse

I anslutning till Laxemar finns byarna Mederhult, Ärnhult, Lilla och Stora Laxemar, Ström och Åby. Ungefär 15 personer bor inom en kilometer från driftområdet, ungefär 150 inom 5 kilometer och cirka 2 000 personer inom tio kilometer /Oskarshamns kommun 2009/.

5.4.10 Naturmiljö

Landskapet kännetecknas av en flikig kustlinje och en flack hållmarksterräng med talrika smala sprickdalar. De relativt små åkrarna, som använts för bete och slätter samt på senare tid för odling, har varit en viktig resurs för den bofasta befolkningen i denna del av Småland. Skärgården utgör en tydlig kontrast till det mer slutna skogsområdet. Ytterskärgården är oexploaterad och består av allt från grund och skär till skogsbevuxna öar med en smal strandzon. Bebyggelsen är begränsad och den flacka kustlinjen erbjuder få landmärken.

Naturen är till stor del påverkad av tidigare och nuvarande jord- och skogsbruk. Inne i täta skogspartier kan man hitta äldre lövträd. De flesta naturvärden är knutna till jordbrukslandskapet, framförallt längs Laxemaråns dalgång /Nilsson 2010/.

5.4.11 Kulturmiljö

Bygden har historiskt en prägel av landsbygd och kustbygd med jord- och skogsbruk och med skärgårdsmiljö och fiske. Då kärnkraftverket etablerades genomgick landskapet på Simpevarpshalvön en total omvandling. Kraftledningarna med sina röjda gator bidrar till att industrilandskapets påverkan sträcker sig in i Laxemarområdet. Påverkan på kulturmiljön inom området är i övrigt förhållandevis begränsad.

5.4.12 Rekreation och friluftsliv

Hela området används för jakt och annan rekreation. I det kustnära delarna finns goda förutsättningar för bad, fiske, båtsport och dykning. Området utnyttjas också för vandring och cykling. Kråkelund och Simpevarpshalvön är mycket fågelrika områden som besöks flitigt av fågelskådare /Dahlström 2007/. Ostkustleden, en cirka 16 mil lång vandringsled, passerar genom Lilla Laxemar by /Ternström 2008b/.

5.4.13 Miljökonsekvenser

Inom slutförvarets påverkansområde finns, förutom ett värdefullt ädellövskogsområde, inga naturobjekt med höga skyddsvärden och antalet skyddade och skyddsvärda arter är få. Riksintresset Västerviks och Oskarshamns skärgårdar påverkas av utsläpp av förorenat vatten; konsekvenserna bedöms dock bli obetydliga /Nilsson 2010/.

Eftersom allt radioaktivt material är inkapslat väntas bygge och drift av slutförvaret inte medföra några förändringar av strålningsmiljön.

Den mark som behövs för slutförvaret är i huvudsak privatägd och uppdelad på ett stort antal fastigheter. För nuvarande markägare, men också för andra som bor i området, skulle en etablering av slutförvaret innebära en betydande förändring.

Vibrationer från sprängningsarbeten och tunga transporter förväntas inte orsaka skador på befintliga byggnader; inte heller kommer vibrationerna att upplevas som störande för boende i området. Buller från anläggningsverksamhet och drift medför att en något större del av riksintresseområdet för rekreation och friluftsliv får ljudnivåer över gällande riktvärde. I övrigt blir konsekvenserna små. Buller från vägtrafik ger redan idag ljudnivåer över gällande riktvärden. Transporterna till och från slutförvaret medför att något fler än i nuläget blir störda. Detta bedöms dock inte leda till att fler får sämre hälsa /Zetterling och Hallberg 2008b/.

Utsläppen av luftföroreningar från transporter, anläggningsmaskiner och hantering av bergmassor ger mycket små tillskott. Dessutom är mycket få berörda av utsläppen. Sammantaget innebär detta att risken för hälsokonsekvenser på grund av luftföroreningar är mycket liten /Fridell et al. 2008b/.

Vägtransporter ger också andra olägenheter i form av olycksrisker, försämrad framkomlighet, påverkan på rekreation och friluftsliv etc. Dessa är beroende av transportvolymerna, men också av en rad andra faktorer som vägstandard, väderförhållanden och pendlingsmönster.

6 Faktorer och metodik för platsval

Platsundersökningarna har resulterat i de två lokaliseringsalternativen Laxemar och Forsmark. I det avslutande steget av lokaliseringsprocessen har uppgiften varit att systematiskt jämföra dessa alternativ för att få det underlag som krävs för att välja plats, i enlighet med den strategi som slagits fast. I detta kapitel redovisas de faktorer som jämförts och den metodik som tillämpats.

6.1 Lokaliseringsfaktorer

På samma sätt som inför valet av platser för platsundersökningar definierades lokaliseringsfaktorer som grund för att kunna jämföra de två lokaliseringsalternativen för platsvalet. Figur 6-1 visar de faktorer som har bildat grund för jämförelsen. Faktorerna är indelade i de fyra huvudgrupperna säkerhetsrelaterade platsegenskaper, teknik för genomförande, hälsa och miljö, samt samhällsresurser. Denna indelning är en vidareutveckling av den struktur som tillämpats i tidigare skeden, anpassad till syftet att jämföra två alternativ och det nu tillgängliga dataunderlaget. Resultaten från platsundersökningarna ger tillgång till kunskaper om platserna som ligger på en helt annan nivå än i tidigare skeden. Det gäller särskilt bergförhållandena på djupet, där jämförelserna nu kunnat baseras på mätningar av parametrar som har direkt betydelse för säkerhet och teknisk genomförbarhet.

I de avsnitt som följer beskrivs vad som avses med de olika faktorerna i figur 6-1 samt SKB:s utgångspunkter och metodik för värdering av lokaliseringsalternativen med avseende på dessa faktorer. Faktorerna i sig ger inte någon vägledning om vad SKB sammantaget värderat som mer eller mindre viktigt, vad som avgjort platsvalet, eller på vilket sätt. De utgör ramverket för strukturerade jämförelser mellan platserna, där olika aspekter jämförs var för sig och på ett systematiskt sätt. Dessa jämförelser ger ett heltäckande underlag för en samlad värdering och val med utgångspunkt från den strategi som redovisas i kapitel 1.



Figur 6-1. Faktorer som bildat grund för jämförelser av lokaliseringsalternativen inför platsvalet.

6.2 Säkerhetsrelaterade platsegenskaper

Enligt de principer som SKB slagit fast för platsvalet (kapitel 1) är det nödvändigt att bedöma säkerheten för ett slutförvar, anpassat till respektive plats. Vad som menas med långsiktig säkerhet framgår ytterst av lagar och förordningar, och har konkretiserats i Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter.

Säkerheten för slutförvaret utvärderas med stöd av säkerhetsanalyser. I en säkerhetsanalys görs integrerade beräkningar och värderingar av hur förvarssystemet – brett definierat som det deponerade använda kärnbränslet, de tillverkade barriärerna som omger bränslet, förvarsberget och biosfären i anslutning till slutförvaret – kan komma att utvecklas över tiden. Systemets framtida tillstånd kommer att bero på dess initialtillstånd (det vill säga tillståndet när det använda bränslet och de tillverkade barriärerna finns på plats i förvaret), ett antal termiska, hydrauliska, mekaniska och kemiska processer som verkar i förvarssystemet över tiden ("intern" påverkan), samt "extern" påverkan av möjliga händelser utanför förvarssystemet, exempelvis klimatförändringar, seismisk aktivitet eller mänskligt intrång.

En samlad säkerhetsanalys, benämnd SR-Site /SKB 2011a/, görs för ett slutförvar på den valda platsen, och ingår i ansökan. Parallellt med framtagandet av SR-Site har SKB gjort en utredning med rubriken "Comparative analysis of safety related site characteristics" /SKB 2010b/, som stöd för valet av plats. Platsvalet gjordes när de analyser som ligger till grund för denna utredning (och jämförelser med avseende på övriga faktorer enligt figur 6-1) kommit så långt att det stod klart att Forsmark var den lämpligare platsen, samt att det analysarbete som då återstod inte skulle kunna ändra på utfallet. I utredningen redovisas:

- analyser och beräkningar av betydelse för platsernas lämplighet med avseende på långsiktig säkerhet,
- värderingar av möjligheterna att dra slutsatser om skillnader i platsernas lämplighet utifrån dessa analyser och
- värderingar av skillnader i platsernas lämplighet med avseende på långsiktig säkerhet.

De analyser som presenteras och utvärderas i utredningen bygger på SKB:s erfarenheter från tidigare säkerhetsanalyser, senast SR-Can /SKB 2006a/. Dessa erfarenheter visar att det finns en uppsättning platsegenskaper som har väsentlig betydelse för säkerheten /SKB 2010b, kap 1/. Det är dessa faktorer som anges under rubriken "säkerhetsrelaterade platsegenskaper" i figur 6-1 och som beskrivs närmare i de avsnitt som följer. Utifrån de data och modeller som tagits fram vid platsundersökningarna har platserna först utvärderats med avseende på de enskilda faktorerna var för sig. Därefter har en sammanvägning gjorts, där den centrala frågan varit hur respektive faktor påverkar den totala säkerhetsbedömningen för platsen. Tillvägagångssättet har genomgående varit detsamma för båda platserna. För Forsmark utgör de utredningar som gjorts även en delmängd av underlaget till SR-Site.

6.2.1 Bergets sammansättning och strukturer

Bergets sammansättning och strukturer ger förutsättningarna för de bergmekaniska och hydrogeologiska förhållandena och påverkar även grundvattnets sammansättning och bergets förmåga att fördröja transport av lösta ämnen. Dessa faktorer är viktiga och behandlas separat, se nedan. Bergförhållandena avgör även förutsättningarna för att utforma och anpassa deponeringsområdet och deponeringstunnlarna så att de uppfyller kraven på långsiktig säkerhet. Sådana krav framgår av konstruktionsförutsättningar för långsiktig säkerhet /SKB 2009e/ och avser bland annat respektavstånd till stora deformationszoner för att hantera risken för framtida stora jordskalv. Andra krav gäller högsta acceptabla vatteninflöden i deponeringshål för att säkerställa att buffertmaterial inte lossnar (eroderas) och transportas bort med det inflödande vattnet vid installation, samt att bergets egenskaper tillåter att deponeringstunnlarna kan byggas utan att det skapas en sammanhängande så kallad "störd zon" (EDZ) med hög vattengenomsläpplighet över längre avstånd. Det är också viktigt att försäkra sig om att en rimligt stor del av den tillgängliga förvarsvolymen blir kvar att använda efter att kraven tillämpats, men detta är inte primärt en säkerhetsfråga utan en fråga om genomförbarhet, vilket behandlas i avsnitt 6.3. Ur säkerhetssynpunkt bedöms med vilken framgång dessa krav kan

tillämpas. En annan fråga som 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.

6.2.2 Framtida klimatutveckling

Klimatet kan påverka både berget på försvarsdjup och barriärernas funktion. En inlandsis ovanför förvaret påverkar 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 buffert och kapsel. En annan fråga är om det finns risk för frysning på försvarsdjup under perioder av extrem permafrost, eftersom även detta kan påverka barriärfunktionen för återfyllning, buffert och kapsel.

6.2.3 Bergmekaniska förhållanden

Nutida och framtida belastningar (bergspänningar) tillsammans med bergets mekaniska egenskaper kan påverka den långsiktiga säkerheten. Det gäller i första hand om belastningarna är så höga att berget överbelastas lokalt kring deponeringshålén, så kallad spjälkning. Vidare måste risken för och konsekvenserna av framtida stora jordskalv analyseras. Prognoser har gjorts av risken för spjälkning. Bedömningar har också gjorts av risken för att framtida stora jordskalv skulle kunna skada deponerade kapslar. Denna risk hanteras dock genom att förvarets utformning anpassas till deformationszoner och sprickor, varför man inte bör förvänta sig större skillnader mellan platserna.

6.2.4 Grundvattenströmning

Hydrogeologiska förhållanden, speciellt frekvens av och genomsläpplighet hos vattenförande sprickor, styr grundvattenströmningen i försvarsvolymen. Dessa förhållanden påverkar direkt förutsättningarna för transport av lösta ämnen till och från bufferten och därmed också buffertens och kapselns funktion och, om kapseln skadats, hur mycket radioaktivitet som kan frigöras från det använda kärnbränslet och via grundvattnet spridas vidare. Det är generellt fördelaktigt med en låg frekvens av vattenförande sprickor, liksom att sprickorna har låg vattengenomsläpplighet, eftersom dessa egenskaper leder till att grundvattenflödet blir litet. Inom säkerhetsanalysen beräknas mer specifika mått, det så kallade transportmotståndet, F , och det så kallade ekvivalenta flödet, Q_{eq} som tillåter kvantitativa värderingar och jämförelser. Höga transportmotstånd och låga ekvivalenta flöden är fördelaktigt.

6.2.5 Grundvattnets sammansättning

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

6.2.6 Fördröjning av lösta ämnen

Platsens förmåga att fördröja utsläppta radionuklider 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 tillgängliga ytor). Vid värderingen används data om flödesrelaterade transportegenskaper samt de bergegenskaper som bestämts vid platsundersökningarna.

6.2.7 Biosfärförhållanden

Konsekvenserna av om radioaktiva ämnen från förvaret kommer ut i miljön beror bland annat på den hydrologiska situationen vid och nära markytan samt de framtida ekosystemen. Biosfären i sig ses inte som bidragande till säkerheten. Däremot kan det för platsvalet vara viktigt att belysa om stora skillnader i stråldos till följd av skillnader i biosfäregenskaper kan förväntas mellan platserna.

6.2.8 Platskännedom

För att det ska vara möjligt att uttala sig om säkerheten för ett slutförvar vid en viss plats är det nödvändigt att ha god tilltro till att platsbeskrivningarna redovisar verkliga förhållanden, eftersom säkerhetsanalysens prognoser bygger på dessa. Graden av tilltro 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.

6.3 Teknik för genomförande

”Teknik för genomförande”, se figur 6-1, avser de förutsättningar som platserna ger för att så robust, funktionellt och effektivt som möjligt genomföra slutförvarsprojektet. Skillnader mellan platserna kan delvis mätas i tidsåtgång och kostnad, men även osäkerheter i det tekniska genomförandet och därtill kopplade behov av teknikutveckling för att åstadkomma ett säkert förvar, behöver värderas. Den plats som ger de mest gynnsamma och tillförlitliga förutsättningarna att anpassa förvarsutformning och verksamhet så att förvaret uppfyller säkerhetskraven är också den lämpligaste.

6.3.1 Flexibilitet

Med flexibilitet avses här:

- möjligheter 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 cirka 6 000 kapslar, samt
- möjligheter att hantera ändrade förutsättningar för total avfallsmängd.

För respektive plats har en platsspecifik utformning och layout tagits fram utifrån den platsbeskrivande modellen och som svarar mot givna konstruktionsförutsättningar (krav) för att uppnå långsiktig säkerhet, /SKB 2009a/ respektive /SKB 2009d/. Layouterna redovisas i kapitel 5, figur 5-7 respektive 5-13. Styrande för föreslagna platsanpassningar av förvarslayouten har främst varit:

- kunskap om layoutpåverkande förhållanden, i första hand deformationszoner som kräver respektavstånd och bergdomängränser,
- kunskap om bergets värmeledningsförmåga, som bestämmer minsta avstånd mellan deponerade kapslar för att klara 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 både deponeringstunnlar och deponeringshål.

I första hand jämförs förutsättningarna att rymma förvaret, med nu aktuell avfallsmängd, inom de områden som prioriterats för komplett platsundersökning på respektive plats. I andra hand jämförs möjligheter att hantera ökade avfallsmängder, eftersom framtida förändringar av det svenska kärnkraftsprogrammet kan komma att innebära att den avfallsmängd som ska deponeras utökas. De möjligheter som kan finnas för att öka kapaciteten är att ändra utformningen (till exempel genom ändrad termisk dimensionering eller ett förvar i två plan) eller att ta i anspråk områden utanför prioriterat område. Alla sådana handlingsalternativ förutsätter nya utredningar och undersökningar. Jämförelsen mellan platserna ur denna aspekt kan därför bara grundas på översiktliga bedömningar.

6.3.2 Tekniska risker

Eftersom de *exakta* förhållandena i berggrunden inte kan fastställas helt i förväg, måste det finnas en metod för att inhämta detaljinformation under byggprocessen, fortlöpande anpassa bygget till informationen samt hantera osäkerheter och eventuella tekniska risker. Detta sker med hjälp av den så kallade observationsmetoden /SKB 2010e/. Den innebär i enklare fall att insatser av bergförstärkning och tätning anpassas till de faktiska förhållanden som konstateras under byggarbetena. En mer komplex – men central – tillämpning av observationsmetoden är platsanpassning för att möta krav på långsiktig säkerhet.

För att genomlysna den tekniska riskbilden görs riskanalyser, som en del av projekteringen. Riskanalyserna syftar till att ge ett beslutsunderlag om identifierade risker, och planerade metoder för att hantera dem, är acceptabla eller om det behövs ytterligare åtgärder. Analyserna innebär i korthet att:

- Utifrån osäkerheter om platsens egenskaper identifiera geologiska förhållanden som riskerar att påverka utformningen eller uppförandet av förvaret.
- Bedöma sannolikheten för att riskpåverkande geologiska förhållanden verkligen föreligger.
- Bedöma konsekvenserna av om de olika riskpåverkande geologiska förhållandena föreligger.

Analyserna omfattar alla riskpåverkande geologiska förhållanden som utifrån geologisk och bergmekanisk fackkunskap kan identifieras med utgångspunkt i osäkerheterna i platsmodellerna. Risken definieras som en sammanvägning av sannolikheter och konsekvenser. De olika riskerna indelas sedan i två kategorier enligt den tabell som visas i figur 6-2:

- Risker som kan försummas eller accepteras: Konsekvenserna ligger inom det som redan accepteras vid projekteringen, kan hanteras vid byggandet med hjälp av observationsmetoden, eller där sannolikheten för att det riskpåverkande geologiska förhållandet föreligger är så låg att risken kan försummas.
- Risker som kräver omfattande åtgärder: Konsekvenserna är så stora och så sannolika att det krävs omfattande åtgärder, t ex genom ändrad konstruktion, och där det därför redan nu behövs planer för hur dessa risker ska hanteras.

Sannolikhet	Mycket sannolikt	Försumbar/acceptabel	Försumbar/acceptabel	Omfattande åtgärder	Omfattande åtgärder
	Sannolikt	Försumbar/acceptabel	Försumbar/acceptabel	Försumbar/acceptabel	Omfattande åtgärder
	Osannolikt	Försumbar/acceptabel	Försumbar/acceptabel	Försumbar/acceptabel	Omfattande åtgärder
	Extremt osannolikt	Försumbar/acceptabel	Försumbar/acceptabel	Försumbar/acceptabel	Försumbar/acceptabel
		Obetydliga	Mindre	Måttliga	Större
Konsekvenser					

Figur 6-2. Metodik för värdering av tekniska risker. Sannolikhet och konsekvens av identifierade riskpåverkande geologiska förhållanden värderas först var för sig, och vägs därefter samman i enlighet med matrisen. De resulterande skattningarna inordnas i två riskklasser ("försumbar/acceptabel" respektive "omfattande åtgärder") med avseende på åtgärdsbehov.

Risker som bedöms vara försumbara/acceptabla påverkar inte platsvalet på annat sätt än genom eventuellt ökade kostnader och/eller förseningar. Denna aspekt beaktas vid kostnadsberäkningarna av projektet. Risker som har så stora konsekvenser och är så sannolika att de kräver omfattande åtgärder, t ex genom ändrad förvarsutformning, påverkar däremot förutsättningarna för att i praktiken åstadkomma ett säkert slutförvar och har därför större betydelse för platsvalet.

Det är i första hand tre typer av risker kopplade till osäkerheter om geologiska förhållanden som kan få så stora konsekvenser och är så sannolika att de kräver omfattande åtgärder och platsanpassning av layouten:

- Risk för spjälkningsproblem i deponeringshåll, i en omfattning som inte kan accepteras med hänsyn till förvarets långsiktiga funktion, alternativt risk för stabilitetsproblem i en omfattning som påverkar arbetarskydd eller som tar stora resurser i anspråk.
- Risk att täthetskrav i deponeringsområdet inte kan uppnås med i dag utprovad teknik eller att de åtgärder som krävs inte kan accepteras med hänsyn till förvarets långsiktiga funktion. Alternativt att övriga delar av förvaret bedöms kräva komplicerade och svårprognostiserade tätningsåtgärder, som skulle kunna leda till stora förseningar eller större omgivningspåverkan.
- Risk att 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.

Riskanalyserna omfattar alla anläggningsdelar under mark. För tillfarter och centralområde värderas risker i termer av förseningar eller påverkan på funktion. För deponeringsområdet görs skattningar av den andel av totalt tillgängliga deponeringspositioner som riskerar att falla bort. Som underlag används bland annat statistiska beskrivningar av bergdomänernas sprickfrekvens, hydrauliska egenskaper och berghållfasthet samt utvärderingar av data om bergspänningar.

6.3.3 Behov av teknikutveckling

De tekniska riskerna kan i regel hanteras med tekniska lösningar. Spjälkningsproblem i deponeringshåll kan exempelvis minimeras genom att orientera deponeringstunnlarna gynnsamt relativt bergspänningsfältet. Det pågår en omfattande utveckling av nya metoder och material för att tätta berget. Ändrad utformning av buffert och återfyllnad skulle möjligen kunna mildra kraven på begränsning av inläckaget av grundvatten. Teknikutvecklingen avser även metoder för detaljundersökningar /SKB 2010e/, kontroller och dimensionering av slutförvaret.

För att kunna värdera de tekniska riskerna inför platsvalet har det varit 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.

6.3.4 Funktionalitet

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

För slutförvaret utvärderas funktionalitetsaspekterna som en del av projekteringen. Funktionalitet för berganläggningar styrs av delvis andra faktorer än för konventionella industrianläggningar. Ett viktigt skäl är nödvändigheten att under hela byggprocessen i berg kunna anpassa utförandet av anläggningarna till varierande bergförhållanden. Flexibilitet, tekniska risker och möjligheter att hantera dessa är därför viktiga komponenter även i värderingen av funktionalitet.

Berganläggningar innebär också snäva fysiska begränsningar av utrymmen till förfogande för godsflöden, trafik, tekniska system (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 utbygg-

nadssekvens som medger detta, utan risker för kapacitetsproblem eller ömsesidiga störningar mellan verksamheterna, är därför nödvändig. 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.

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 transporter till och från slutförvaret som har stor betydelse.

De största transportbehoven uppstår under byggskedet. Godstransporterna i detta skede domineras av överskottsberg som behöver transporteras bort för avyttring samt transporter av byggmaterial till platsen. När förvaret tas i drift minskar omfattningen av transporter. De godsslag som tillkommer är dels behållare med kapslar från inkapslingsanläggningen till slutförvaret, dels lermaterial för buffert och återfyllning från leverantör till slutförvar. Räknet i transportarbete svarar kapseltransporterna för en mycket liten andel, men de utgör en del av den kärntekniska hanteringskedjan i slutförvarssystemet och sker därför under helt andra förutsättningar än konventionella transporter. Även lertransporterna från hamn till slutförvar är begränsade till omfattningen. Lokala persontransporter är det transportslag som i fordon räknat dominerar helt i alla skeden.

Både behoven av och förutsättningarna för transporter är platsberoende. Behoven har beräknats utifrån platsens läge, planerad förvarsutformning, godsvolymer, organisation och verksamhet. Förutsättningarna har utvärderats med avseende på tillgänglig infrastruktur i form av vägnät och hamnar, avstånd till befolkningscentra, antagna pendlingsmönster för personal m m. Konsekvenser av transporter för säkerhet, funktionalitet, miljöpåverkan och kostnader har beaktats.

6.3.5 Synergieffekter

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 att beakta 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 är oberoende av valet av plats för slutförvaret. Men driftstörningar i endera anläggningen kan påverka den andra, om störningarna är för stora för att fångas upp och utjämnas av den flexibilitet som finns i transporter och hantering däremellan. Av detta och andra skäl får transportkedjan betydelse, se avsnittet om funktionalitet ovan.

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, alltså under driftsättningsfasen. Det kommer således att finnas starka tekniska och kompetensmässiga kopplingar mellan Äspölaboratoriet och slutförvaret, åtminstone fram till driftskedet.

När det gäller *mellanlagret för använt kärnbränsle (Clab)* och *slutförvaret för kortlivat radioaktivt avfall (SFR)* finns inga direkta tekniska kopplingar till slutförvaret, förutom transportsystemet som betjänar 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 slutförvaret för använt kärnbränsle. Kravbildningen för lokaliseringen av SFL återstår också att utveckla, parallellt med utvecklingen av förvarskonceptet. Det enda som kan konstateras nu är att SKB:s nuvarande verksamhetsorter givetvis kan bli aktuella för lokaliseringen av SFL, att det därmed finns anledning att bevara data och annan kunskap från platsundersökningarna, samt att det område som tas i bruk för slutförvaret för använt kärnbränsle kommer att vara ”upptaget” när SFL ska lokaliseras.

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

6.3.6 Kostnader

Kostnaderna för hela genomförandet av slutförvarsprojektet, med etablering, drift och avveckling, har beräknats för båda lokaliseringalternativen. 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. Relativa kostnadsjämförelser ger också en god bild av proportionerna mellan de insatser som krävs under olika skeden och för olika delmoment.

6.4 Miljö och hälsa

Faktorerna för bedömning och jämförelse av de båda platserna med hänsyn till påverkan på miljö och hälsa enligt figur 6-1 har sin grund i bestämmelserna i miljöbalken, kärntekniklagen och strålskyddslagen. Miljöbalken ger ramarna för vilka lokaliseringsfaktorer som måste beaktas då det gäller påverkan på miljö och hälsa under bygge och drift av slutförvaret. Miljö- och hälsoaspekter med fokus på den kärntekniska verksamheten återfinns i de föreskrifter som Strålsäkerhetsmyndigheten utfärdat med stöd av kärntekniklagen och strålskyddslagen.

Området miljö och hälsa har delats in i fem faktorer – arbetsmiljö och strålskydd, naturmiljö, kulturmiljö, boendemiljö och hälsa samt hushållning med resurser.

6.4.1 Arbetsmiljö och strålskydd

Oavsett vilken plats som väljs ska bygge och drift genomföras i enlighet med gällande arbetsmiljökrav. Vilka åtgärder som krävs och vilken teknik som är mest lämplig för att uppfylla kraven kan givetvis skilja mellan platserna och därmed innebära skillnader i kostnad. De åtgärder som behöver vidtas ovan jord är de normala för industrianläggningar. Under jord utförs förstärkning av bergutrymmen för att förhindra nedfallande sten, åtgärder vidtas för att minska brandrisken samt för att förhindra översvämning av bergutrymmen. Vidare ordnas säker strömförsörjning av system som är viktiga för personsäkerheten. Åtgärder kan också behövas för att begränsa exponeringen för radon- och spränggaser. Eventuella skillnader i förutsättningar mellan platserna och de åtgärder som krävs kan uttryckas i teknikinsatser och kostnader.

Kapslarna är de enda enheterna i slutförvarsanläggningen som innehåller radioaktivt material. Anläggningen konstrueras så att kapselns täthet bibehålls under hela hanteringen, vilket medför att fri radioaktivitet från det använda bränslet inte kan förekomma. De konstruktioner och åtgärder som behövs för att skydda kapseln samt mot direktstrålning från kapseln är lika för båda platserna och således inte platsskiljande. Berget innehåller i varierande mängd radioaktiva isotoper av uran, torium och kalium. När dessa ämnen sönderfaller bildas bland annat radon som kan innebära en hälsorisk om ventilationen skulle vara otillräcklig. I förvarets bergutrymmen avgår radon från bergytter, inläckande grundvatten, krossat berg på tunnelgolvet samt berggupplag. Radonavgången är så pass stor att det alltid finns risk att exponeringen för radon utgör en hälsorisk. En tillräcklig ventilation är den främsta åtgärden för att begränsa radonhalten. Eventuella skillnader mellan platserna handlar således om att behovet av ventilation är olika omfattande.

6.4.2 Naturmiljö

Vid båda platserna finns olika riksintressen och skyddade områden, se avsnitt 5.3.7 och 5.4.7. Vid platserna finns också andra skyddsvärda eller ekologiskt känsliga områden, till exempel nyckelbiotoper, klassade ängs- och hagmarker, kalkrika skogar, naturvärdesobjekt, sumpskogar samt andra områden med särskilda naturvärden.

Exploatering som berör en art som är upptagen i bilaga 1 eller 2 i artskyddsförordningen kräver dispens av länsstyrelsen. ”Rödlistan” är en förteckning över arter som bedöms löpa risk att försvinna från en region, ett land eller hela världen. Arterna grupperas i kategorier efter risk för utdöende; kategorierna säger dock inget om bevarandevärde eller åtgärdsprioritet. En rödlistad art har formellt skydd, om den är upptagen i artskyddsförordningens bilaga 1 eller 2.

Under både bygge och drift kommer det att förekomma utsläpp till vatten av bergdränage (läns-hållningsvatten), sanitärt avloppsvatten, dagvatten samt lakvatten från bergupplag. Före utsläpp till recipient kommer de olika vattnen att renas i den omfattning det behövs. Som underlag för miljökonsekvensbeskrivningen har behandling och påverkan på miljön av bergdränage, sanitärt avloppsvatten och lakvatten från bergupplag studerats. De skillnader som finns mellan platserna handlar dels om konsekvenser för miljön, dels om kostnader.

6.4.3 Kulturmiljö

Genom århundraden har landskap, markanvändning och bebyggelse utvecklats och förändrats. Med kunskap om landskapets historia kan man peka ut konkreta kulturmiljöer som är viktiga för att värna landskapets historiska kvaliteter och utveckla dem på ett hållbart sätt. Särskilt viktiga kulturmiljöer är sådana som fått någon form av skydd, exempelvis riksintressen för kulturmiljövård, byggnadsminnen, landskapsbildskydd samt fornlämningar.

6.4.4 Boendemiljö och hälsa

För att kunna bedöma hur många som kan tänkas bli störda av buller, utsläpp till luft och vibrationer har uppgifter om befolkning, skolor och vårdlokaler på olika avstånd från störande verksamheter (bergkross, transportleder etc) tagits fram. Uppgifterna redovisas för 1, 5 och 10 kilometer från slutförvarets driftområde.

Anläggningsarbetena för slutförvaret och transporterna till och från anläggningen kommer att orsaka buller. Buller är den enskilt viktigaste faktorn då det gäller påverkan på människor och boendemiljön. Buller under uppförande och drift av slutförvaret har beräknats och jämförts med gällande riktvärden för acceptabla ljudnivåer. Buller från stationära bullerkällor (krossar, fläktar etc) respektive från vägtrafik har olika karaktär varför både beräkningsmetoder och riktvärden skiljer sig åt. De två typerna av buller behandlas därför var för sig. Buller kan också påverka faunan i området.

Förutom buller orsakar bergborrning och sprängningsarbeten även vibrationer och luftstöt vågor. Tunga transporter kan orsaka vibrationer. Om vibrationer och luftstöt vågor är tillräckligt höga kan de medföra skador på byggnader och utrustningar samt ge komfortstörningar för personer som bor i närheten.

Transporter samt uppkomst av damm från bergkross och hantering av bergmassor orsakar utsläpp till luft. Transporterna ger utsläpp av bland annat partiklar, kolväten, kolmonoxid, svaveldioxid, och kväveoxider. Hantering och lagring av bergmassor kan orsaka damning i närområdet, särskilt vid torr väderlek. Som underlag för miljökonsekvensbeskrivningen har halterna av kväveoxider och partiklar (PM10) beräknats. Utsläpp till luft kan också påverka växter.

Vandring, cykling, svamp- och bärplockning, bad, jakt, fiske, fågelskådning, paddling, segling är exempel på aktiviteter som ryms inom lokaliseringsfaktorn rekreation och friluftsliv. Buller och andra störningar från den planerade verksamheten kan påverka förutsättningarna för rekreation och friluftsliv i området.

Exponering för luftföroreningar, buller och vibrationer kan medföra påverkan på människors hälsa. Vidare kan projektet i sig, slutförvaring av radioaktivt avfall, väcka oro och rädsla hos människor. Som underlag för miljökonsekvensbeskrivningen har miljömedicinsk expertis bedömt risken för hälsoeffekter orsakade av luftföroreningar och buller. Risken för psykosociala effekter av slutförvaret har studerats inom ramen för SKB:s program för samhällsforskning.

6.4.5 Hushållning med naturresurser

Förbrukning av naturresurser kan uttryckas både som en fysisk förbrukning och som kostnader. De senare återfinns i kalkylen för slutförvaret. För att få en tydlig bild av skillnaderna mellan platserna då det gäller hushållning med naturresurser har en särskild, jämförande redovisning tagits fram, där förbrukningen av naturresurser uttrycks i andra enheter än kronor, nämligen ton berg, GWh elenergi, GWh drivmedel etc. Medan kostnads-kalkylen omfattar alla aktiviteter och all resursförbrukning har kalkylen för hushållning med naturresurser fokuserats på faktorer med stor resursförbrukning och där det finns skillnader mellan platserna.

Markbehovet mätt i area skiljer inte mycket mellan platserna. Skillnaderna i vilken typ av mark som tas i anspråk påverkar naturmiljö och kulturmiljö och redovisas under dessa rubriker.

Vattenförsörjning gäller dels möjligheterna att förse slutförvarets anläggningar och verksamheter med sötvatten och dels påverkan på enskilda brunnar på grund av att grundvattenytan förväntas sjunka i närområdet när slutförvaret byggs ut. En grundvattensänkning kan också påverka våtmarker och de växter och djur som är beroende av denna miljö för sin fortlevnad; detta redovisas under lokaliseringsfaktorn naturmiljö.

Vid utbyggnad och drift av slutförvaret kommer stora volymer berg att tas ut och transporteras bort från platsen. Överskottsberg kommer så långt som möjligt att avyttras för annan användning. Därmed kan annat uttag av berg och grus inom de berörda regionerna ersättas med bergmaterial från slutförvaret. För etablering av driftområde och bergupplag kan berg- och jordmassor behöva tillföras utifrån.

Behovet av lera till buffert är beroende av antalet kapslar som ska deponeras och ger därmed ingen skillnad mellan platserna. Alla deponeringstunnlar och en stor del av övriga utrymmen ska återfyllas/förslutas med lera. De volymer som ska återfyllas är olika för platserna och motsvarar berguttaget. Olika transporter på land och till sjöss, utvinning av lera till buffert och återfyllning, bygge och drift av anläggningen kräver energi i form av el och drivmedel.

6.5 Samhällsresurser

SKB värderar samhällsaspekterna på valet av plats utifrån ansvaret för att slutförvarsprojektet blir genomfört på bästa sätt. För att slutförvaret överhuvudtaget ska komma till stånd krävs förtroende och acceptans från samhället på den plats och ort som det gäller. Beroendet av lokalt stöd är ingen ny insikt – frivillighet har varit och är en av grundpelarna för hela lokaliseringsprocessen. Förutsättningarna för lokal acceptans tillmättes stor betydelse i de prioriteringar som gjordes inför platsundersökningsskedet, se kapitel 4. Den bedömning som gjorts nu är att det finns ett starkt och stabilt lokalt stöd och intresse för slutförvarsprojektet. Det gäller både i Östhammar och i Oskarshamn, på det politiska planet likaväl som hos en bred allmänhet. Därför betraktar SKB grundförutsättningen politisk acceptans och tillgänglighet som väl uppfylld för båda platserna och därmed inte en faktor att beakta i den jämförande värderingen.

Vilka socioekonomiska förutsättningar som respektive ort ger för att etablera slutförvaret, och vilka konsekvenser en etablering skulle få för samhället, är frågor som utretts ingående. Sannolikt har inget annat industriprojekt i landet genomlysts lika grundligt ur dessa aspekter. Som genomförare beaktar SKB i första hand vad samhället har att erbjuda projektet. Den fråga som ställs är alltså vilka resurser som finns och kommer att finnas i form av leverantörer, service, kompetens och rekryteringsbas, kommunikationer och annat som påverkar jordmånen för en stor industrietablering. Platserna har jämförts i dessa avseenden.

Den andra sidan av saken är vad SKB:s verksamhet och slutförvarsprojektet kommer att innebära för samhället i form av exempelvis demografi, sysselsättning, servicebehov och trafik. Där bidrar SKB med underlag, men hur konsekvenserna ska värderas är i allt väsentligt en angelägenhet för andra aktörer, i första hand den berörda kommunen och dess invånare.

7 Jämförande värdering och val

I detta kapitel redovisas först de jämförande värderingar av Forsmark och Laxemar som gjorts och som omfattar alla lokaliseringsfaktorer som beskrivs i kapitel 6. Därefter redovisas SKB:s samlade värdering av platserna och slutligen motiven för att välja Forsmark som plats för slutförvaret.

7.1 Säkerhetsrelaterade platsegenskaper

En jämförande värdering av platsernas förutsättningar för långsiktigt säker förvaring har genomförts enligt den metodik som redovisats i avsnitt 6.2 och mera detaljerat i /SKB 2010b/. För faktorerna bergets sammansättning och strukturer, framtida klimatutveckling, känslighet för stora jordskalv, biosfärsförhållanden samt platskännedom är slutsatsen att båda platserna är lämpliga och att skillnaderna mellan platserna är små. Vad gäller vissa bergmekaniska förhållanden, grundvattenströmning, framtida grundvattensammansättning och förmåga att fördröja utsläppta radionuklider bedöms skillnaderna vara av större betydelse för säkerheten.

7.1.1 Bergets sammansättning och strukturer

Förvarets anpassning till bergets sammansättning och strukturer

Utifrån de analyser och värderingar som redovisas i Berglinjerapporten /SKB 2010c/, konstateras i /SKB 2010b, kap 2/ att det är möjligt att utforma och anpassa deponeringsområden och deponeringstunnlar så att de uppfyller ställda krav på båda platserna. Anpassningen leder dock till olikheter i hur enkelt och robust det tekniska genomförandet kan åstadkommas. De riskanalyser som gjorts för det tekniska genomförandet redovisas i avsnitt 7.2. Dessutom visar den genomförda projekteringen för respektive plats /SKB 2009a/ respektive /SKB 2009d/ att följande skillnader kan förväntas:

- I Laxemar förväntas majoriteten av de accepterade deponeringshålens skäras av en vattenförande spricka, medan detta gäller endast för ett fåtal (< 6 %) av deponeringshålens i Forsmark.
- I Laxemar förväntas en stor andel av deponeringstunnlarna behöva injekteras för att klara krav på inflöden, medan denna andel är väsentligt lägre i Forsmark.
- I Forsmark förväntas delar av deponeringshålens väggar spricka upp till följd av överbelastning ("spjälkning"), efter att dessa borrats upp. Skadorna förväntas dock vara begränsade och ligga inom accepterade toleranser. Detta kan kontrolleras innan beslut fattas om att använda deponeringshålet.

Dessa skillnader påverkar i första hand hur stor andel av berget som kan användas för deponering, se avsnitt 7.2, men det faktum att en stor andel av de tänkbara godkända deponeringspositionerna i Laxemar också förväntas ha relativt höga flöden har även betydelse för den långsiktiga säkerheten, se avsnitt 7.1.9.

Mineraltillgångar

Platsmodellerna redovisar eventuella områden med mineraltillgångar som skulle kunna vara av intresse för framtida utvinning.

I Forsmark finns ett område med järnmineraliseringar sydväst om kandidatområdet men mineraliseringarna är mycket små och bedöms inte motivera framtida exploatering /SKB 2008a, avsnitt 11.2.4/. Vidare kan det inte helt uteslutas att det finns järnmineraliseringar i ett område norr om kandidatområdet. I Laxemar visar genomförda utredningar att hela det regionala området i Simpevarp kan betraktas som sterilt när det gäller malm och metalliska mineraliseringar /SKB 2009c, avsnitt 11.2.4/. Sammanfattningsvis görs bedömningen i /SKB 2010b, kap 10/ att det inte finns mineraltillgångar som skulle kunna motivera framtida exploatering vid någon av platserna.

7.1.2 Framtida klimatutveckling

Ett framtida klimat präglad av global uppvärmning 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 förväntas dock utsättas för framtida inlandsisar. Detta kan påverka grundvattenströmningen, eftersom isen ändrar förutsättningarna för grundvattenflöde i berget. Det påverkar även grundvattnets framtida sammansättning, eftersom smältvattnet från isen antas ha hög halt av löst syre och mycket låg salthalt. Betydelsen av detta diskuteras i avsnitten om hydrogeologi och grundvattnets sammansättning.

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/(mK) medan den i Laxemar varierar mellan 2,6 W/(mK) och 2,9 W/(mK) för de olika bergdomänerna. Det innebär principiellt 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 till några hundra meters djup. Frysningen når dock inte ner till förvarsnivå, inte ens för ett realistiskt fall där alla osäkerheter kombineras så att förutsättningarna för att permafrosten ska nå djupt maximeras. Dessutom gäller att bentonitbufferten fryser först vid temperaturer under -4 °C och analyser visar att bufferten klarar att frysa och tina och då återfå sina egenskaper. Det gäller även återfyllnaden i deponeringstunnlarna. Återfyllnadsmaterial i tillfarterna, på högre nivåer, kommer att frysa, men bedömningen är att lermaterialen även här återfår sin funktion när temperaturen åter stiger.

7.1.3 Bergmekaniska förhållanden

Termiskt inducerad spjälkning

De bergmekaniska förhållandena, bergspänningar och bergets hållfasthet skiljer sig mellan platserna, se kapitel 7 i /SKB 2008a/ respektive /SKB 2009c/. Forsmark har relativt höga bergspänningar jämfört med vad som är vanligt i den svenska berggrunden. Den största horisontalspänningen är enligt tolkningar av de mätningar som gjorts i genomsnitt cirka 41 MPa på 500 m djup. Laxemar uppvisar mer typiska värden, med en största horisontalspänning om cirka 22 MPa på 500 m djup, se figur 7-1. Den största horisontalspänningen är i båda fallen nästan identiskt med största huvudspänningen. Bergets hållfasthet uttryckt som enaxlig tryckhållfasthet är å andra sidan generellt högre i Forsmark (medelvärden 226 respektive 370 MPa för dominerande bergarter) än i Laxemar där hållfastheten varierar mellan olika bergarter (167 MPa till 225 MPa).

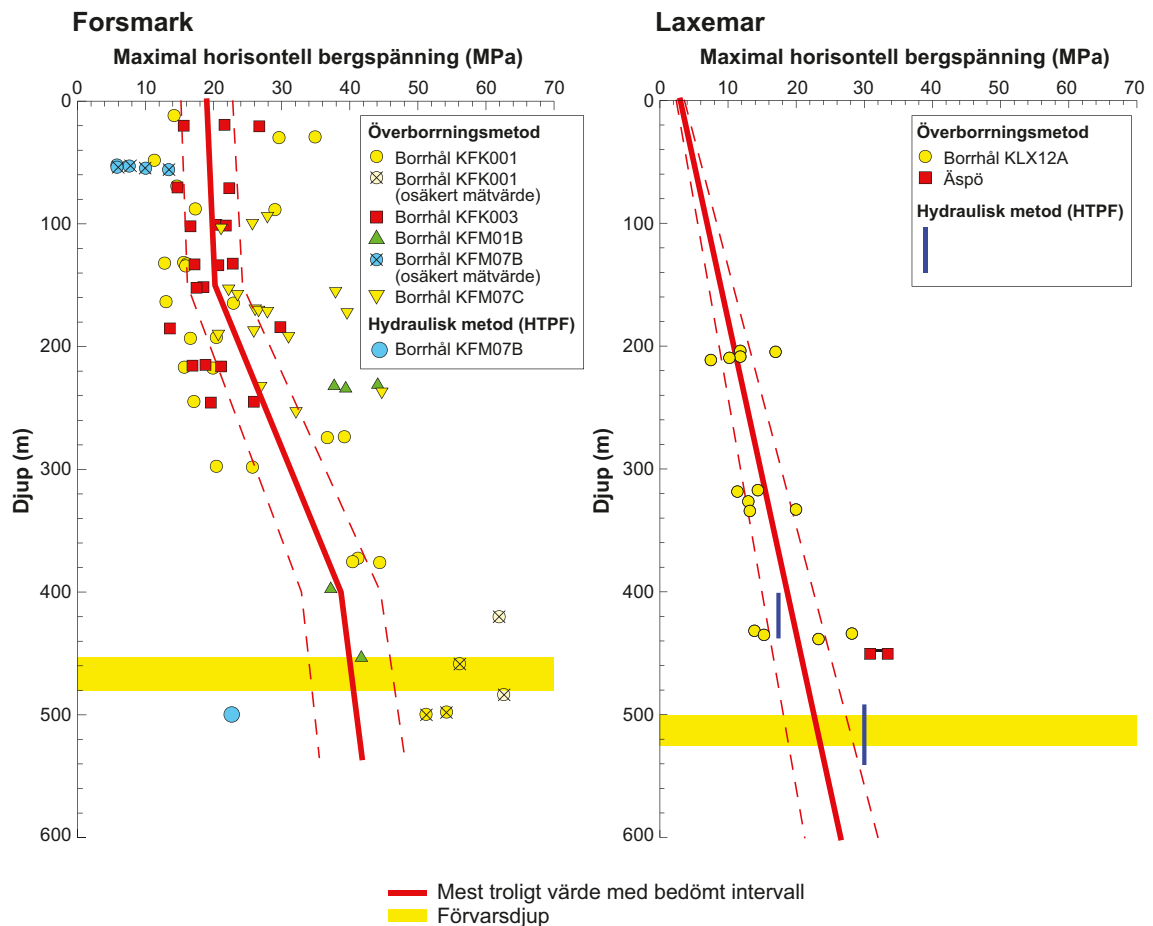
En bergmekanisk analys har genomförts av vad som händer när temperaturen ökar i berget på grund av värmen som avges från de deponerade kapslarna /Hökmark et al. 2010/. Bergets värmeutvidgning ger ett tillskott till bergspänningarna kring deponeringshålen vilket medför risk för att bergets hållfasthet överskrids en tid efter att kapslarna deponerats. Analysen visar att:

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

I /SKB 2010b/ konstateras att spjälkningen väsentligt kan öka utbytet av lösta ämnen mellan buffert och vatten i sprickor i berget, men trots denna ökning blir utbytet lägre i Forsmark än i Laxemar, eftersom grundvattenflödet kring deponeringshålen är betydligt högre i Laxemar.

Jordskalv

Sannolikheten för framtida jordskalv tillräckligt stora för att kunna ha betydelse för kapselns integritet, det vill säga med magnitud större än ca M5, är mycket liten vid båda platserna men kan inte helt försummas. Risken att rörelser som induceras av jordskalven skulle kunna skada deponerade kapslar reduceras kraftigt eller elimineras helt genom att förvaret anpassas till deformationszoner och sprickor.



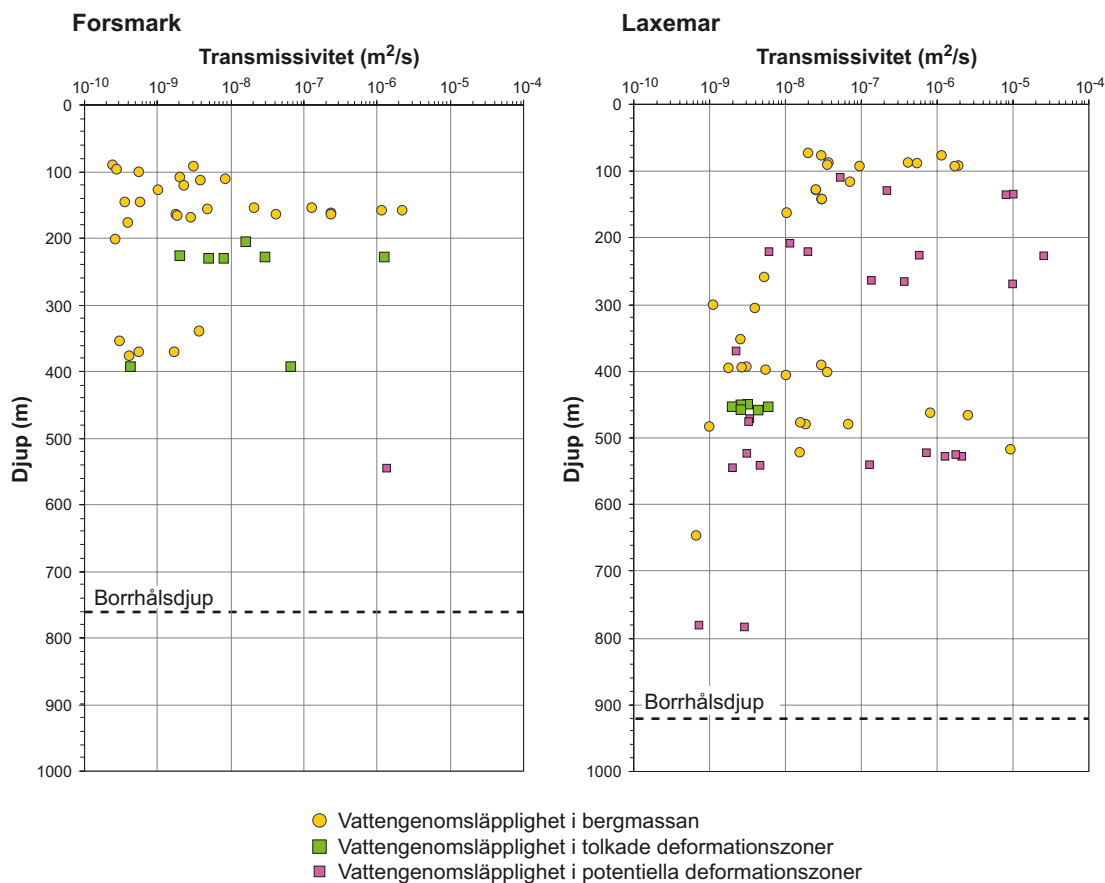
Figur 7-1. Data från bergspänningsmätningar och tolkning av bergspänningar i Forsmark respektive Laxemar.

Genomförda analyser visar att en sådan anpassning kan göras framgångsrikt på båda platserna och att platserna i detta avseende är likvärdiga. Vid båda platserna finns stora så kallade 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.

7.1.4 Grundvattenströmning

De hydrogeologiska förhållandena, speciellt frekvens av vattenförande sprickor och deras genomsläpplighet i förvarsvolymen, 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 meters nivå (se figur 7-2). I platsmodellerna tolkas dessa data som att det i Forsmark finns mycket få vattenförande sprickor under nivån 400 m, medan detta inträffar först under nivån 650 m i Laxemar. Nivån i Laxemar är dock osäker och kan ligga djupare. På 500 meters djup är medelavståndet mellan vattenförande sprickor mer än 100 m i Forsmark, medan det är ca 9 m i Laxemar, utom i ett ännu mer vattenförande område i norra delen av förvarsområdet där medelavståndet är 4 m.

Som en del av bergprojekteringen gjordes bedömningen att förvaret bör ligga på cirka 500 m djup (högsta nivå ca 450 m i Forsmark och ca 500 m i Laxemar) på båda platserna. Om förvaret i Laxemar placerades på nivåer under 700 m skulle visserligen frekvensen av vattenförande sprickor sannolikt vara lägre, men en placering på så stort djup bedöms som olämplig med avseende på nuvarande kännedom om platsen på det djupet, driftförutsättningar, högre temperatur i berget m m.



Figur 7-2. Vattengenomsläpplighet (uttryckt som transmissivitet) för de vattenförande sprickor som påträffats i typiska borrhål i Forsmark (borrhål KFM08A), respektive Laxemar (borrhål KLX011A). Mätningar har gjorts från ca 80 meters djup till borrhålets slut. Varje punkt representerar de enskilda vattenförande sprickor som identifierats.

Den högre frekvensen av vattenförande sprickor på förvarsnivå i Laxemar än i Forsmark gör att det är fler tänkbara deponeringspositioner som kan korsas av vattenförande sprickor. Därmed blir också en högre andel positioner kopplade till högt grundvattenflöde kring deponeringshålen och lågt transportmotstånd. Genomförda analyser visar att det ekvivalenta flödet i medeltal är cirka 100 gånger högre och att transportmotståndet är mer än 10 gånger lägre i Laxemar. Skillnaden i andelen ogynnsamma deponeringspositioner blir mindre om man vid valet av positioner undviker sådana som korsas av starkt vattenförande sprickor. Det leder dock till att berget utnyttjas mindre effektivt, se avsnitt 7.2. Sammantaget är därför de hydrogeologiska egenskaperna betydligt mer gynnsamma i Forsmark än i Laxemar.

Grundvattenflödet påverkas även av den framtida klimatutvecklingen. Under perioder av permafrost avstannar grundvattenflödet i de frysta delarna av berget. Detta bedöms generellt vara gynnsamt för säkerheten, men påverkan är förmodligen liten. Under perioder när randen av en smältande inlandsis befinner sig vid platsen kan dock drivkraften för grundvattenströmningen öka dramatiskt, på grund av de stora ishöjdskillnaderna vid isens front. De analyser som gjorts visar att ökningen av grundvattenflödet under sådana extrema förhållanden är likartad vid de båda platserna och den relativa fördelen för Forsmark består även i detta läge.

7.1.5 Grundvattnets sammansättning

Platsundersökningarna visar att grundvattnets sammansättning till sina huvuddrag är likartad på de båda platserna. Nära markytan är vattnet påverkat av nederbörd som har mycket låg salthalt. Mot djupet stiger salthalten vilket tyder på att vattnet härrör från bland annat Littorinahavet, som bildades efter den senaste istiden. Rester av smältvatten från inlandsisen påträffas också, även på nivåer som motsvarar förvarsdjup. På ännu större djup är salthalterna ännu högre och vattnet bedöms vara mycket äldre.

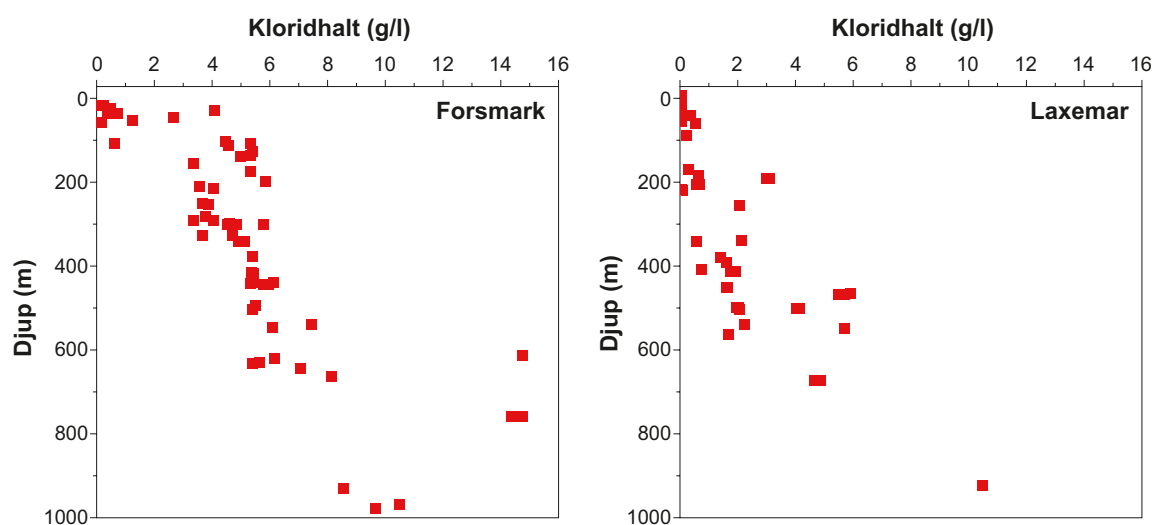
Det finns viktiga skillnader mellan platserna, liksom i bedömningen av hur grundvattnets sammansättning kommer att ändras i framtiden. I Forsmark ligger det grundvatten som påverkas av vattensammansättningen på ytan relativt grunt, medan påverkan nått betydligt större djup i Laxemar, se figur 7-3. Skillnaden beror främst dels på att berget under 150 m djup är betydligt tätare i Forsmark än i Laxemar och dels på att Forsmark befunnit sig ovanför havsnivån mycket kortare tid än Laxemar.

Nedträngningsdjupet för det mer utspädda vattnet kommer att öka på båda platserna fram till nästa istid, men påverkan bedöms bli mindre i Forsmark än i Laxemar. Under den kommande årmiljonen, då flera istider varvat med perioder med tempererat klimat antas förekomma, kommer Forsmark att vara täckt av hav, liknande Littorinahavet eller dagens Östersjön, under betydligt längre tid än Laxemar. Dessa och andra skillnader mellan platserna påverkar den långsiktiga säkerheten.

Grundvattnets salthalt och innehåll av kalcium påverkar stabiliteten hos bentonitleran. Låga halter kan innebära problem med avseende på detta. Även om salthalterna sjunker i en framtid, är det troligt att den låga vattengenomsläppligheten i Forsmark gör att salthalten förblir relativt opåverkad över stora delar av förvarnsnivån. I Laxemar är salthalten redan idag lägre och förväntas sjunka ytterligare. Generellt innebär det att risken för att bentonitleran eroderas och tillräckligt mycket försvinner för att bufferten i några deponeringshål ska förlora sin skyddande funktion är mindre i Forsmark än i Laxemar.

Grundvattnets halt av sulfid är också viktig, eftersom sulfiden kan korrodera koppar och därmed skada kapseln. Om bentonitbufferten är intakt krävs det extremt höga sulfidhalter för att detta ska kunna bli ett problem. Om bufferten skadas blir dock 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 kunna omvandla sulfat till sulfid. Den framtida utvecklingen av sulfidhalterna förväntas också vara likartad på båda platserna. Det finns därmed inga tydliga skillnader mellan platserna i detta avseende.

Grundvattnet på förvarnsnivå får inte innehålla löst syre eftersom syre korroderar koppar. Idag förbrukas syret i infiltrerande nederbörd genom mikrobiella processer mycket nära ytan och kravet är därmed 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 mineraler, främst kalcit, vilket tyder på god kapacitet 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 med tanke på att vattengenomsläppligheten är så mycket lägre i Forsmark, blir ändå den totala kapaciteten att hindra nedträngning av löst syre betydligt bättre i Forsmark.



Figur 7-3. Uppmätt kloridhalt för olika djup vid Forsmark och Laxemar.

Grundvattnets sammansättning och framtida utveckling uppvisar 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 är tätare i Forsmark än i Laxemar. Å andra sidan innebär det tätare berget i Forsmark också att det finns en något lägre tilltro till den geokemiska beskrivningen där. I Forsmark har det varit svårt att ta vattenprover eftersom berget är så tätt.

7.1.6 Fördröjning av lösta ämnen

En värdering har gjorts av bergets förmåga att fördröja utsläppta radionuklider om kapslar skulle skadas. Analysen bygger dels på de platsspecifika flödesrelaterade transportegenskaper som bestämts och dels på en värdering av bergets förmåga att fördröja utsläppet genom matrisdiffusion och sorption, baserad på platsspecifika data.

Data visar att bergmaterialets förutsättningar för matrisdiffusion och sorption är goda och likartade för båda platserna. Potentialen för fördröjning via matrisdiffusion är visserligen något större i Laxemar. Generellt blir dock bergets förmåga att fördröja utsläppta radionuklider bättre i Forsmark, eftersom strömningsvägarna där har mycket större transportmotstånd.

7.1.7 Biosfärsförhållanden

En kvantitativ jämförelse har gjorts av doskonsekvenserna under tempererade förhållanden för ett hypotetiskt utsläpp till mark, sjöar och vattendrag vid respektive plats /SKB 2010b, avsnitt 9/. Jämförelsen visar att skillnaderna mellan platserna är små jämfört med osäkerheterna i sådana bedömningar. En värdering har även gjorts av de framtida biosfärsförhållandena på platserna. Den visar att Forsmark på grund av sitt mera nordliga läge sannolikt kommer att befinna sig under inlandsis eller under havet betydligt längre perioder än Laxemar. Under dessa perioder blir doser från eventuella utsläpp av radioaktiva ämnen mycket små.

7.1.8 Platskännedom

Det finns en stor tilltro till platsbeskrivningarna på båda platserna, se kapitel 11 i respektive platsbeskrivning /SKB 2008a/ respektive /SKB 2009c/. Denna bedömning grundas på att det finns en stor mängd data från platserna och att dessa data kan tolkas entydigt och med stor överensstämmelse mellan olika ämnesområden.

Det kan samtidigt konstateras /SKB 2010b, kap 11/ att området Laxemar är mer geologiskt heterogent än Forsmarksområdet. Det innebär 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 under mark, i samband med att förvaret byggs.

7.1.9 Förväntad risk och sammanfattande bedömning

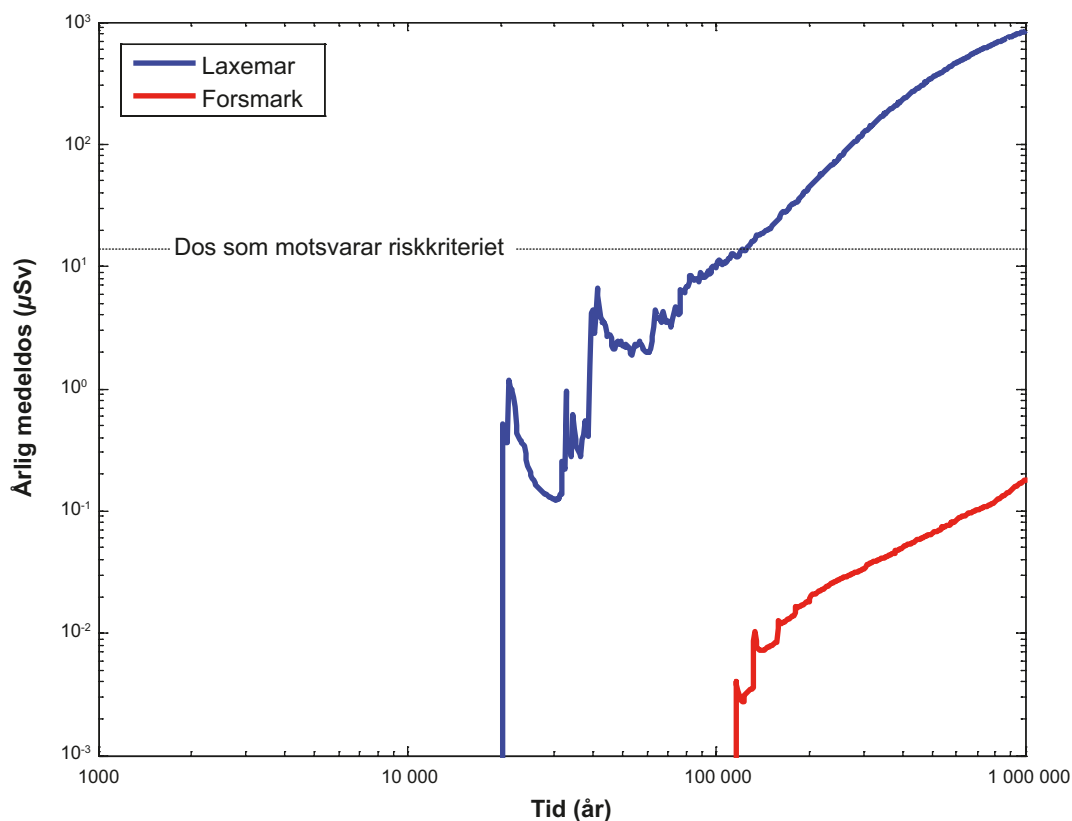
Tidigare analyser av den långsiktiga säkerheten vid platserna har visat att kapslar på mycket lång sikt skulle kunna skadas av korrosion om bufferten förloras och möjligen också av stora jordskalv i förvarets närhet.

Många säkerhetsrelaterade platsegenskaper är relativt lika för platserna. Det gäller t ex sannolikheten för framtida stora jordskalv, som är liten och bedöms få små konsekvenser vid båda platserna. Skillnaderna i hydrogeologi och även grundvattnets framtida sammansättning ger dock väsentliga skillnader i bedömningen av den långsiktiga säkerheten. Vi kan idag inte utesluta att bentonitleran i bufferten eroderas om det omgivande grundvattnet får för låg salthalt. Under en framtida glaciation skulle salthalten kunna bli för låg på båda platserna, även om det är mindre troligt i Forsmark. Eftersom flödena är lägre i Forsmark kommer färre deponeringshål att påverkas där. Om tillräckligt mycket av bentonitleran i bufferten försvinner kan kapseln efter mycket lång tid skadas genom korrosion av sulfid. Korrosionshastigheten, och därmed antalet kapslar som skulle kunna skadas, beror direkt 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 efter mer än hundra tusen år. De betydligt högre flödena i Laxemar innebär att många fler kapslar kan skadas där.

Skillnaden i förutsättningar för framtida kapselskador ger stora skillnader i den beräknade risken för ett slutförvar som uppförs enligt fastlagd referensutförning vid Forsmark, respektive Laxemar /SKB 2010b, avsnitt 10/. Figur 7-4 visar den beräknade årliga genomsnittliga effektiva dosen som blir följden av sådana kapselskador, för Forsmark respektive Laxemar. De första utsläppen i Forsmark uppstår i referensscenariot först efter cirka 114 000 år, när den första kapseln beräknas gå sönder. Under den analyserade perioden av en miljon år är marginalen upp till den dos som motsvarar det gränsvärde som Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter anger (SSMFS 2008:37, 5 §, det så kallade riskkriteriet) som minst ungefär en faktor 100. I Laxemar sker det första kapselbrottet långt tidigare, dosen överstiger gränsvärdet efter cirka 100 000 år och ökar sedan till en nivå som närmar sig nivån för dagens naturliga bakgrundsstrålning. Kurvorna för både Forsmark och Laxemar i figur 7-4 har en oregelbunden form under ett skede som motsvarar ca 50 000 år efter kapselgenombrott. Förklaringen är att den totala dosen som redovisas utgörs av de summerade bidragen från ett flertal radionuklider med varierande halveringstider, som frigörs när kapslar går sönder. En fullständig redovisning med fördelning på bidragande radionuklider ges i /SKB 2011a/ för Forsmark och i /SKB 2010b/ för Laxemar.

Resultaten i figur 7-4 förutsätter att det tekniska utförandet av slutförvaret uppfyller konstruktionskraven, dvs att avsett initialtillstånd uppnås. Vad detta bedöms innebära i termer av andel av teoretiskt tillgängliga deponeringspositioner som inte kan nyttjas, exempelvis därför att de inte uppfyller täthetskrav vid deponering, behandlas i avsnitt 7.2. I den jämförande analysen av säkerheten /SKB 2010b/ värderas därutöver ett hypotetiskt fall där konsekvensen av att även kunna undvika deponeringshål med framtida höga grundvattenflöden analyseras. Analysen visar att om sådana urvalskriterier används skulle det kunna vara möjligt att reducera den beräknade dosen avsevärt, dock till priset av ett mycket stort bortfall av deponeringshål och nödvändigheten att utveckla och verifiera teknik som visar ett sådant urval verkligen fungerar.

Sammantaget innebär de analysresultat som refererats ovan att förutsättningarna för att åstadkomma ett säkert slutförvar bedöms vara betydligt gynnsammare i Forsmark än i Laxemar. Det fullständiga underlaget för denna slutsats redovisas i /SKB 2010b/.



Figur 7-4. Årlig genomsnittlig effektiv dos för korrosionsscenarioet, för Forsmark och Laxemar (bearbetad efter figur 10-5 och 10-6 /SKB 2010b/).

Det är tänkbart att fortsatt forskning visar att vi idag behandlar bentoniterosionen alltför pessimistiskt. Den relativa fördelen för Forsmark skulle därmed kunna minska betydligt. Det är dock svårt att tänka sig att den säkerhetsmässiga rangordningen mellan platserna skulle ändras med tillkommande kunskap. De låga grundvattenflödena och de höga transportmotstånden i berget i Forsmark är under alla förhållanden positivt för säkerheten, bland annat därför att berget därigenom blir en mer effektiv barriär mot transport av radionuklider.

7.2 Teknik för genomförande

7.2.1 Flexibilitet

Driftområde och tillfarter

I **Forsmark** har anläggningar ovan jord samt tillfarter i form av schakt och ramp från ovanjordanläggning till förvarets centralområde förlagts till Söderviken. I redovisningen av förutsättningarna för utformningen av förvaret /SKB 2008b/ konstateras att tillfarterna kommer att behöva passera varierande bergförhållanden. Nära ytan, ner till 50–200 meters djup, finns en hög frekvens av vattenförande flacka sprickor och mindre sprickzoner (sprickdomän FFM02). Zonerna kan vara upp mot 10 m mäktiga och innehålla sedimentfyllda och mycket vattenförande sprickor. Därunder och ner till förvarsdjup är berget sprickfattigt med endast ett fåtal sprickor som leder större mängder vatten (sprickdomän FFM01). Bergspänningarna är på större djup relativt höga och det kan därför inte uteslutas att berget spjälkas vid ofördelaktiga tunnelorienteringar.

Slutrapporten från projekteringen av Layout D2 Forsmark /SKB 2009a/ visar att bygget av schakt och ramp är genomförbart i det tänkta området i Forsmark. Följande behöver dock beaktas:

- Driftområdets läge och disposition medger endast smärre justeringar av det exakta läget för påslag av schakt och ramp, om detta skulle visa sig motiverat vid detaljprojekteringen.
- Passagen genom de övre vattenförande delarna av berget nära ytan ställer stora krav på tätning, speciellt som det finns krav ur miljösynpunkt på begränsning av grundvattenavsänkning i området.
- För att förenkla tätningsarbetet behöver sträckningen för rampen i möjligaste mån anpassas till orienteringen av de vattenförande sprickorna. De tillgängliga bergvolymerna är tillräckliga för att göra en sådan anpassning.
- För att minimera risken för spjälkning behöver centralområdets bergrum – och så stor del som möjligt av rampens nedre delar – orienteras i väsentligen samma riktning som den största horisontalspänningen. De tillgängliga bergvolymerna medger detta.

Den samlade slutsatsen är att det finns goda förutsättningar att bygga förvarets tillfarter enligt planerad utformning i Forsmark och att det finns tillräcklig flexibilitet för att göra fortsatta anpassningar av dessa under detaljprojektering och bygge.

I **Laxemar** har anläggningar ovan jord samt tillfarter i form av schakt och ramp till förvarets centralområde förlagts till ett område kallat Oxhagen. I redovisningen av förutsättningarna för utformningen av förvaret i Laxemar /SKB 2009f/ konstateras bland annat att jordtäckets i området är mycket begränsat och att bergspänningarna är relativt måttliga. Tillfarterna kommer att behöva passera ett flertal vattenförande sprickor och mindre deformationszoner som kommer att behöva tätas med injektering. Frekvensen av dessa avtar något på djup under 200–250 m.

Slutrapporten från projekteringen Layout D2 Laxemar /SKB 2009d/ visar att bygget av schakt och ramp är genomförbart i det tänkta området. Följande behöver dock beaktas:

- Tillgängligt markområde samt driftområdets läge och disposition medger vissa justeringar av det exakta läget för påslag av schakt och ramp, om detta skulle visa sig motiverat vid detaljprojekteringen.
- För att förenkla tätningsarbetet behöver sträckningen för rampen i möjligaste mån anpassas till orienteringen av de vattenförande sprickorna. De tillgängliga bergvolymerna är tillräckliga för att göra en sådan anpassning.

Sammanfattningsvis kan det konstateras att det finns goda förutsättningar att bygga förvarets tillfarter enligt planerad utformning och att det finns tillräcklig flexibilitet för att göra fortsatta anpassningar av dessa under detaljprojektering och bygge.

Båda platserna bedöms alltså ge goda möjligheter att bygga förvarets tillfarter enligt planerad utformning, liksom 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.

Deponeringsområdet

I **Forsmark** har anpassningen av deponeringsområdena till bergets egenskaper utgått ifrån följande /SKB 2008b/:

- Förvardsjupet bör ligga inom intervallet 450–500 meter, eftersom frekvensen av vattenförande sprickor minskar dramatiskt på djup under 400 m. Större djup ger nackdelar i form av högre initialtemperatur hos berget, vilket innebär ett större förvar eftersom avståndet mellan deponerade kapslar måste ökas. Bergspänningarna förefaller inte öka väsentligt med djupet under nivån 300 meter /Martin 2007/.
- Slutförvarets yttre begränsningar anpassas till den tektoniska linsens avgränsning.
- Utformningen anpassas till fastlagda respektavstånd till fyra deformationszoner inom och i anslutning till förvarsvolymen.
- Minsta avstånd mellan deponeringshål för att tillgodose krav på maximitemperatur i bufferten är enligt utförd termisk dimensionering 6,0 m respektive 6,8 m i de två så kallade bergdomäner som förekommer i förvarsvolymen, med förutsättningen att deponeringstunnlarna ligger på 40 meters inbördes avstånd.
- För att minimera risken för brott i intakt berg (spjälkning) ska deponeringstunnlarna orienteras nära parallellt (inom $\pm 30^\circ$) med riktningen på den största horisontalspänningen. Eventuella spjälkningsproblem i andra tunnlar hanteras med förstärkning och anpassning av tunnarnas form.

Med dessa förutsättningar har en platsanpassad layout (figur 5-7) på 470 meters djup tagits fram /SKB 2009a/. Med aktuella kapselavstånd och restriktioner enligt layouten är bruttokapaciteten 7 818 kapslar inom det undersökta området. Kravet på utrymme för cirka 6 000 kapslar innebär då att ett bortfall upp till 23 % (1818/7818) kan hanteras.

I **Laxemar** har anpassningen av deponeringsområdena till bergets egenskaper utgått ifrån följande /SKB 2009f/:

- Förvaret bör placeras på djup större än 400 m eftersom hydrogeologiska data /Rhén et al. 2008/ visar att frekvensen av vattenförande sprickor är relativt konstant i djupintervallet 400 m till 650 m. Förvaret bör å andra sidan inte placeras för djupt eftersom bergets initiala temperatur ökar med cirka 1,5 °C per 100 m. Det innebär att färre kapslar får plats på större djup, trots att tillgänglig yta ökar mellan 400 och 650 m djup på grund av orienteringen på de deformationszoner som avgränsar deponeringsområdet. Hydrogeologiska fördelar med större djup uppnås först om förvaret placeras under 700 meters djup. Så stora djup ger emellertid avgörande nackdelar i form av bland annat större förvarsyta (större kapselavstånd på grund av högre initialtemperatur) och byggtkniska osäkerheter (höga grundvattentryck, möjliga stabilitetsproblem). Förvaret bör därför placeras på cirka 500 m djup.
- Slutförvarets placeras inom ett antal angivna bergdomäner.
- Utformningen anpassas till fastlagda respektavstånd till deformationszoner.
- Minsta avstånd mellan deponeringshål för att tillgodose krav på maximitemperatur i bufferten är enligt utförd termisk dimensionering mellan 8,1 till 10,6 m, beroende på i vilken bergdomän dessa placeras, och med förutsättningen att deponeringstunnlarna ligger på 40 meters inbördes avstånd.
- För att minimera risken för brott i intakt berg (spjälkning) ska deponeringstunnlarna orienteras nära parallellt (inom $\pm 30^\circ$) med riktningen på den största horisontalspänningen. Eventuella spjälkningsproblem i andra tunnlar hanteras med förstärkning och anpassning av tunnarnas form.

Med dessa förutsättningar har en platsanpassad layout (figur 5-13) på 500 meters djup tagits fram /SKB 2009d/. Med aktuella kapselavstånd och restriktioner enligt layouten är bruttokapaciteten cirka 8 050 kapslar inom det prioriterade området. Kravet på utrymme för cirka 6 000 kapslar innebär då att ett bortfall upp till 25 % (2050/8050) kan hanteras.

Sammanfattningsvis konstateras att de platsanpassade försvarslayouter som tagits fram för båda platserna ger bruttokapaciteter som överstiger behovet av tillgängliga deponeringspositioner enligt referensutförningen (cirka 6 000 positioner) med drygt 20 %. Riskbilden vad gäller bortfall av deponeringspositioner diskuteras i avsnitt 7.2.2.

Möjligheter att öka kapaciteten

I **Forsmark** finns möjligheter att öka kapaciteten, dels inom de områden som är väl undersökta, dels genom att utvidga förvaret till angränsande områden, främst mot sydost. Det senare gäller med reservation för att kunskapen om bergförhållandena i dessa områden är ofullständig och undersökningar krävs för att bekräfta lämpligheten. Förvarets kapacitet kan också ökas genom att driva den termiska dimensioneringen längre så att försvarsområdet utnyttjas mera effektivt. Totalt bedöms termisk optimering kunna minska ytbehovet med minst ca 20 %, och därmed ge en ökning av bruttokapaciteten med ca 1 500 positioner, dock till priset av längre kapselavstånd varför fler deponeringstunnlar behövs /SKB 2009a/. En annan möjlighet är att bygga ytterligare en försvarsnivå, ca 100 meter under den första. Den platsbeskrivande modellen /SKB 2008a/ anger likartade hydrogeologiska och termiska egenskaper som på nu föreslagen försvarsnivå, men bergets något högre initialtemperatur på större djup gör att avståndet mellan deponeringshål blir större. Värmeutvecklingen från den övre nivån måste också beaktas, dvs. deponeringsförloppet på den övre nivån kan påverka den termiska dimensioneringen av den undre nivån. Bergspänningarna bedöms inte öka väsentligt, men osäkerheterna för denna parameter ökar med djupet.

Laxemar ger jämförbara eller bättre möjligheter att öka kapaciteten genom att förbättra den termiska dimensioneringen. Om till exempel tunnelavstånden minskas från 40 m till ca 30 m skulle bruttoökningen av försvarskapaciteten kunna bli upp till 2 000 deponeringspositioner /SKB 2009d/, dock till priset av längre kapselavstånd och fler deponeringstunnlar. En annan möjlighet är att bygga ytterligare en försvarsnivå, ca 100 meter under den första. Den platsbeskrivande modellen /SKB 2009c/ anger likartade hydrogeologiska och termiska egenskaperna som på nu föreslagen försvarsnivå. Bergets högre initialtemperatur på större djup och värmeutvecklingen från den övre nivån måste också beaktas, på samma sätt som beskrivits för Forsmark. Bergspänningarna bedöms inte öka väsentligt, men osäkerheterna ökar med djupet. Ett tredje alternativ är att expandera förvaret mot väster och söder.

Oavsett plats gäller att eventuella åtgärder för att optimera den termiska dimensioneringen måste vidtas i ett tidigt skede för att få god effekt. Utbyggnader mot djupet eller expansion av försvarsområdet ska ses som hypotetiska möjligheter på lång sikt. Sammanfattningsvis finns det inga avgörande skillnader mellan platserna vad gäller bruttokapacitet för ett förvar inom de områden som är väl undersökta, eller för framtida utbyggnadsmöjligheter.

7.2.2 Tekniska risker och behov av teknikutveckling

Tekniska genomföranderisker har analyserats på det sätt som beskrivs i avsnitt 6.3.2, med fokus på anläggningar och verksamhet under mark.

Tillfarter och centralområde

Den riskanalys som gjorts vid projekteringen för Forsmark /SKB 2009a/ visar att bygget av tillfarter och centralområde inte medför några risker som bedöms kräva särskilda åtgärdsplaner. Risken för betydande förseningar på grund av omfattande tätningsarbeten (injektering) i de övre delarna av tillfarterna bör dock uppmärksammas. Motsvarande riskanalys har gjorts vid projekteringen för Laxemar /SKB 2009d/. Även där är slutsatsen att det inte finns några betydande risker som bedöms kräva särskilda åtgärdsplaner, men att risken för omfattande förseningar på grund av omfattande injekteringsbehov bör uppmärksammas.

För bygget och driften av slutförvarets tillfarter bedöms riskerna för både Forsmark och Laxemar således vara begränsade. De skillnader som finns gäller typ av risker, men de potentiella konsekvenserna för slutförvarsprojektet bedöms vara jämförbara och i båda fallen som sagt begränsade. Motsvarande gäller för centralområdet. Riskbilden för tillfarter och centralområde ses därför inte som någon betydelsefull faktor i jämförelsen av platserna.

Deponeringsområdet

Den riskanalys som gjorts för deponeringsområdet vid projekteringen av ett förvar i **Forsmark** /SKB 2009a/ sammanfattas i figur 7-5. Tabellen följer den klassindelning som visas i figur 6-2. Bedömda konsekvenser av olika risker uttrycks som skattat antal av teoretiskt tillgängliga deponeringspositioner som inte kan användas därför att de inte uppfyller alla angivna krav /SKB 2009e/.

Deponeringsområdet Forsmark					
Sannolikhet	Mycket sannolikt				
	Sannolikt	Geologiska gränser för berg- och sprickdomäner avviker från de som antagits.			
	Osannolikt	Bergartsfördelningen avviker från vad som antagits. Måktigheten för de mindre deformationszonerna (MDZ < 1 km) är större än vad som antagits. De bergmekaniska egenskaperna för större och mindre deformationszoner är avsevärt sämre än vad som antagits vid projekteringen.	Orienteringen av största huvudspänningen varierar mer än $\pm 15^\circ$. Den rumsliga fördelningen av de termiska bergdomänerna avviker från vad som antagits. Partier som innehåller mafiska bergarter med låg värmeledningsförmåga förekommer oftare än vad som antagits.	Nya deformationszoner i längdintervallet 1 km till 3 km upptäcks. Största horisontalspänningen är större än det mest sannolika värdet, men inte större än det osannolika maximala värdet.	
	Extremt osannolikt			Högre frekvens än beräknat av vattenförande sprickor med flöden som överskrider vad som tilläts i deponeringshål och deponeringstunnlar. Högre frekvens än beräknat av stora sprickor. Nya deformationszoner som kräver respektavstånd upptäcks. Största horisontalspänningen är större än det osannolika maximala värdet.	
		Obetydliga (< 500)	Mindre (500–1 000)	Måttliga (1 000–1 800)	Större (> 1 800)
Konsekvenser (förlust av deponeringspositioner)					

Figur 7-5. Riskanalys för deponeringsområdet i Forsmark. Konsekvenserna av de risker som identifierats uttrycks som skattad förlust av teoretiskt tillgängliga deponeringspositioner. Vid sammanvägningen av sannolikhet och konsekvens har samtliga risker klassats som försumbara eller acceptabla, dvs hanterbara inom ramen för planerad byggprocess (grönt fält). Ingen av riskerna bedöms kräva omfattande åtgärder (beige fält), /SKB 2009a/.

Kommentarer till riskanalysen för Forsmark, figur 7-5:

- Medan det finns stor tilltro till bergspänningarnas orientering och relativt stor tilltro till bergets hållfasthet i Forsmark, är tilltron lägre till storleken på den största horisontalspänningen /SKB 2008a/. Analyser har gjorts för att utvärdera risken för spjälkning i deponeringshål innan deponering /SKB 2009a, Appendix A/. Analyserna visar att färre än 400 deponeringshål förväntas få bergutfall som överstiger toleranskraven, även för mycket pessimistiska antaganden för bergspänningarna. Vid mycket höga bergspänningar förutsätter detta dock att deponeringstunnlarna orienterats helt parallellt med den största horisontalspänningen. Det är därför väsentligt att bestämma spänningssituationen bättre innan den slutgiltiga layouten för deponeringsområdet läggs fast. En sådan, tillräckligt tillförlitlig, bestämning kan göras tidigast när förvarets tillfarter, i första hand sänkschaktet, har byggts ner till förvarsdjup.
- Den låga förekomsten av vattenförande sprickor inom deponeringsområdet i Forsmark bedöms ge ett mycket begränsat bortfall, cirka 6 % eller 500 positioner, av tänkbara deponeringshål på grund av för höga inflöden i deponeringshålen. Det är dessutom sannolikt att de fåtal deponeringshål som skulle kunna ha för höga flöden ändå hade valts bort därför att de korsas av långa sprickor, se nedan.
- För att förvaret inte ska påverkas negativt av eventuella framtida stora jordskalv accepteras bara deponeringshål som inte korsas av stora (långa) sprickor. Det beräknade bortfallet ligger i intervallet 10 till 25 procent (700 till 1 900 positioner), beroende på vilken sprickmodell som antas. Det kriterium som idag används för att bestämma om en deponeringsposition korsas av en för stor spricka är dock onödigt restriktivt och det bedöms därför som extremt osannolikt att bortfallet skulle bli så stort som 1 900 positioner.

Den riskanalys som gjorts för deponeringsområdet vid projekteringen av ett förvar i **Laxemar** /SKB 2009d/ sammanfattas figur 7-6.

Kommentarer till riskanalysen för Laxemar, figur 7-6:

- Den relativt höga förekomsten av vattenförande sprickor inom deponeringsområdet i Laxemar bedöms ge betydande bortfall av tänkbara deponeringshål på grund av för höga inflöden av grundvatten. Problemet är störst inom den hydrauliska domän som ligger i förvarsområdets norra del och som med nuvarande förvarsutformning svarar för cirka 2 000 deponeringspositioner, men bortfallen blir relativt stora (20–30 %) även i övriga domäner. Även inflödet till deponeringstunnlar måste begränsas för att säkerställa att återfyllningen kan installeras, vilket ytterligare försvårar möjligheten att använda den domän som har högst vattengenomsläpplighet. Om denna domän inte kan användas bedöms det totala bortfallet kunna bli upp mot 4 000 positioner.
- Bergspänningarna i Laxemar är låga jämfört med bergets hållfasthet. Bergmekaniska beräkningar som gjorts vid projekteringen av Laxemar /SKB 2009d/ visar att osäkerheterna i spänningsmodellen inte medför risk för att nuvarande utformning av förvaret skulle kunna leda till omfattande spjälkningsbrott i deponeringshål innan deponering.
- För att förvaret inte ska påverkas negativt av eventuella framtida stora jordskalv accepteras bara deponeringshål som inte korsas av stora (långa) sprickor. Det beräknade bortfallet ligger i intervallet 10 till 25 procent (800 till 2 000 positioner), beroende på vilken sprickmodell som antas. Det kriterium som idag används för att bestämma om en deponeringsposition korsas av en för stor spricka är dock onödigt restriktivt och det bedöms därför som extremt otroligt att bortfallet av denna anledning skulle bli så stort som 2 000 positioner.

Deponeringsområdet Laxemar					
Sannolikhet	Mycket sannolikt	Geologiska gränser för berg- och sprickdomäner avviker från de som antagits. Gränser för deformationszoner avviker från de som antagits.			
	Sannolikt	Bergartsfördelningen avviker från vad som antagits. Nya deformationszoner i längdintervallet 1 km till 3 km upptäcks. Rumsliga fördelningen av omvandlat berg är inte väl definierad. Den rumsliga fördelningen av termiska bergdomäner avviker tydligt från vad som antagits vid projektering.			Frekvensen av vattenförande sprickor eller mindre deformationszoner (MDZ) med flöden som överstiger vad som tillåts i deponeringshål och deponeringstunnlar.
	Osannolikt	Hållfastheten för större och mindre deformationszoner är lägre än vad som antagits. Orienteringen av största huvudspänningen varierar mer än $\pm 15^\circ$. Största horisontalspänningen är större än det mest sannolika värdet, men inte större än det osannolika maximala värdet.	Mäktigheten för de mindre deformationszonerna (MDZ < 1 km) är större än vad som antagits. Transmissivitet och komplexitet för deformationszoner är underskattad. Värmeledningsförmågan är lägre än vad som antagits.		
	Extremt osannolikt		Största horisontalspänningen är större än det extremt osannolika maximala värdet.	Högre frekvensen än beräknat av stora sprickor.	Nya deformationszoner som kräver respektavstånd upptäcks.
		Obetydliga (< 1 000)	Mindre (1 000–1 500)	Måttliga (1 500–2 000)	Större (> 2 000)
Konsekvenser (förlust av deponeringspositioner)					

Figur 7-6. Riskanalys för deponeringsområdet i Laxemar. Konsekvenserna av de risker som identifierats uttrycks som skattad förlust av teoretiskt tillgängliga deponeringspositioner. Vid sammanvägningen av sannolikhet och konsekvens har en risk identifierats som bedöms kräva omfattande åtgärder (beige fält). Övriga risker bedöms vara hanterbara inom ramen för planerad byggprocess (grönt fält), /SKB 2009d/.

En jämförelse av riskanalyserna för Forsmark och Laxemar visar på väsentliga skillnader för deponeringsområdena, uttryckt som risker för bortfall av deponeringshål och resulterande utvecklingsbehov för att hantera dessa risker. Dessa risker påverkar förutsättningarna för att i praktiken uppnå ett säkert slutförvar. Följande samlade bedömning görs av riskbilden:

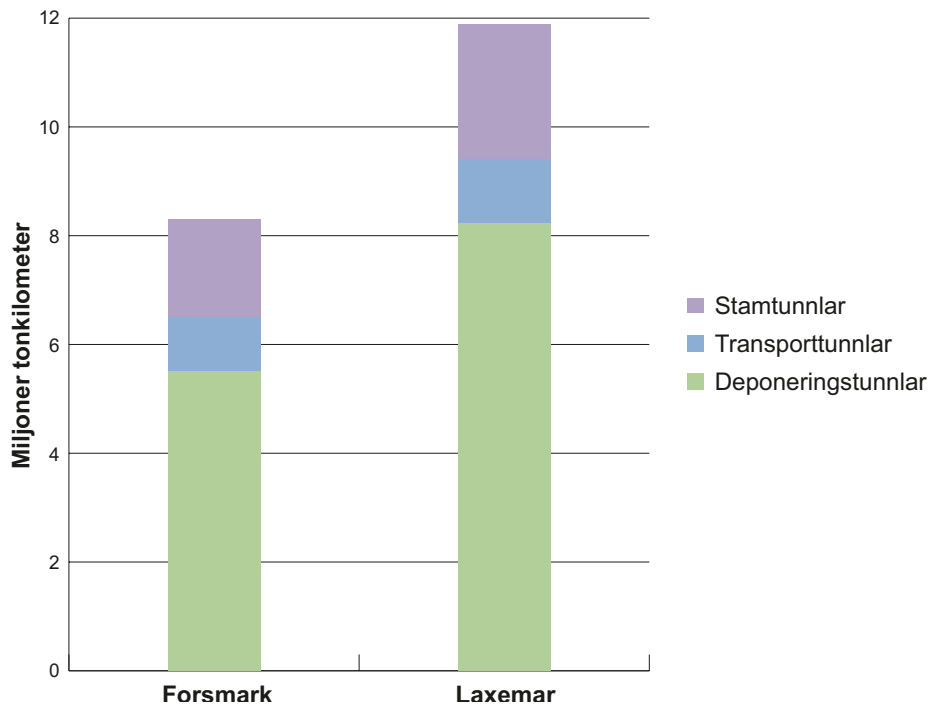
- Riskanalysen för **Forsmark** visar att den tillgängliga bruttokapaciteten om cirka 7 800 deponeringspositioner är mer än tillräcklig för att tillåta ett förvar enligt referensutformning med cirka 6 000 godkända deponeringspositioner. Det finns dock en liten, men inte helt försumbar, risk för stabilitetsproblem (spjälkning) i deponeringshål på grund av höga belastningar (bergspänningar), se figur 7-1. Skulle bergspänningarna mot förmodan vara så höga att detta inträffar alltför frekvent indikerar beräkningar att problemet kan hanteras utan genomgripande ändringar av förvarets utformning, i första hand genom att ytterligare anpassa deponeringstunnlarnas orientering till spänningsfältet. Det är därför viktigt att så tidigt som möjligt under bygget av förvarets tillfarter göra bergmekaniska tester i relevant skala och på relevant djup, så att det eventuella åtgärdsbehovet kan fastställas. Vidare måste arbetsmiljöfrågor och underhållsbehov beaktas, framförallt vid bygge av stamtunnlarna. Detta kräver dock ingen teknikutveckling.
- Riskanalysen för **Laxemar** visar att den tillgängliga bruttokapaciteten om cirka 8 000 deponeringspositioner inte kan bedömas vara tillräcklig för att tillåta ett förvar enligt referensutformning med 6 000 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. Problemet är störst inom den hydrauliska domän som ligger i förvarsområdets norra del och som med nuvarande förvarsutformning svarar för cirka 2 000 deponeringspositioner, men bortfallen blir relativt stora (20–30 %) även i övriga domäner. För att hantera denna risk bör layouten revideras så att den norra domänen helt undviks. Detta kan i första hand göras med hjälp av termisk optimering, som innebär att den kvarvarande deponeringsytan utnyttjas mera effektivt, dock till priset av att fler deponeringstunnlar måste byggas. Det kan också bli nödvändigt att ta ytterligare bergvolym i anspråk för deponering. Vidare behövs vidareutveckling och produktionsanpassning av tekniken för så kallad fintätning av tunnlar.

För båda platserna gäller vidare att en anpassning måste göras så att möjliga rörelser i samband med framtida stora jordskalv inte riskerar att skada deponerade kapslar. Det görs genom att undvika deponeringspositioner som korsas av sprickor som är tillräckligt långa – eller inte kan uteslutas vara tillräckligt långa – för att ge rörelser som kan påverka kapselns integritet. Med dagens kriterier kan detta ge bortfall i intervallet 10 till 25 procent på båda platserna, men det faktiska bortfallet förväntas bli betydligt lägre. Förberedelserna för de undersökningar som ska göras av varje deponeringstunnel och deponeringsposition kommer exempelvis att inriktas på att ta fram effektivare metoder för att bestämma storleken på sprickor som kan korsa tänkbara deponeringspositioner /SKB 2010e/.

7.2.3 Funktionalitet

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 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 /SKB 2009a respektive SKB 2009d/. Drivnings- och deponeringsarbeten kan pågå i olika delar av samma deponeringsområde, förutsatt att de är åtskilda 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 istället resultat av dels de tekniska risker med åtföljande åtgärdsbehov som redovisats, 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 skillnaderna 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 ungefär 30 % mindre i Forsmark än i Laxemar. Figur 7-7 illustrerar en effekt av detta, nämligen skillnaderna i transportarbete för att bygga förvarets olika tunnlar.



Figur 7-7. Transportarbete, uttryckt i tonkilometer, som åtgår för att bygga slutförvarets tunnlar i Forsmark respektive 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 bra och påfallande likartade förutsättningar för de externa transporter som slutförvarsprojektet kommer att kräva lokalt. Likhetera 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 /Fors och Klingenberg 2008a, b/.

Transportbehoven skiljer i två avseenden:

- Laxemar ger jämförelsevis större transportvolym av massgods, som en direkt följd av att förvaret blir större än i Forsmark. Det gäller uttransport av överskottsberg för avyttring och intransport av lera för återfyllning. Volymskillnaderna påverkar kostnaderna och miljöpåverkan av transporterna. Några konsekvenser för tillförlitligheten i driften bedöms de däremot inte få.
- Forsmark kräver sjötransporter av inkapslat bränsle från inkapslingsanläggningen vid Simpevarp. Transportkedjan i sin helhet innefattar marktransport på terminalfordon från inkapslingsanläggningen till Simpevarps hamn, därifrån sjötransport med m/s Sigyn (eller efterföljare med jämförbar kapacitet), den ca 450 km långa sträckan till Forsmarks hamn och slutligen en kort marktransport från hamnen till förvaret. För Laxemarnalternativet begränsas transportbehovet för kapslarna till en ca 2 km lång vägtransport på terminalfordon. Transporterna kan, till sjöss såväl som på land, ske på motsvarande sätt som de transporter av använt kärnbränsle som sedan länge sker från kärnkraftverken till Clab. Den tillkommande sjötransporten för Forsmarksalternativet påverkar inte den radiologiska säkerheten i systemet. Däremot innebär den en extra kostnad och bidrar till energiförbrukningen (se avsnitt 7.3.5). Sjötransporterna har genom åren visat sig vara mycket driftsäkra, men denna tillkommande länk i hanteringskedjan för Forsmark måste ändå ses som en möjlig källa till driftstörningar.

7.2.4 Synergieffekter

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. Hur SKB värderar detta framgår av avsnitt 7.2.3. 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 kvantitativt.

SKB:s verksamhet i Oskarshamn idag (2010) omfattar ca 200 personer, fördelade på Clab, Äspö- och kapsellaboratorierna samt undersöknings- och informationsverksamhet. Det finns alltså en betydande egen resursbas och företagsintern infrastruktur att starta ifrån vid en etablering av slutförvaret (och inkapslingsanläggningen). I Forsmark omfattar SKB:s verksamhet på orten för närvarande ca 25 personer (SFR, undersökningar, information). Siffran kommer att öka i samband med den planerade utbyggnaden av SFR, men en lokalisering av förvaret för använt kärnbränsle till Forsmark innebär ändå mer av nyetablering än i Laxemar. Denna skillnad ger klara effektivitetsfördelar för Laxemar, som dock är svåra att översätta till besparingar i tid eller pengar. Av bland annat det skälet har denna typ av övergripande synergieffekter inte beaktats i kostnadsjämförelsen nedan.

Det är också viktigt att värdera skillnader i den egna lokala kapaciteten i relation till det totala resursutbudet på de aktuella orterna. Man kan då exempelvis konstatera att både i Oskarshamn och Östhammar sysselsätter kärnenergisektorn – med kärnkraftföretagen och deras lokala leverantörer – långt över 1 000 personer. Vidare är fördelen av en befintlig egen verksamhet störst i inledningskedet när projektet etableras, men avtar sedan med tiden. Erfarenheten från andra etableringar är att organisation och resurser med tiden anpassar sig till behoven.

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.

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.

7.2.5 Kostnader

De kalkyler som gjorts 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. Ett slutförvar i Laxemar kräver en mycket större total tunnellängd, vilket får stort genomslag på totalkostnaden eftersom bergarbeten och återfyllnadsmaterial är stora poster i kalkylen. Extrakostnaderna för kapseltransporter till sjöss och något längre transportavstånd för lermaterial för Forsmark har beaktats, men svarar sammantaget bara för ca 1 % av totalkostnaden för projektet.

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 tättningsbehov i samband med bergbyggnad har så långt möjligt beaktats, men inte möjliga konsekvenser av de mera betydande tekniska genomföranderisker som beskrivits ovan. Som nämnts ligger också synergieffekter med andra anläggningar och övergripande organisatoriska konsekvenser av platsvalet utanför kalkylerna, eftersom de inte kan översättas till resursmått. Dessa osäkerheter kan ha betydande påverkan på totalkostnader och inbördes skillnader, men bedöms inte kunna ändra på rangordningen mellan platserna ur kostnadssynpunkt.

7.2.6 Slutsatser

Båda platserna bedöms ge förutsättningar för att bygga och driva slutförvaret på ett robust sätt. Jämförelser utfaller olika för olika lokaliseringsfaktorer, men sammantaget görs 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 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. Betydande förändringar av förvarets utformning bedöms bli 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 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.

7.3 Miljö och hälsa

7.3.1 Arbetsmiljö och strålskydd

Bygge och drift av slutförvaret ska genomföras i enlighet med gällande arbetsmiljökrav. Detta gäller oberoende av plats. Eventuella skillnader mellan platserna leder till att behovet av åtgärder och därmed kostnaderna blir olika.

Allt radioaktivt material som tillförs slutförvaret kommer att vara inkapslat. De konstruktioner och åtgärder som krävs för skydd av kapselns integritet samt mot direktstrålning från kapseln är lika för båda platserna.

De naturliga uranhalterna i berget är låga, normalt mindre än 10 ppm, i både Forsmark och Laxemar. Det största bidraget till radonhalterna kommer från inläckande grundvatten. Inläckaget är betydligt större i Laxemar än i Forsmark. Därför krävs väsentligt högre luftomsättning för ett förvar i Laxemar om gränsvärdena för radon ska underskridas. Planerad ventilationskapacitet är dock tillräcklig för att hålla radonhalterna på acceptabla nivåer /Jelinek 2008/. Därför förväntas ingen negativ påverkan på personalens hälsa på grund av radon.

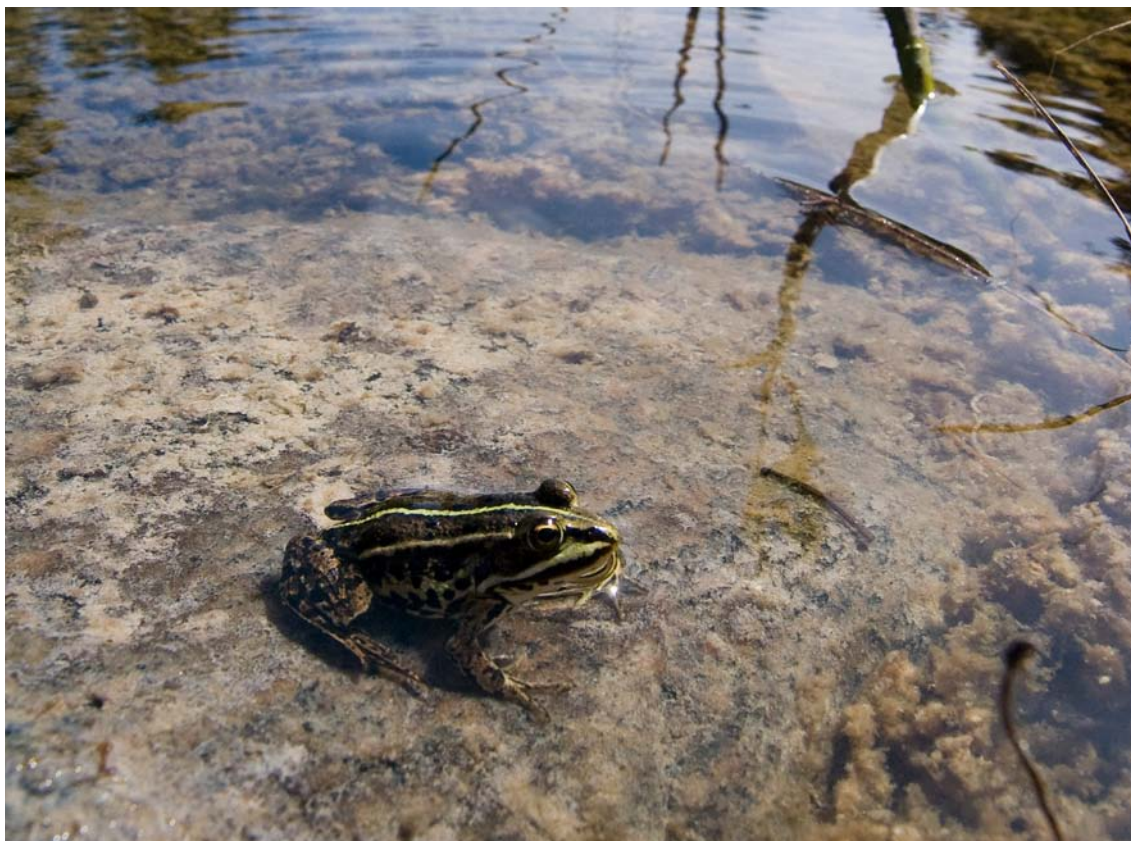
Ur strålskyddssynpunkt är platserna således likvärdiga.

7.3.2 Naturmiljö

På båda platserna finns ett antal riksintressen. I Forsmark berörs riksintresset ”Forsmark-Kallriga-fjärden”, som delvis ligger inom slutförvarets påverkansområde. Konsekvenserna för riksintresset bedöms bli märkbara, men kan med skademinskande och kompenserande åtgärder minskas till små /Hamrén et al. 2010a, Allmér 2010/. I Laxemar påverkas riksintresset ”Västerviks och Oskarshamns skärgårdar” genom utsläpp av förorenat vatten. Konsekvenserna bedöms bli obetydliga /Nilsson 2010, Hamrén et al. 2010b/.

I Forsmark finns flera naturobjekt med höga värden, framförallt ett par gölar med gölgroda, se figur 7-8 (fridlyst art som på 1990-talet inplanterades i Forsmarksområdet), inom det område som påverkas av anläggningarna ovan jord. SKB kommer att ta fram förslag på hur man kan kompensera för förlusten av gölgradans livsmiljöer genom att skapa nya gölar i lämpliga miljöer. Med planerade åtgärder bedöms det inte bli några negativa konsekvenser för gölgradans lokala population. Inom Forsmarksområdet finns även ytterligare arter med skydd enligt artskyddsförordningen samt ett stort antal rödlistade arter, för vilka påverkan inte kan uteslutas. Med lämpliga åtgärder, och förutsatt att dessa blir lyckosamma, bör konsekvenserna för skyddade och skyddsvärda arter i Forsmark kunna begränsas. I Laxemar berörs inga naturobjekt med nationella eller regionala värden, varför konsekvenserna blir väsentligt mindre än i Forsmark. Antalet skyddade och skyddsvärda arter är betydligt mindre.

Inom det område i Forsmark som skulle kunna påverkas av en grundvattensänkning finns många våtmarksmiljöer som kan vara känsliga för grundvattensänkning /Allmér 2010, Hamrén et al. 2010a/. Av ett sjuttioal identifierade värdefulla våtmarksobjekt, gölar och ytvatten runt Forsmark berörs ungefär hälften av beräknad grundvattensänkning. Ytterligare ett femtontal objekt kan komma att påverkas av en förändrad grundvattenbalans. De möjliga konsekvenserna varierar /SKB 2011b/. För de viktigaste våtmarksmiljöerna finns möjlighet att infiltrera vatten, varvid konsekvenserna minskas. I Laxemar blir konsekvenserna av en grundvattensänkning mindre då de flesta värdefulla naturobjekt inte bedöms vara känsliga för en grundvattensänkning /Nilsson 2010, Hamrén et al. 2010b/.



Figur 7-8. Inom det område som påverkas av anläggningarna ovan jord i Forsmark finns gölar med gölgroda.



Figur 7-9. Inom det område som påverkas av anläggningarna ovan jord i Laxemar finns värdefulla ädellövmiljöer.

Förutsatt att bergdränage (länshållningsvatten), lakvatten och sanitärt avloppsvatten renas och behandlas före utsläpp bedöms konsekvenserna bli små till märkbara i både Forsmark och Laxemar. I Forsmark finns en brunn och i Laxemar ett stort antal brunnar som skulle kunna påverkas av en grundvattensänkning. Berörda fastighetsägare kan dock kompenseras genom att deras fastigheter förses med vatten.

Skyddet för vissa arter som skulle beröras av en etablering i Forsmark kräver åtgärder så att dessa arter inte påverkas nämnvärt eller inte alls. SKB har påbörjat arbetet att ta fram lämpliga åtgärder. För den lokala populationen av gölgröda visar arbetet att det finns goda förutsättningar att skapa nya gölar så att populationen inte påverkas negativt. Likaså kan påverkan på områdets mest värdefulla våtmarker på grund av grundvattensänkning begränsas avsevärt genom infiltration. Slutsatsen är att Forsmark är en tillräckligt bra plats med avseende på påverkan på naturmiljön. Det beror till stor del på att etableringen i huvudsak görs inom befintligt industriområde, vilket begränsar konsekvenserna. Det kommer dock att krävas varsamhet, anpassning och beredskap för olika typer av åtgärder; förebyggande, konsekvenslindrande och kompenserande.

Med en viss reservation för att lokaliseringen till Oxhagen innebär ett intrång i ett värdefullt ädellövskogsområde, se figur 7-9, är det svårt att se några invändningar mot slutsatsen att Laxemar är en lämplig plats ur naturmiljösynpunkt. Det gäller trots att ett slutförvar skulle innebära en ”greenfield-etablering” utan direkt koppling till befintlig industriverksamhet. Huvudskälet är att det område som skulle beröras är, eller åtminstone uppfattas vara, sedan länge taget i anspråk för mänsklig verksamhet. Följaktligen ses påverkan och intrång i första hand som en angelägenhet för berörda människor, inte som en ”ockupation” av naturen.

Sammanfattningsvis bedöms konsekvenserna på naturvärden bli betydligt större i Forsmark än i Laxemar. Artrika och känsliga så kallade rikkärr, förekomst av gölgröda etc är exempel på höga naturvärden som kan påverkas. Åtgärder måste därför vidtas för att förhindra detta. I Laxemar är det framför allt landskapet med ädellövskogar och vattenmiljöer längs kusten som påverkas. Ur ett svenskt perspektiv är naturvärdena i Forsmark ovanliga medan de miljöer som finns runt Laxemar är relativt vanliga.

7.3.3 Kulturmiljö

En etablering vid Oxhagen i Laxemar innebär större påverkan på kulturmiljön och landskapet än en etablering vid Söderviken i Forsmark. Vid Forsmark påverkas landskapsbilden med den öppna kusten utanför. Denna påverkan dämpas dock av att exploateringen sker i direkt anslutning till befintliga industrianläggningar. Vid Oxhagen påverkas kulturmiljön och odlingslandskapet. Bedömningen är dock att påverkan blir måttlig, då en stor del av området utgörs av produktionsskog och hygge utan några höga kulturvärden. Varken vid Söderviken eller vid Oxhagen finns några kända fornlämningar. Vid Oxhagen finns det kulturlämningar i form av stenmurar, brukningsvägar och röjningsrösen knutna till jordbruksmarken. Varken Oxhagen eller Söderviken hyser kulturmiljövärden som är av omistlig karaktär varför en lokalisering av slutförvaret i båda fallen kan göras med acceptabel påverkan på kulturmiljö och landskap. Oxhagen hyser dock värden med ett visst bevarandevärde. Slutsatsen måste bli att Forsmark (Söderviken) är den plats som ur kulturmiljö- och landskapssynpunkt är fördelaktig för lokalisering av slutförvaret /Ternström 2008a, b/.

7.3.4 Boendemiljö och hälsa

Ett slutförvar i Forsmark innebär etablering inom befintligt industriområde relativt långt från bostäder, med tillfälligt boende inom industriområdet som enda undantag. I Laxemar finns fler permanent boende inom området (se avsnitt 5.3.9 för Forsmark respektive 5.4.9 för Laxemar). Det finns också betydligt fler fritidsfastigheter i närområdet till Oxhagen jämfört med Söderviken /SKB 2011b/. Det är därför betydligt fler personer i Laxemar än i Forsmark som skulle beröras och kunna uppleva en försämrad boendemiljö.

En faktor som är nära kopplad till boendemiljön är markägandet. I Forsmark är den mark som behövs för slutförvaret sedan länge industriägd, idag av SKB och Forsmarks Kraftgrupp AB. I Laxemar är marken huvudsakligen privatägd och uppdelad på ett flertal fastigheter med ägare som i många fall bor i eller har anknytning till bygden. En etablering av slutförvaret förutsätter att markrådigheten övergår till SKB. I Laxemarfallet skulle detta för många innebära en betydande förändring eftersom boende, ofta även försörjning och rekreation, är direkt förknippat med markägandet. Hur en sådan förändring uppfattas och värderas kan vara radikalt olika från fall till fall, men den innebär likväl att ett brukandemönster som funnits i generationer ersätts av något nytt.

Buller från anläggningsverksamhet och drift medför i både Forsmark och Laxemar att delar av riksintresseområdena för rekreation och friluftsliv får ljudnivåer över gällande riktvärde. I övrigt blir konsekvenserna små på båda platserna /Zetterling och Hallberg 2008a, b/.

Vad gäller transporter till och från slutförvaret består skillnaderna i att det i fallet Laxemar dels är fler personer som bor och berörs längs transportvägarna, dels är större godsvolymer som ska transporteras. Under byggskedet ökar antalet boende utmed sträckan Forsmark–Hargshamn som exponeras för ljudnivåer över gällande riktvärde (55 dBA) från ca 160 till ca 180 (+20 boende) och under driftskedet från ca 175 till ca 195 (+ 20 boende). Utmed sträckan Oskarshamn–Oxhagen är motsvarande antal under byggskedet en ökning från ca 290 till ca 310 (+ 20 boende) och under driftskedet en ökning från 290 till 345 (+ 55 boende). Buller från vägtrafik ger alltså i båda fallen redan idag bullerstörningar. Tillskotten från transporter till och från slutförvaret medför att något fler än i nuläget blir störda, i driftskedet fler för Laxemar än för Forsmark. Detta bedöms dock inte leda till att fler får sämre hälsa /Zetterling och Hallberg 2008a, b/.

Utsläppen av luftföroreningar från transporter, anläggningsmaskiner och hantering av bergmassor ger mycket små tillskott. Dessutom är mycket få berörda av utsläppen. Sammantaget innebär detta att risken för hälsokonsekvenser på grund av luftföroreningar är mycket liten i både Forsmark och Laxemar, trots skillnaderna i transportvolymer /Fridell et al. 2008a, b/.

Vägtransporter ger också andra olägenheter i form av olycksrisker, försämrad framkomlighet, påverkan på rekreation och friluftsliv etc. Dessa är beroende av transportvolymer, men också av en rad andra faktorer som vägstandard, väderförhållanden och pendlingsmönster. Med undantag för volymer, som är större för Laxemar, är det inte möjligt att särskilja alternativen i dessa avseenden.

Varken i Forsmark eller i Laxemar förväntas vibrationer från sprängningsarbeten och tunga transporter orsaka skador på byggnader; inte heller förväntas de upplevas som störande för boende i området.

Sammantaget bedöms påverkan på boendemiljön bli något större för Laxemar än för Forsmark. De skillnader som finns är att det markförvärv som är nödvändigt i Laxemar skulle påverka även boendemiljön, att det bor fler i närområdet till Laxemar än i närområdet till Forsmark, att det i fallet Laxemar bor flera utmed den vägsträcka där lermaterial och bergmassor ska transporteras, samt att det i fallet Laxemar är större mängder bergmassor och lermaterial som ska transporteras.

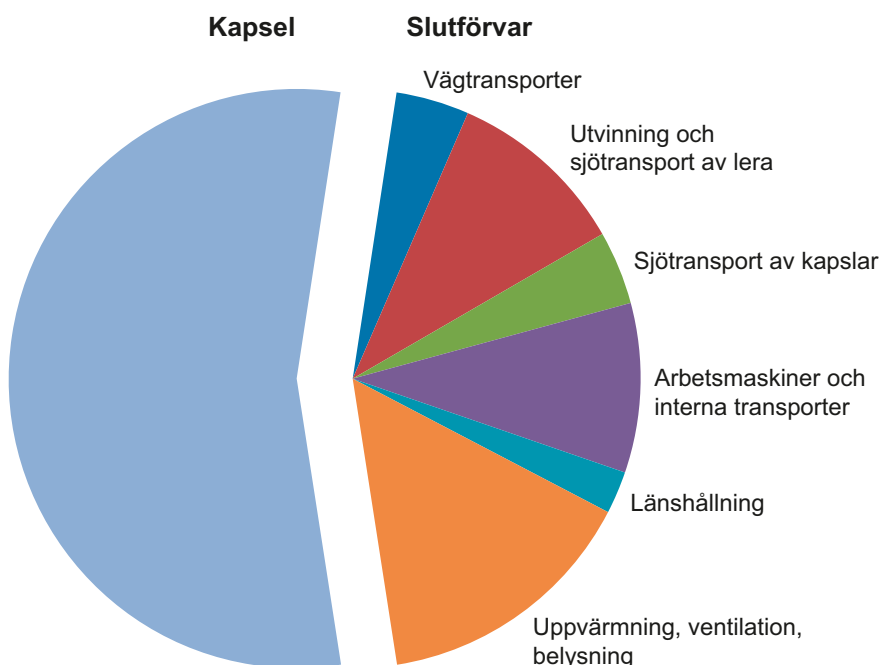
7.3.5 Hushållning med naturresurser

Uttaget av berg är större för ett slutförvar i Laxemar än i Forsmark. Totalt blir berguttaget cirka 8,7 miljoner ton i Laxemar och ca 6,4 miljoner ton i Forsmark, det vill säga cirka 2,3 miljoner ton mer i Laxemar. Det större berguttaget medför att även behovet av lera till återfyllning och förslutning av förvarets bergutrymmen blir större för Laxemar. I Laxemar behövs totalt cirka 5,2 miljoner ton lera till buffert, återfyllning och förslutning. I Forsmark är behovet cirka 3,6 miljoner ton /SKB 2010d/.

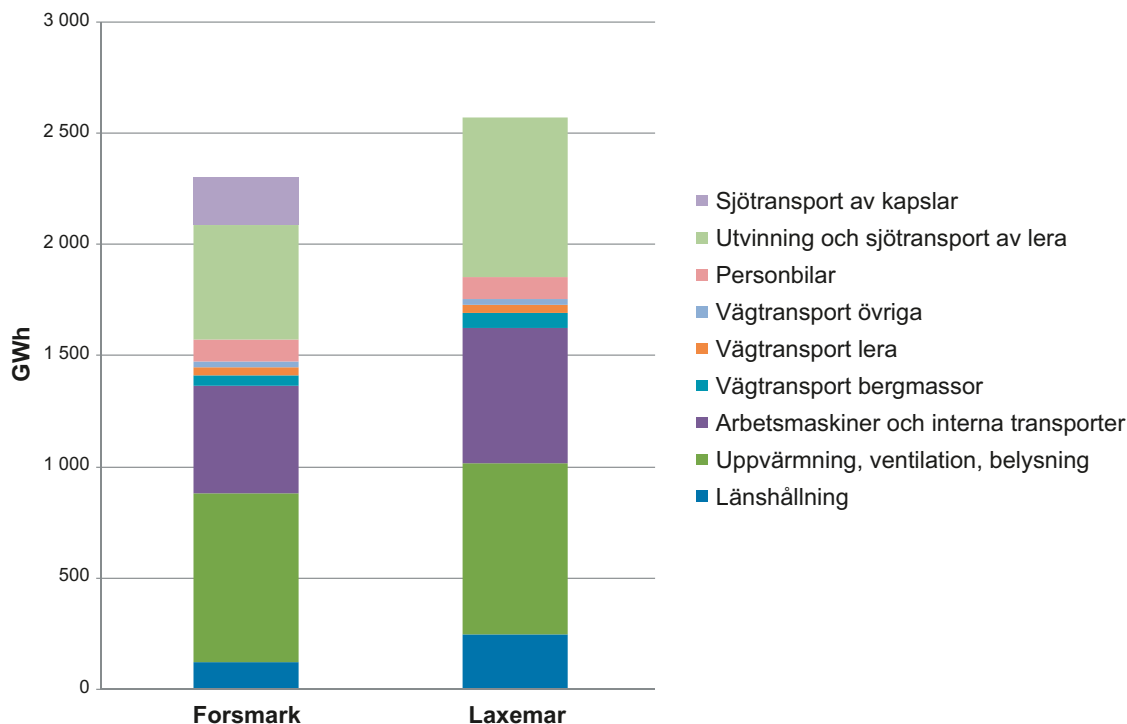
I Forsmark behövs under byggskedet cirka 200 000 m³ fyllnadsmassor för att ställa i ordning det markområde där ovanmarksanläggningen ska uppföras. Merparten av fyllnadsmassorna behövs innan den egna bergproduktionen täcker behoven. I Laxemar är behovet av fyllnadsmassor betydligt mindre /SKB 2010d/.

Diagrammet i Figur 7-10 visar den relativa fördelningen av energiförbrukningen för kärnbränslesystemet, uppdelad på kapsel respektive slutförvar. För kapseln ingår hela kedjan från gruva till dess kapseln lämnar inkapslingsanläggningen fylld med använt kärnbränsle. Denna del är helt oberoende av platsen för slutförvaret och svarar för drygt hälften av energiinsatsen för hela systemet.

Slutförvardsdelen av förbrukningen, alltså knappt hälften av den totala, är i någon mån platsberoende. De komponenter som där står för störst andelar är utvinning och sjötransport av lera, energi till arbetsmaskiner och interna transporter samt uppvärmning, ventilation och belysning.



Figur 7-10. Fördelning av energiförbrukningen i kärnbränslesystemet. Den vänstra sektorn motsvarar andelen för kapseln (totalt för alla led från råvaruproduktion till färdig kapsel) och den högra sektorn slutförvaret (bygge, drift och avveckling) uppdelat på aktiviteter som bidrar till energiförbrukningen. Exemplet avser Forsmark.



Figur 7-11. Jämförelse av energiförbrukning (GWh) för uppförande, drift och förslutning av ett slutförvar i Forsmark respektive i Laxemar.

Figur 7-11 visar en jämförelse av energiförbrukningen för ett förvar i Forsmark respektive Laxemar. Eftersom bergguttaget är väsentligt större i Laxemarfaller blir energiförbrukningen högre och transportbehovet större. Forsmark ger en något längre transportsträcka till sjöss för lermaterialen än Laxemar. Men eftersom behovet av lera är så mycket större i Laxemar blir energibehovet för utvinning och transport av lera totalt sett ändå större för Laxemar än för Forsmark. Skillnaden motsvarar i stort sett energibehovet för transport av inkapslat kärnbränsle från Simpevarp till Forsmark. Det större vatteninläckaget i Laxemar medför att energibehovet för länshållning är större /SKB 2010d/. Totalt sett blir energiförbrukningen större för Laxemar än för Forsmark, men skillnaden är inte stor och krymper ytterligare om den ställs i relation till förbrukningen i hela systemet, inklusive kapseln.

7.3.6 Slutsatser

Med avseende på miljö- och hälsofrågor är båda platserna lämpliga lokaliseringalternativ för slutförvaret. Samma slutsats har dragits i tidigare skeden av lokaliseringsarbetet och det omfattande underlag som platsundersökningsskedet tillfört har inte ändrat bedömningen. En jämförelse av alternativen visar i en del avseenden på stora likheter. Det gäller exempelvis avstånden för person- och godstransporter. I andra och väsentliga avseenden finns tydliga skillnader. Det är ändå svårt att rangordna platserna eftersom de miljökonsekvenser som en etablering skulle ge skiljer sig till typ av påverkan, snarare än till omfattning.

I fallet Forsmark kännetecknas omgivningen av en känslig naturmiljö med höga bevarandevärden. En långtgående anpassning till dessa värden är nödvändig och möjlig, men ett visst mått av intrång i naturmiljön är ändå oundvikligt. Däremot skulle människors boendemiljö i slutförvarets omgivning påverkas i mycket liten utsträckning, av det enkla skälet att mycket få människor bor eller verkar i området (verksamheter och tillfälligt boende inom industriområdet undantagna).

I fallet Laxemar förhåller det sig tvärtom. Trots att det där handlar om en så kallad "greenfield-etablering" är påverkan på naturmiljön en fråga av liten betydelse. Av större betydelse är att människor bor och verkar i Laxemarområdet, och har gjort så under långa tider. Privatägd mark och areella näringar är viktiga inslag i bilden. En etablering kommer att förändra markägandet, men behöver inte förändra markanvändningen i någon avgörande grad. Att tillföra en ny storskalig industriverksamhet, väsensskild från det som präglar och har präglat området, innebär ändå intrång och kräver anpassning.

En lokalisering till Forsmark är något mindre energikrävande än en lokalisering till Laxemar. Utifrån lokaliseringsfaktorn hushållning med naturresurser är således Forsmark den lämpligare platsen. Skillnaden är dock liten och bedömningarna är behäftade med vissa osäkerheter.

Sammanfattningsvis blir slutsatsen att båda platserna är lämpliga lokaliseringalternativ med avseende på miljö- och hälsofrågor. En viktig förutsättning är att slutförvarsprojektet anpassas till miljön på respektive plats och att förebyggande, konsekvenslindrande och kompensande åtgärder genomförs. En rangordning utifrån skillnader i miljöpåverkan är inte meningsfull eftersom den skulle kräva jämförelser av faktorer som inte låter sig jämföras. Skillnader i energiförbrukning återfinns i kostnadskalkylen och behöver därför inte värderas här. Av detta följer att lokaliseringsfaktorn miljö och hälsa knappast påverkar den samlade värderingen för platsvalet.

7.4 Samhällsresurser

Inför valet av platser för platsundersökningar gjorde SKB bedömningen att både Oskarshamns och Östhammars kommuner är fullgoda alternativ vad avser samhällsförutsättningarna för att genomföra slutförvarsprojektet. Utredningar under platsundersökningsskedet har sedan dess tillfört detaljerat underlag om de socioekonomiska förutsättningarna för, och konsekvenserna av, ett slutförvar i Östhammar alternativt Oskarshamn. Sammanfattningar av underlaget och referenser till enskilda utredningar återfinns i /SKB 2008c/ respektive /SKB 2008d/.

Den kunskap som tillkommit har enligt SKB:s uppfattning bekräftat den tidigare bedömningen att både Oskarshamns och Östhammars kommuner ger goda förutsättningar för att genomföra slutförvarsprojektet. Det är också svårt se några förändringar i den lokala samhällsbilden som skulle kunna förändra detta i negativ riktning. Tvärtom tycks intresset för slutförvaret som industrietablering gradvis ha stärkts under platsundersökningsskedet, något som gäller båda kommunerna.

Det finns alltså inga faktorer som väsentligt skulle kunna försvåra en etablering i någon av kommunerna, vare sig under bygg- eller driftskedet. Däremot finns det en del skillnader som kan vara värda att beakta i den samlade bedömningen av effektiviteten i genomförandet av slutförvarsprojektet.

Till fördelarna för Oskarshamn hör en jämförelsevis starkare lokal leverantörskapacitet och rekryteringsbas. Bidragande orsaker är en allmänt stark industritradition och en sedan länge betydande SKB-närvaro. Kommunen kännetecknas också av en generellt hög beredskap att inordna även slutförvaret i den redan betydande industriverksamheten. De nackdelar som kan ses med Oskarshamnalternativet är framförallt kopplade till det geografiska läget – långt från något av landets resursstarka befolkningscentra. Tillsammans med grannkommunerna formar Oskarshamn en region som i många avseenden är hänvisad till sina egna resurser. Detta begränsar leveranskapaciteten och möjligheterna till kompetensförsörjning regionalt, i synnerhet på lång sikt och mot bakgrund till den fortgående trenden med allt större koncentration av landets resurser till redan dominerande befolkningscentra.

I fallet Östhammar kan man säga att situationen är den omvända: Den lokala kapaciteten i form av rekryteringsbas och leverantörsförmåga är jämförelsevis svagare, men tas hela regionen i beaktande blir bilden en annan. Kommunen ligger inom räckhåll för dagligt pendlande till det resursstarka Uppsala samt Gävle och i någon mån även för Stockholmsregionen. De fördelar detta ger för framförallt den långsiktiga kompetensförsörjningen kan antas växa med tiden, i takt med förbättrade kommunikationer och utveckling av regionen.

Slutsatser

Enkelt uttryckt finns alltså Oskarshamns fördelar med avseende på samhällsresurser i den lokala skalan, och Östhammars i den regionala. Att på något relevant sätt väga dessa för- och nackdelar mot varandra är knappast möjligt. Vidare är likheterna som helhet betydligt större än skillnaderna. Skillnaderna kan därför inte tillmätas någon avgörande betydelse i den samlade jämförelsen av alternativen för platsvalet.

7.5 SKB:s samlade värdering och val

7.5.1 Sammanfattande jämförelse av platserna

Säkerhetsrelaterade platsegenskaper

Analysen av den långsiktiga säkerheten för platserna har visat att de processer som skulle kunna skada kapslar på mycket lång sikt är korrosion om bufferten förloras samt möjligen stora jordskalv i förvarets närhet. Om alla kapslar förblir intakta sker inga utsläpp av radioaktiva ämnen.

För många faktorer som kan påverka säkerheten är utfallet av de jämförande analyser som gjorts av platserna relativt lika. Det gäller bland annat sannolikheten för framtida stora jordskalv, som är liten och bedöms få små konsekvenser vid båda platserna.

Skillnaderna i frekvens och genomsläplighet av vattenförande sprickor, i någon mån även skillnaderna i grundvattnets framtida sammansättning, ger dock stora skillnader i bedömningen av den långsiktiga säkerheten. Utifrån nuvarande kunskapsläge kan det inte uteslutas att bentonitleran som omger kapslarna eroderas om det omgivande grundvattnet får för låg salthalt. Under en framtida glaciation skulle salthalten på båda platserna kunna bli så låg att detta inträffar, men en sådan utveckling är mindre trolig i Forsmark än i Laxemar, dels för att berget i Forsmark generellt har lägre vattengenomsläplighet och dels för att färre deponeringshål korsas av vattenförande sprickor. 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. För Forsmark visar analyserna att grundvattenflödet i de flesta deponeringshål är så lågt att enbart ett fåtal kapslar skulle kunna skadas, och det först efter mer än hundratusen år. De betydligt högre flödena i Laxemar innebär att betydligt fler kapslar kan skadas och att detta kan inträffa i tidigare skeden.

Skillnaderna i potential för kapselskador får stort genomslag i de samlade riskberäkningarna för slutförvaret. För Forsmark visar beräkningarna att det kvantitativa gränsvärde för årlig effektiv dos som Strålsäkerhetsmyndigheten angett (det så kallade riskkriteriet, se avsnitt 2.2) uppfylls med en marginal i storleksordningen två tiopotenser. För Laxemar blir utfallet betydligt sämre. Det behöver inte betyda att ett säkert slutförvar inte kan åstadkommas i Laxemar, men det skulle då krävas förändringar av layout och konstruktion som kan vara svåra att åstadkomma.

Teknik för genomförande

Båda platserna bedöms ge förutsättningar för att bygga och driva ett slutförvar, utformat enligt gällande konstruktionsförutsättningar. Jämförelser utfaller olika för olika lokaliseringsfaktorer, men sammantaget görs bedömningen att Forsmark ger bättre förutsättningar. Huvudskälet är att bergförhållandena i Forsmark ger betydligt lägre risker för omfattande åtgärdsbehov utöver vad som planeras. Det blir därför lättare att i praktiken åstadkomma ett förvar vid Forsmark.

De bergrelaterade tekniska genomföranderisker som ändå finns i Forsmark är kopplade till förekomsten av förhållandevis höga horisontella bergspänningar. Att detta skulle få stora konsekvenser för tillgången till användbara deponeringspositioner bedöms dock inte vara sannolikt.

Osäkerheterna för Laxemar är större, och gäller tillgången till deponeringspositioner med acceptabelt låga inflöden och förutsättningar att bygga deponeringstunnlar som uppfyller täthetskraven. Avsevärda förändringar av förvarets utformning bedöms bli nödvändiga för att möta dessa risker. Vidare behövs fortsatt utveckling av metoder för att täta berget i den omfattning som skulle krävas.

Bergförhållandena i Forsmark ger stora fördelar även effektivitetsmässigt. 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 väsentligen på att bergets högre värmeledningsförmåga i Forsmark medger mindre avstånd mellan kapslarna, och därmed mindre total deponeringsarea. De mindre volymerna återspeglas i mindre transportbehov, materialåtgång, arbetskraftsbehov m m, som sammantaget ger ett mer effektivt genomförande.

Skillnaderna i bergförhållanden, materialåtgång, transportbehov m m medför att ett förvar i Forsmark blir cirka 4,5 miljarder kronor, eller 15 %, billigare än ett förvar i Laxemar. Även om det finns osäkerheter i kalkylen är dessa inte så stora att det kan förändra bedömningen att kostnaderna för ett förvar i Forsmark blir lägre än för ett förvar i Laxemar.

Beaktas istället yttre faktorer som påverkar genomförandet så utfaller jämförelsen till Laxemars fördel. Ett skäl är att SKB:s befintliga anläggningar och betydande omfattning på verksamheten i Oskarshamn skulle ge synergieffekter, särskilt i inledningsfasen av slutförvarsprojektet. Ett annat är att med ett slutförvar i Laxemar skulle hela hanteringskedjan för det använda kärnbränslet samlas till en plats i landet. Förutom effektivitetsvinster innebär detta en lägre grad av 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 från att den längre transportkedjan till Forsmark utgör en möjlig källa till driftstörningar.

Miljö och hälsa

Med avseende på miljö- och hälsofrågor anser SKB att båda platserna är lämpliga för slutförvaret. Förutsättningarna för person- och godstransporter är likvärdiga. I andra avseenden finns tydliga skillnader, men det är ändå svårt att rangordna platserna. Skälet är att de miljökonsekvenser som en etablering skulle ge skiljer sig till typ snarare än till grad.

Forsmark kännetecknas av en känslig naturmiljö med höga bevarandevärden. En långtgående anpassning till dessa är nödvändig och möjlig, men ett visst intrång i naturmiljön är ändå oundvikligt. Kulturmiljön och människors boendemiljö i slutförvarets omgivning skulle däremot påverkas mycket marginellt, eftersom få människor bor i området.

I Laxemar förhåller det sig enkelt uttryckt tvärtom. Påverkan på naturmiljön bedöms bli mycket begränsad. Av större betydelse är att människor bor och verkar i Laxemarområdet, och har gjort så under långa tider. Privatägd mark och areella näringar är viktiga inslag i bilden. En etablering kommer att förändra markägandet, men behöver inte förändra markanvändningen i någon avgörande grad. Att tillföra en ny storskalig industriverksamhet, väsensskild från det som präglar området, innebär ändå intrång och kräver anpassning.

Slutsatsen blir att båda platserna är lämpliga lokaliseringalternativ med avseende på miljö- och hälsofrågor. För båda gäller också att slutförvarsprojektet kan och bör anpassas till den lokala miljön. De naturresurser som slutförvarsprojektet kommer att förbruka påverkas marginellt av platsvalet. Miljö- och hälsofrågor har således inte påverkat valet mellan Forsmark och Laxemar.

Samhällsresurser

Inför valet av platser för platsundersökningar gjorde SKB bedömningen att både Oskarshamns och Östhammars kommuner är fullgoda alternativ vad avser samhällsförutsättningarna för att genomföra slutförvarsprojektet. Den fördjupade kunskap som byggts upp sedan dess har inte ändrat på bedömningen. Det är också svårt se några förändringar i den lokala samhällsbilden som skulle kunna förändra förutsättningarna i negativ riktning. Tvärtom tycks intresset för slutförvaret som industrietablering gradvis ha stärkts under platsundersökningsskedet, något som gäller båda kommunerna.

Det finns alltså inga samhällsfaktorer som väsentligt skulle försvåra en etablering i någon av kommunerna. Vad som då återstår att beakta är vilka lokala resurser som finns och hur detta kan påverka effektiviteten i etableringen. SKB:s slutsats är här att de skillnader som kan ses vad gäller lokal leverantörskapacitet, förutsättningar kompetensförsörjning m.m. inte är av den digniteten att de påverkar platsvalet.

7.5.2 Slutsats

Den strategi som SKB lade fast för valet mellan lokaliseringsalternativen Forsmark och Laxemar formulerades i följande två punkter:

1. Den plats väljs som ger bäst förutsättningar för att säkerhet på lång sikt (efter förslutning av förvaret) 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.

Bakgrund och motiv för denna strategi redovisas i rapportens introduktionskapitel (kapitel 1).

De analyser och jämförelser av platserna som gjorts, och som sammanfattats i avsnitten 7.1 till och med 7.4, har enligt SKB:s uppfattning gett det underlag som krävs för att tillämpa denna strategi. SKB:s slutsats är att Forsmark är den plats som ger de klart bästa förutsättningarna för att säkerhet på lång sikt ska uppnås i praktiken. I enlighet med den första punkten i strategin har SKB därför valt att förlägga slutförvaret till Forsmark. Bergförhållandena i Forsmark ger också förutsättningar för ett mera robusta och effektivt genomförande av slutförvarsprojektet än i Laxemar.

De enskilda faktorer som bidrar mest till Forsmarks fördelar är de stora skillnaderna i frekvens och genomsläpplighet av vattenförande sprickor. Dessa skillnader ger tydliga utslag i de jämförande säkerhetsbedömningarna /SKB 2010b/. Skillnaderna blir tydliga även för de anpassningar och tekniska åtgärder som skulle krävas för att åstadkomma ett förvar som uppfyller gällande konstruktionsförutsättningar /SKB 2009a, d/.

De industriella förutsättningarna för att etablera och driva slutförvaret på ett bra sätt bedöms vara mycket 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.

Valet av plats för slutförvaret är ett beslut som ger betydande bindningar för kärnbränsleprogrammet. Det är då viktigt att minimera risken att fatta ett beslut som senare visar sig vara felaktigt. Platsundersökningarna och de efterföljande analyserna har därför drivits med hög ambitionsnivå för att uppnå en tillräckligt god platskännedom. SKB anser att det underlag som tagits fram möjliggjort ett väl grundat val. Avgörande för denna bedömning är 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. Kvar blir osäkerheter som bara kan reduceras genom att tillträde för undersökningar ges via bergutrymmen. Den kunskap som då fås kommer med all sannolikhet att kräva ytterligare anpassning av förvarets utformning, men inte i en omfattning som bedöms hota platsens lämplighet.

8 Lokaliseringen i ett nationellt perspektiv

Kapitel 3 till och med 7 har beskrivit och motiverat de undersökningar, analyser, prioriteringar och beslut som successivt lett fram till valet av Forsmark som plats för slutförvaret för använt kärnbränsle. I detta kapitel redovisas motiven för SKB:s slutsats att det inte finns någon annan plats som är uppenbart bättre än den valda, och som kan tas i anspråk med rimliga insatser.

8.1 Bakgrund

Miljöbalkens allmänna hänsynsregler anger som övergripande lokaliseringskrav att en plats ska väljas som är lämplig med hänsyn till att ändamålet med verksamheten ska kunna uppnås med minsta intrång och olägenhet för människors hälsa och miljön (se kapitel 2). I kravet på minsta intrång och olägenhet ligger att det inte ska finnas någon annan plats som är tillgänglig och som vid jämförelse ger uppenbart bättre förutsättningar. Dessa krav ska enligt de allmänna hänsynsreglerna vägas mot att de insatser som krävs för att ta en plats i anspråk ska vara skäligen i förhållande till vad som kan uppnås. Ändamålet med slutförvaret är att skydda människors hälsa och miljön mot skadlig inverkan av joniserande strålning från det använda kärnbränslet, nu och i framtiden. SKB har visat att den valda platsen Forsmark är lämplig för detta ändamål /SKB 2011a/, och att förvaringen på denna plats kan åstadkommas med mycket begränsade intrång och olägenheter /SKB 2011b/.

Forsmark har kunnat väljas efter ett förfarande som innefattat jämförelser av platser och prioriteringar i flera steg, alltifrån relativa värderingar av ett stort antal lokaliseringalternativ i förstudieskedet /SKB 2000g/, till de ingående jämförande analyser av Forsmark och Laxemar som föregick valet /SKB 2010b/. Jämförelserna har omfattat alla aspekter på lokaliseringen, dvs förutsättningarna för säkerhet och genomförande samt miljö- och samhällsaspekter. Vilka enskilda faktorer som värderats i olika skeden, och på vilket sätt, har anpassats till det underlag som kunnat tas fram. För en del faktorer kunde både allmänna och platsspecifika värderingar liksom rangordning mellan platser göras i slutfasen förstudieskedet (jfr avsnitt 4.4), eftersom heltäckande och tillräckligt detaljerat underlag för detta fanns tillgängligt. Det gäller exempelvis transportfrågor, marktillgång, förutsättningar avseende natur- och kulturmiljö samt lokala samhällsaspekter. De värderingar som då gjordes med avseende på dessa faktorer visade på stora fördelar för de platser som valdes för platsundersökningar.

För andra faktorer krävs direkta undersökningar på plats för att få ett underlag som medger tillförlitliga jämförelser mellan platser. Det gäller framförallt de geovetenskapliga parametrar som måste bestämmas genom undersökningsborrningar till förvarsdjup. Intill dess att sådana undersökningar gjorts måste värderingar av platser med avseende på dessa parametrar baseras på den information som kan fås genom observationer på ytan i kombination med generell kunskap. Detta är huvudskalet till att SKB har eftersträvat ett brett geologiskt urvalsunderlag i tidiga skeden av lokaliseringsarbetet.

Beroendet av data från borrningar för tillförlitlig platsvärdering innebär att platser där borrningar gjorts kan jämföras på en helt annan nivå än vad som annars är möjligt. Med tillgång till data från platsundersökningen i Forsmark kan därmed geovetenskapliga egenskaper som är väsentliga för Forsmarks lämplighet värderas (vid sidan av jämförelsen med Laxemar) i förhållande till motsvarande egenskaper på andra platser där borrningar utförts i tidigare skeden. Jämförande analyser med just detta syfte har redovisats av /Winberg 2010/. Jämförelseunderlaget har huvudsakligen utgjorts av resultat från de s k typområdesundersökningar som gjordes innan det egentliga lokaliseringsförfarandet för slutförvaret inleddes /SKB 2010a/ och som innefattade borrningar i betydande omfattning.

Analyserna omfattar i mån av tillgång på data de faktorer som introduceras i kapitel 6 under beteckningen ”säkerhetsrelaterade platsegenskaper” (se figur 6-1), dvs:

- Bergets sammansättning och struktur
- Framtida klimatutveckling
- Bergmekaniska förhållanden
- Grundvattenströmning
- Grundvattnets sammansättning
- Fördröjning av lösta ämnen
- Biosfärsförhållanden
- Platskännedom

Dessa egenskaper är avgörande för förutsättningarna att åstadkomma ett säkert förvar och är av betydelse även för det tekniska genomförandet. De analyser som redovisats av /Winberg 2010/ är med nödvändighet översiktliga eftersom de finns betydande skillnader mellan underlaget från Forsmark och det underlag som finns tillgängligt för jämförelser. Skillnaderna gäller bland annat vilka parametrar som bestämts, undersökningsteknik, storleken på de områden som undersökts och framförallt ambitionsnivån på undersökningarna, där platsundersökningarna saknar svenska motsvarigheter. För biosfärsförhållanden saknas underlag från typområdena och denna faktor ingår därför inte i de analyser som redovisats av /Winberg 2010/.

I de avsnitt som följer sammanfattas viktiga resultat från /Winberg 2010/, med tillägg för SKB:s kommentarer och slutsatser. Därutöver sammanfattas och kommenteras kompletterande analyser presenterade av /Ericsson och Holmén 2010/ beträffande betydelsen av grundvattenströmning i regional skala för ett slutförvars skyddsförmåga.

Redovisningen ändrar eller påverkar inte slutsatserna ovan om Forsmarks lämplighet som plats för ett slutförvar. Syftet är uteslutande att få en uppfattning om Forsmarks meriter vad avser ett antal säkerhetsrelaterade lokaliseringfaktorer, *i förhållande till* tillgänglig kunskap om dessa faktorer från andra platser. Detta kan bidra till att belysa frågan om huruvida det kan finnas någon annan plats som är uppenbart bättre än Forsmark, och som är tillgänglig med rimliga insatser.

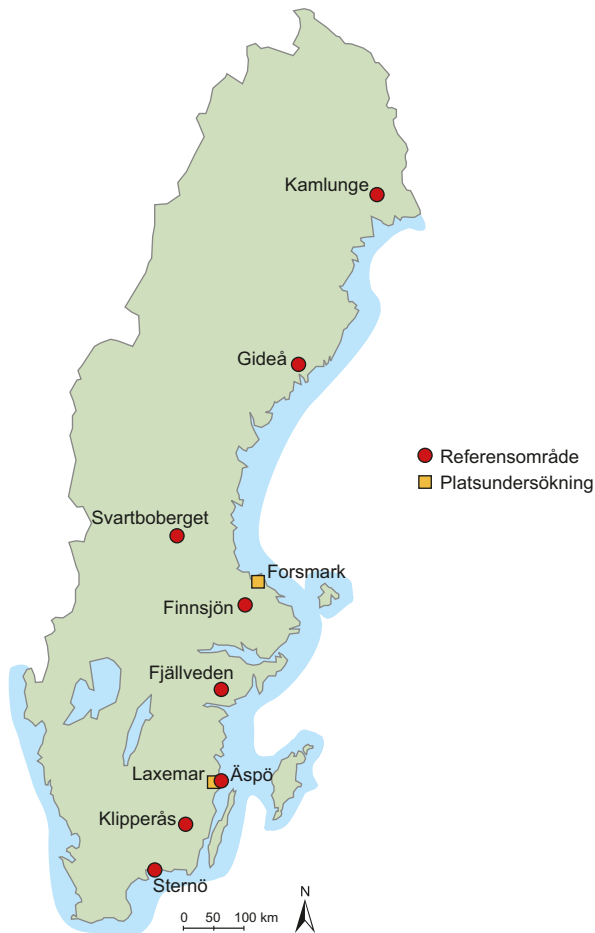
8.2 Jämförelser avseende säkerhetsrelaterade platsegenskaper

8.2.3 Referensområden

Jämförelsematerial avseende säkerhetsrelaterade platsegenskaper har huvudsakligen hämtats från platser som undersöktes under perioden 1975–1985, se avsnitt 3.2–3.3. Av de platser där borrhålsundersökningar gjordes i detta skede har data nyttjats från Sternö, Klipperås, Fjällveden, Finnsjön, Svartboberget, Gideå och Kamlunge, se figur 8-1. Återstående två platser – Kråkemåla och Taavinunnanen – uteslöts därför att borrhålsundersökningarna där var för begränsade för att medge relevanta jämförelser med Forsmark. Därutöver inkluderas Äspö i jämförelsematerialet. De platser som utgör referensområden uppfyller därmed följande:

- De har inte ingått i det urval som gjorts inom platsvalsprocessen, och kan därmed bidra med fristående referensmaterial.
- De representerar flera och i sammanhanget relevanta urbergsmiljöer.
- De är undersökta med ett flertal kärnborrhål (fler än tre) och har varit föremål för borrhålsundersökningar till relevanta djup.

För specifika jämförelser mellan Forsmark och Laxemar hänvisas till kapitel 7 och /SKB 2010b/. I det följande redovisas även vissa data från Laxemar tillsammans med data från Forsmark och referensområden, eftersom det kan ha ett särskilt intresse.



Figur 8-1. Lägen för referensområden, samt platser för platsundersökningar.

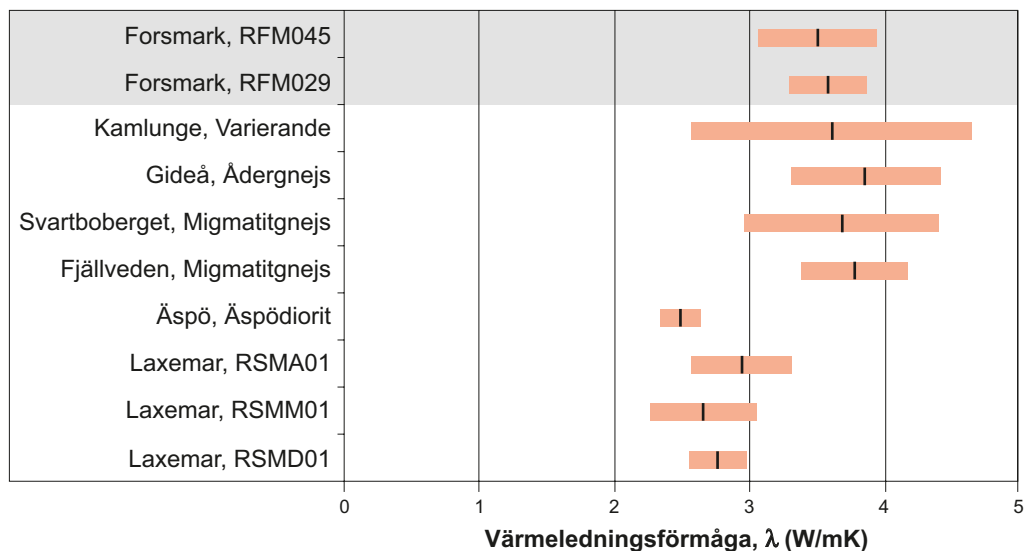
8.2.4 Bergets sammansättning och strukturer

Hur bergets sammansättning och strukturer, direkt och indirekt påverkat förvarets säkerhet beskrivs i avsnitt 6.2.1. Nedan redovisas jämförelser med referensområden avseende bergets värmeledande förmåga, frekvensen öppna sprickor samt möjlighet till förvarsanpassning med hänsyn till större deformationszoner.

Bergets värmeledande förmåga

Bergets värmeledningsförmåga styrs av den mineralogiska sammansättningen, framförallt halten av kvarts, och har avgörande betydelse för det minimiavstånd som krävs mellan deponeringspositioner för att möta temperaturkrav för bufferten. Det är alltså en viktig parameter för att kunna utforma förvaret så att säkerhetskraven uppfylls.

Figur 8-2 redovisar medelvärden och ungefärliga spridningar i resultaten för värmeledningsförmåga (termisk ledningsförmåga), baserade på laboratoriemätningar, för platser där data finns att tillgå. För Forsmark och Laxemar har värden beräknats för identifierade bergdomäner. För Forsmark överensstämmer värdena i stort med typområdenas, som alla har berg med i huvudsak granitisk sammansättning. Värmeledningstalerna för Forsmark och Laxemar ger enligt avsnitt 7.2.1 kapselavstånd på 6,0–6,8 m respektive 8,1–10,0 m. Skillnaden i värmeledningsförmåga har alltså betydande konsekvenser för förvarets utformning.



Figur 8-2. Data för termisk ledningsförmåga från Forsmark, Laxemar och referensområden (för referenser hänvisas till /Winberg 2010/)

Öppna sprickor

Förekomsten av öppna sprickor påverkar säkerheten, direkt och indirekt, i en rad avseenden, se avsnitt 6.2. Stora och/eller vattenförande sprickor kan resultera i att tilltänkta deponeringspositioner inte tas i anspråk. Grundvattenrörelser i berget sker via öppna sprickor, varför spricksituation har avgörande betydelse för den långsiktiga funktionen hos de tekniska barriärerna.

Med öppna sprickor menas här sprickor som delar borrhärnan och som inte bedöms vara orsakade av borrhning eller annan hantering. De kan ha en beläggning av sprickmineral och har potential att leda vatten. Data rörande frekvens av öppna sprickor i djupintervallet 400–700 m från Forsmark, Laxemar och referensområden har sammanställts av /Winberg 2010/. Resultaten sammanfattas i tabell 8-1. Redovisade sprickfrekvenser avser bergmassan mellan identifierade deformationszoner (för karterade sektioner markerade som ”krosszon” eller ”kärnförlust” har antagits en sprickfrekvens av 50 sprickor/m).

Data har hämtats från olika källor och det finns skillnader i de metoder som använts för undersökning, datahantering och utvärdering som i någon mån påverkar jämförbarheten i beräknade sprickfrekvenser. Men även med reservation för detta är den entydiga slutsatsen att Forsmark uppvisar en mycket låg frekvens av öppna sprickor på förvaringsdjup i förhållande till andra undersökta platser. Det enda referensområdet med jämförbar sprickfrekvens är Sternö. För övriga referensområden och Laxemar är frekvensen av öppna sprickor grovt räknat en faktor 3–12 högre än för Forsmark.

Tabell 8-1. Frekvens av öppna sprickor i bergmassan mellan deterministiskt modellerade deformationszoner, inom det vertikala djupintervallet 400 till 700 m (för borrhålsbeteckningar, beräkningsmetoder och källor, se /Winberg 2010/).

Område	Sprickfrekvens (öppna sprickor per meter)
Forsmark	0,6
Kamlunge	2,5
Gideå	3,6
Svartboberget	2,4
Finnsjön	6,8
Fjällveden	1,6
Klipperås	4,1
Sternö	0,8
Äspö	3,4
Laxemar	3,1

Möjlighet till anpassning av förvaret

Enligt de kriterier för anläggningsutformning som tillämpats under platsundersökningsskedet krävs ett minsta avstånd på 100 meter mellan deponeringsområden och deformationszoner med en tolkad längd större än 3 km. Layouten för Forsmark har med detta kriterium anpassats till fyra deformationszoner, varav en delar förvarsområdet i två deponeringsområden, se figur 5-7. För Laxemar har anpassning krävts till flera zoner och förvarsområdet har delats in i tre deponeringsområden, se figur 5-13. För referensområdena har inga layoutarbeten gjorts, med jämförbara förutsättningar i fråga om förvarsstorlek och kriterier för anpassning till zoner. En översiktlig bedömning kan dock göras att inget av referensområdena har så få större deformationszoner att ett förvar inte skulle behöva delas upp i två eller flera deponeringsområden. Mer detaljerade jämförelser är dock inte meningsfulla.

Slutsatser

Berget i Forsmark har i likhet med många andra platser god värmeledningsförmåga, vilket underlättar utformningen av förvaret. Jämförelser med referensområden verifierar uppfattningen att Forsmark karaktäriseras av en mycket låg frekvens av öppna sprickor. Detta ger en rad väsentliga fördelar med avseende på långsiktig säkerhet. Forsmark har vidare visat sig ge goda möjligheter att anpassa förvaret till större sprickzoner. Gynnsammare förhållanden skulle hypotetiskt kunna vara en plats där förvarsområdet inte skärs av någon deformationszon som kräver uppdelning i flera deponeringsområden. Tillgängliga data tyder inte på att det finns en sådan plats. Det är vidare tveksamt om detta skulle ge några väsentliga fördelar.

Sammanfattningsvis visar jämförelser med referensområden inte på förhållanden som skulle medföra att något av dessa är uppenbart bättre än Forsmark, med avseende på de faktorer kopplade till bergets sammansättning och struktur som studerats.

8.2.5 Framtida klimatutveckling

Möjlig påverkan av klimatets utveckling på förvarets säkerhet sammanfattas i avsnitt 6.2.2. Hur klimatet varierar geografiskt inom landet styrs i huvudsak av breddgrad (latitud) och höjd över havet (altitud). Vad dessa geografiskt betingade skillnader i klimat kan innebära för ett slutförvar är svårt att värdera i generella termer, eftersom klimatets effekter är nära kopplade till plats-specifika berg- och grundvattenförhållanden. /Winberg 2010/ har redovisat jämförelser med referensområden, med utgångspunkt från den antagna klimatutveckling som utgör SKB:s referensscenario för SR-Site och antagandet att relativa skillnader mellan olika platser kommer att bestå även under en framtida glaciationscykel. Jämförelserna avser maximalt djup av permafrost, maximal istjocklek vid en framtida glaciation samt utsträckningen i tid av perioder när platsen ligger under hav. Det senare påverkar grundvattnets salthalt. Eftersom analyser som integrerar effekterna klimat och lokala berg- och grundvattenförhållanden inte gjorts för referensområdena på samma sätt som för Forsmark och Laxemar blir jämförelserna i huvudsak kvalitativa.

Permafrost

Under perioder med permafrost blir permafrostens varaktighet och djupgående generellt större mot norr och mindre mot söder. Andra parametrar påverkar också djupgåendet, däribland bergets värmeledningsförmåga. Baserat på referensscenariot för klimatutvecklingen beräknas permafrosten i Forsmark nå ner till 260 m och i Laxemar till 160 m /SKB 2010b/. Permafrosten får väsentlig påverkan på säkerheten först om den når ner till förvaret så att bufferten fryser, vilket sker vid ca -4 C . Så kommer inte att ske vid varken Forsmark eller Laxemar, inte ens för extremt pessimistiska antaganden vad gäller klimatutveckling. För platser längre norrut i landet krävs sannolikt i många fall större förvarsdjup för att med säkerhet undvika frysning. Eventuella nackdelar med större förvarsdjup är beroende av lokala bergförhållanden.

Glaciation

Glaciationsförlopp ger omfattande påverkan på belastningar och grundvattenförhållanden, även på förvarsdjup. Nedisningens varaktighet och mäktigheten på istäcket är beroende av geografiskt läge. Forsmarks nordligare läge innebär glaciationer med längre varaktighet och större ismäktighet

jämfört med Laxemar. De jämförande beräkningar som gjorts för Forsmark och Laxemar visar att motsvarande skillnader med avseende på grundvattentryck och tryckgradienter som driver grundvattenströmningen inte får något avgörande genomslag i en integrerad värdering av säkerheten. Skillnader i hur glaciationsförloppet påverkar grundvattnets kemiska sammansättning kan ha större effekter.

Det maximala grundvattentrycket på förvarsnivå under en glaciation är proportionellt mot den maximala tjockleken på inlandsisen. För de olika klimatutvecklingar för Forsmark som analyseras i SR-Site, /SKB 2011a, avsnitt 12.7/ dras slutsatsen att detta tryck skulle kunna uppgå till cirka 35 MPa. Med tillägg för svälltryck från bufferten motsvarar detta ett maximalt tryck på kapseln på knappt 50 MPa. Mer nordliga platser eller platser i inlandet ger högre tryck eftersom istjockleken där blir större. Platsskillnaderna är dock små jämfört med osäkerheterna i sådana framtida prognoser. Ett högsta tänkbara värde för tjockleken på en kommande inlandsis bedöms dock kunna motsvara den största istjocklek som idag har mätts upp i Antarktis, vilket är ca 4 500 m. Det skulle motsvara ett totalt tryck på kopparkapseln om cirka 60 MPa. Även detta extremvärde underskrider med bred marginal det tryck som kapseln har beräknats tåla (90 MPa).

Perioder under hav

Att platsen för slutförvaret täcks av hav är positivt för säkerheten, eftersom det motverkar nedträngning till förvarsnivå av sötvatten från nederbörd eller isavsmältning, något som annars kan påverka barriärernas funktion negativt, se avsnitt 6.2. Platsskillnader vad gäller omfattningen av framtida havstäckning beror av altitud, men även av geografiska skillnader i inlandsisens mäktighet och varaktighet. Det senare påverkar nedtryckningen av berggrunden under glaciation och den efterföljande landhöjningen. De delar av landet som ligger ovanför högsta kustlinjen har inte varit havstäckta under någon period under eller efter den senaste istiden. Data på grundvattnets sammansättning från platser belägna ovanför högsta kustlinjen visar på markant större inslag av ytvatten med låga salthalter som trängt ned till större djup än data från platser under högsta kustlinjen. Detta kan innebära betydande nackdelar för platser belägna ovanför högsta kustlinjen.

Slutsatser

Den framtida klimatutvecklingen är på flera sätt väsentlig för slutförvarets långsiktiga säkerhet. Utfallet av olika scenarier för klimatets utveckling under de kommande 100 000 åren är nära kopplat till berg- och grundvattenförhållanden på förvarsplatsen. Geografiskt betingande skillnader i klimatet har som sådana mindre betydelse, så länge kritiska gränser inte överskrids. Det gäller exempelvis effekterna av skillnader i permafrostens djupgående och inlandsisens mäktighet under förväntade framtida glaciationsförlopp. Grundvattnets sammansättning uppvisar geografiska variationer som har stor betydelse för slutförvarets säkerhet. Dessa variationer är i någon mån relaterade till skillnader i klimat, men är i högre grad en fråga om höjd över havet. Dessa frågor behandlas i avsnitt 8.2.7.

Sammantaget har Forsmark ett gynnsamt läge med avseende på klimatfaktorer, något som för övrigt även gäller Laxemar och stora delar av landet i övrigt. Det finns inget som tyder på att det finns platser som i relation till Forsmark skulle ge väsentliga fördelar som kan relateras till skillnader i förväntad klimatutveckling.

8.2.6 Bergmekaniska förhållanden – bergspänningar

Bergmekaniska förhållanden påverkar både förvarets långsiktiga säkerhet och det tekniska genomförandet, se avsnitt 6.2.3 respektive 6.3.2. För den långsiktiga säkerheten är det främst två aspekter som måste beaktas. Den ena är möjlig instabilitet hos berget närmast deponeringshål och deponeringstunnlar till följd av lokal överbelastning (spjälkning). Den andra är möjliga rörelser i sprickor eller sprickzoner i samband med framtida jordskalv. Här behandlas stabilitetsfrågor kopplade till lokala förhållanden kring deponeringsutrymmen. Jordskalv och deras möjliga konsekvenser diskuteras i nästföljande avsnitt.

Hållfasthet

Stabiliteten hos bergutrymmen avgörs generellt av bergets hållfasthets- och deformationsegenskaper, belastningarna (bergspänningarna), samt geometrin på de utrymmen som tillskapas. De bergarter som dominerar på förvarsnivå i Forsmark har enligt de omfattande tester som gjorts hållfastheter som kan beskrivas som normala till höga i relation till både det fåtal hållfasthetsdata som finns från referensområdena Gideå, Finnsjön och Sternö /Winberg 2010/ och till allmänna data för granitiska bergarter.

De mekaniska egenskaperna för bergmassan i större skala beror även av spricksituationen. För Forsmarks del bidrar den ringa förekomsten av öppna sprickor till en bergmassa med hög hållfasthet och gynnsamma egenskaper för bergbyggnad. Detta framgår tydligt av de prognoser som gjorts för bland annat behov av bergförstärkning i slutförvarets olika bergutrymmen /SKB 2009a/.

Bergspänningar

Under platsundersökningen i Forsmark har en rad metoder använts för att få kunskap om bergspänningarna. Det finns därmed ett omfattande dataunderlag, men även kvarstående osäkerheter beroende på begränsningar i tillgängliga mätmetoder. Mätningarna indikerade redan på ett tidigt stadium relativt höga bergspänningar, och att spänningstillståndet därför är av stor betydelse för utformningen av förvaret. Ett omfattande tolkningsarbete har därför lagts ner för att få fram bäst möjliga prognos som underlag för att utforma förvaret och utvärdera möjliga konsekvenser av de osäkerheter som kvarstår /Martin 2007/. Tolkningar och resultat sammanfattas i avsnitt 7.1.3.

Av referensområdena är det endast Äspö som varit föremål för bergspänningsmätningar i större omfattning. Där har undersökningar kunnat göras även från bergutrymmen. Data från övriga områden inskränker sig till begränsade och delvis osäkra mätningar i Gideå och Finnsjön /SKB 2010a/. Ett bättre jämförelseunderlag än de fåtaliga mätresultaten från referensområdena kan fås från databaser som samlar en stor del av resultaten från bergspänningsmätningar i bland annat de skandinaviska länderna. Figur 8-3 visar data för de största och minsta horisontella spänningskomponenterna, tillsammans med de bästa tolkningarna för Forsmark enligt /Martin 2007/ (jfr även figur 7-1). Bakgrundsdata har hämtats från en databas som omfattar mätresultat från Sverige, Norge och Finland fram till ungefär 1986, /Stephansson et al. 1991/, kompletterat med merparten av de mätningar som gjorts i Sverige därefter (där ingår även data från referensområdena och Laxemar).

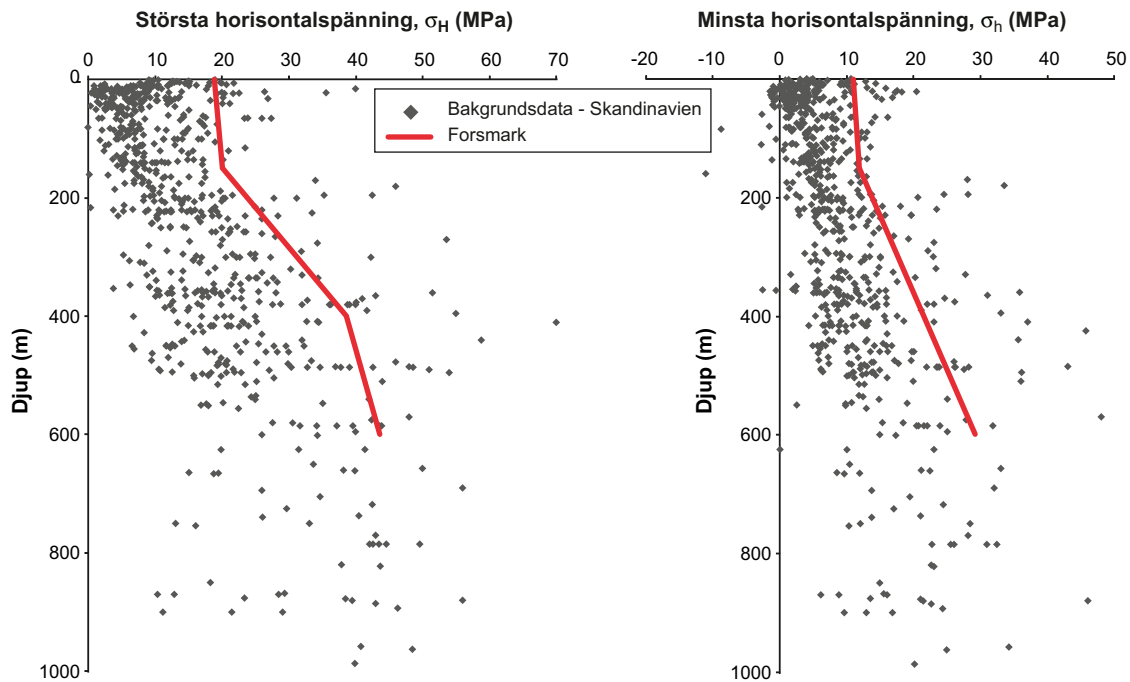
Det bör påpekas att bakgrundsdata ingalunda är felfria. Exempel på felkällor är brister hos mätmetoder eller att spänningsfältet där mätningar utförts kan ha varit påverkat av närliggande bergrum, något som är vanligt i t ex gruvor. Men bortser man från enskilda mätpunkter och betraktar data som helhet fås en god uppfattning om vad som är normala värden och ungefärliga spridningsintervall för horisontalspänningarna i skandinavisk berggrund.

En jämförelse med tolkningarna för Forsmark visar då följande:

- Den största horisontalspänningen, σ_H , i Forsmark är klart högre än genomsnittet för bakgrundsdata, men faller inom variationsbredden.
- Den minsta horisontalspänningen, σ_h , i Forsmark är också högre än genomsnittet, men inte i lika hög grad som σ_H .

Figur 8-3 visar inga spänningsriktningar eller vertikalspänningar, men de riktningar som konstaterats i Forsmark överensstämmer väl med generella trender för hela Skandinavien. Detsamma gäller beloppen på spänningarna i vertikalled /Martin 2007/.

Slutsatsen blir därmed att Forsmark kännetecknas av höga – men inte unikt höga – horisontalspänningar, och i övrigt normala spänningsförhållanden. Det är dessa förhållanden som i kombination med tillkommande termisk belastning ger förutsättningarna för överbelastning och spjälkning kring deponeringshål, med åtföljande behov att anpassa förvarets utformning. Detta behandlas i avsnitt 7.1.3 och 7.2, samt mera ingående i /SKB 2010b/.



Figur 8-3. Största och minsta horisontalspänning som funktion av djup /Winberg 2010/. Bakgrundsdata representerar mätningar i Skandinavien. Data för Forsmark (heldragen röd linje) representeras av sammanfattande tolkningar enligt /Martin 2007/.

Med beaktande av de geologiska förhållandena i Forsmark är förekomsten av höga bergspänningar på större djup inte förvånande. Inom den tektoniska lins där förvaret planeras ligga kännetecknas berggrunden av förhållandevis styva och höghållfasta bergarter, men framförallt av en låg frekvens av öppna sprickor (jfr tabell 8-1), som sammantaget ger en bergmassa med hög styvhet. Erfarenheter från gruvor och berganläggningar på olika håll i världen visar att berggrund med låg frekvens av öppna sprickor och hög styvhet relativt omgivningen tenderar att ha förhöjda spänningsnivåer. Den allmänt accepterade principiella förklaringen är att när ett material med lokalt varierande styvhet utsätts för en yttre belastning så kommer lastöverföringen inne i materialet att fördelas så att partier med hög styvhet överför högre belastningar än partier med lägre styvhet. Detta stämmer väl in på förhållandena i Forsmark. Den korrelation som kunnat påvisas mellan sprickfrekvens (sprickdomäner) och spänningsnivåer inom den undersökta bergvolymen stöder också förklaringsmodellen.

Slutsatser

De förhöjda bergspänningar som dokumenterats i Forsmark innebär nackdelar i form av särskilda krav på anpassning av förvarets utformning för att undvika överbelastning i anslutning till deponeringstunnlar och deponeringshål. Möjligheten att överbelastning och spjälkning inträffar kan ändå inte helt avskrivas. Det står också klart att det finns platser där dessa nackdelar är mindre uttalade eller obefintliga, därför att spänningarna är lägre.

Bergspänningarna och deras möjliga konsekvenser måste emellertid värderas som en del av de geologiska förutsättningar som Forsmark erbjuder, totalt sett. Det finns stöd för slutsatsen att de förhöjda spänningarna är direkt relaterade till utmärkande egenskaper hos berget, framförallt den låga frekvensen av öppna sprickor på djupet. Dessa egenskaper ger flera väsentliga fördelar, den viktigaste att det finns få sprickor som kan leda vatten, som har avgörande betydelse för förutsättningarna att uppnå långsiktig säkerhet (se avsnitt 7.1). Även byggande och drift underlättas, exempelvis genom små behov av bergförstärkning och tätning vid tunneldrivning.

I en samlad värdering framstår alltså förhållandet med förhöjda bergspänningar som ett ”pris” som får betalas för tillgången till berggrund med i övrigt avgörande positiva egenskaper. Eftersom de nackdelar som följer av bergspänningarna kan hanteras genom anpassning av förvarets utformning och konstruktion, och de osäkerheter som efter dessa åtgärder kvarstår bedöms vara små, är detta sammantaget inget som talar till Forsmarks nackdel i förhållande till andra platser.

8.2.7 Bergmekaniska förhållanden – jordskalv

Rörelser i samband med framtida större jordskalv kan eventuellt skada enskilda kapslars integritet och därmed förorsaka utsläpp av radionuklider. Frekvensen av jordskalv är i dag och historiskt låg i Sverige. De skalv som förekommer är geografiskt ojämnt fördelade och magnituderna är låga, med få undantag magnitud $< M_{3,5}$ /SKB 2010b/. Betydligt större skalv, troligen M8-9, förekom i norra Sverige i samband med inlandsisens avsmältning. Inga spår av liknande skalv har kunnat påträffas vid de undersökningar som gjorts i samband med platsundersökningen i Forsmark /SKB 2008a/. Under de kommande en miljon åren, då flera istider förväntas, kan dock något eller några skalv av magnitud 5 eller större förväntas inträffa.

Den metodik som utvecklas för att anpassa förvarets utformning till dessa möjliga rörelser berörs i avsnitt 7.1.3 och redovisas ingående i /SKB 2010b/. Metodiken har tillämpats vid utformningen av förvarslayouterna för Forsmark och Laxemar, i båda fallen med resultat att riskerna för att kapslar ska kunna skadas av rörelser i samband med jordskalv är mycket små och jämförbara för respektive plats.

Slutsatser

Forsmarksregionen uppvisar en låg frekvens av jordskalv och några större skalv sedan inlandsisens avsmältning för 10 000 år sedan har inte kunnat spåras. Det innebär inte att större skalv helt kan uteslutas, varken i Forsmark eller på andra platser. Förvaret måste därför utformas så att större deformationszoner undviks, likaså kapselpositioner med potential för sekundära rörelser i sprickor som kan skada kapslar. För Forsmark har detta kunnat göras med gott resultat.

Generellt kan skillnaderna i observerad jordskalvsfrekvens mellan olika delar av landet inte läggas till grund för att rangordna regioner eller platser med avseende på lämpligheten för ett slutförvar. Lokala förhållanden och hur förvaret anpassas till dessa har avgörande betydelse. Möjligen kan den dokumenterade förekomsten av större skalv vid inlandsisens avsmältning i norra Sverige ses som en nackdel för denna region, i relation till södra Sverige.

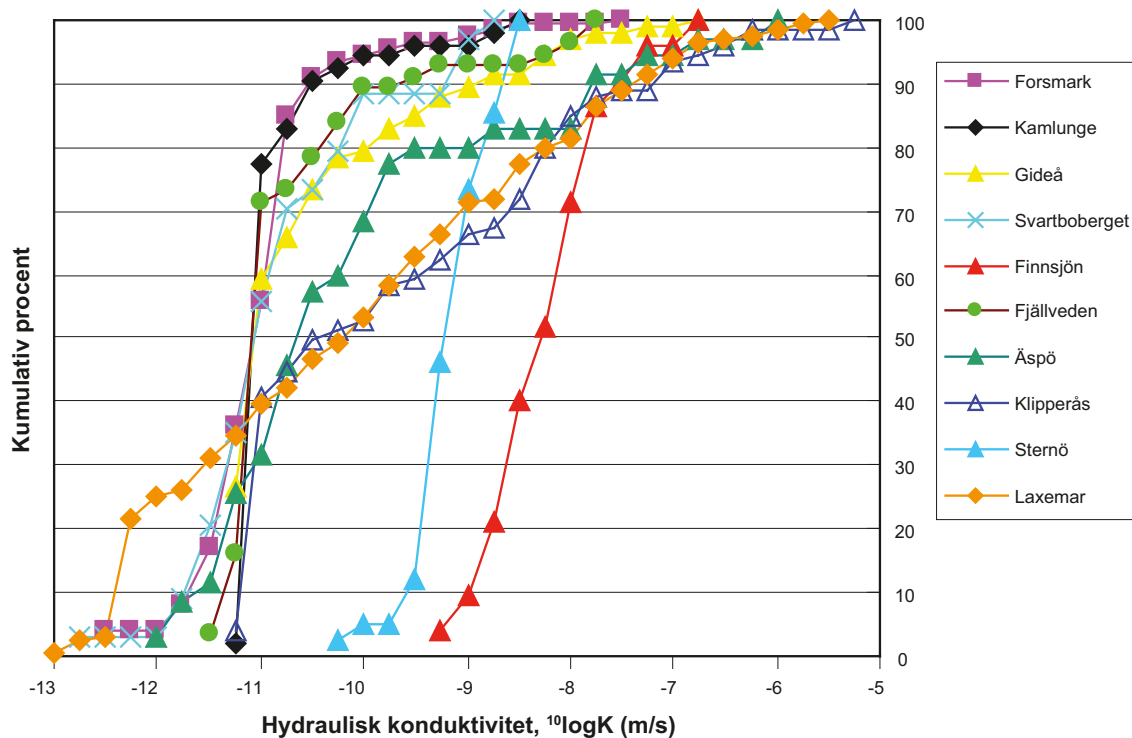
8.2.8 Grundvattenströmning

De faktorer som styr grundvattenströmningen och hur dessa påverkar förvarets säkerhet sammanfattas i avsnitt 6.2.4, och i avsnitt 7.1.4 jämförs förhållandena i Forsmark och Laxemar. I de avsnitt som följer redovisas först en jämförelse av borrhålsdata för bergmassans hydrauliska konduktivitet i Forsmark med motsvarande data från referensområden. Därefter sammanfattas och kommenteras den diskussion som tidigare förts mellan SKB och myndigheterna (dåvarande SKI och SSI) beträffande den eventuella betydelsen av grundvattenströmning i regional skala för lokaliseringsförutsättningarna för slutförvaret, med utgångspunkt från kompletterande analyser som gjorts på SKB:s uppdrag.

Hydraulisk konduktivitet

/Winberg 2010/ har jämfört data för bergmassans hydrauliska konduktivitet från platsundersökningarna i Forsmark och Laxemar med motsvarande data från undersökningar av referensområden i tidigare skeden. Jämförelsen har likheter med analysen av sprickfrekvens enligt avsnitt 8.2.2; den avser djupintervallet 400–700 m och begränsas till bergmassan mellan identifierade och deterministiskt modellerade deformationszoner. Den parameter som studeras är alltså den hydrauliska konduktiviteten på ungefärligt förvarsdjup och i den del av berget där kapslar skulle kunna placeras i ett hypotetiskt förvar.

Jämförande data för hydraulisk konduktivitet för Forsmark, åtta referensområden samt Laxemar redovisas i ett gemensamt diagram i figur 8-4. Data avser genomgående injektionstester i mätskalan 20–25 m. Kurvorna i figuren visar kumulativa fördelningar, dvs det procenttal som kan avläsas för ett givet konduktivitetvärde anger den andel av mätningarna på platsen som gett konduktiviteter mindre än detta värde. Observera också att skalan för hydraulisk konduktivitet är logaritmisk.



Figur 8-4. Kumulativa fördelningar för uppmätt hydraulisk konduktivitet (K) i skala 20-25 meter, för Forsmark och referensområden. Data representerar bergmassan mellan deterministiska deformationszoner i djupintervallet 400 till 700 m.

Fördelningarna i figur 8-4 representerar mätningar som gjorts över en tidsperiod från sent 1970-tal (Sternö, Finnsjön) till platsundersökningarna under åren 2002–2008. Under denna period har mättekniken utvecklats avsevärt, i synnerhet vad avser mätgränser. Vad detta betyder för databearbetningen och jämförbarheten av fördelningarna i figur 8-4 har utvärderats av /Winberg 2010/. Två effekter bör observeras: Den ena följer av att mätgränserna vid de tidigaste mätningarna var avsevärt högre (med andra ord sämre) än vid senare mätningar. Effekten blir att fördelningarna för de tidigast undersökta platserna – Sternö och Finnsjön – förskjuts åt höger relativt övriga (eftersom låga konduktiviteter inte kunde registreras). Sternö och Finnsjön kan därför inte jämföras direkt med övriga platser, möjligen med undantag för de översta percentilerna av fördelningarna (höga konduktiviteter). Detta förklarar också Sternös' till synes höga konduktiviteter, trots en dokumenterat mycket låg frekvens av öppna sprickor som kan leda vatten (jfr tabell 8-1). Den andra effekten är att skillnader i mätgränser i någon mån kan påverka även fördelningar för övriga platser, men då med begränsning till mycket låga konduktiviteter, dvs de delar av fördelningarna som faller längst ner mot vänster i figur 8-4. Detta spelar i sammanhanget mindre roll, eftersom det är förekomsten av betydligt högre konduktiviteter (uppåt mot höger i figuren) som sätter gränserna för bergets lämplighet.

Med dessa reservationer kan det konstateras att Forsmark uppvisar en fördelning som svarar mot låga konduktiviteter, och framförallt en mycket låg andel mätsektioner med hög konduktivitet. Fördelningen för Kamlunga är till väsentliga delar är närmast identisk med den för Forsmark, och även Gideå, Svartboberget och Fjällveden ansluter nära till samma trend. Klipperås och Laxemar uppvisar en helt annan typ av fördelning, med konduktiviteter jämt fördelade över ett brett intervall. Äspö, slutligen, ansluter till Klipperås och Laxemar för konduktivitetsvärden större än ca 10^{-9} m/s, men inte i övrigt.

Tabell 8-2 redovisar jämförelsen ur en annan synvinkel. Tabellen visar antal data för varje plats samt andel av konduktivitetsvärden $\leq 3 \cdot 10^{-10}$ m/s (Sternö och Finnsjön har uteslutits, av skäl som redovisas ovan). Värdet $3 \cdot 10^{-10}$ m/s har valts därför att det kan kopplas till gällande acceptanskriterium för vatteninläckning till deponeringshål. Det maximalt tillåtna inflödet till ett deponeringshål har angetts till 0,1 L/min /SKB 2009e/. Detta motsvarar en spricktransmissivitet på $3 \cdot 10^{-9}$ m²/s /Smith et al. 2009/, vilket grovt kan översättas till en hydraulisk konduktivitet i tiometerskala (motsvarande deponeringshålet) på ca $3 \cdot 10^{-10}$ m/s. Andelen mätresultat $\leq 3 \cdot 10^{-10}$ m/s kan alltså översiktligt

antas motsvara den andel av bergmassan som uppfyller kriteriet och som därmed kan nyttjas för deponering, dvs nyttjandegraden. För Forsmark och Laxemar ger detta skattade nyttjandegrader på 97 % respektive 63 % (med avseende enbart på inläckning till deponeringshål och utan hänsyn till tätningståtgärder). Dessa värden är i paritet med de nyttjandegrader som enligt avsnitt 7.2.2 beräknats utifrån platsmodellerna och de platsanpassade förvarslayouterna. Skattningarna bör då ge rimliga värden för nyttjandegraden även för referensområdena.

Tabell 8-2. Hydraulisk konduktivitet – antal data samt andel mätresultat $\leq 3 \cdot 10^{-10}$ m/s (mätskala 20–21 m).

Plats	Antal data	Andel mätresultat $\leq 3 \cdot 10^{-10}$ m/s (%)
Forsmark	151	96,7
Kamlunge	53	96,2
Gideå	93	85,0
Svartboberget	34	88,2
Klipperås	74	59,5
Fjällveden	56	91,1
Åspö	35	80,0
Laxemar	172	62,8

Slutsatser – hydraulisk konduktivitet

Jämförelser med referensområden av bergmassans hydrauliska konduktivitet på förvarsdjup och den andel av berget som bedöms kunna nyttjas för deponering visar att förhållandena i Forsmark är gynnsammare än, eller i något fall jämförbara med, förhållandena i referensområdena. Det finns inget som tyder på att någon annan plats skulle erbjuda väsentligt bättre förutsättningar än Forsmark med avseende på dessa faktorer.

Regional grundvattenströmning

I förstudieskedet av lokaliseringsarbetet utreddes översiktligt för- och nackdelar med att förlägga slutförvaret till norra respektive södra Sverige, samt vid kusten respektive i inlandet /Leijon 1998/. Slutsatsen var att dessa geografiska faktorer inte har någon avgörande betydelse och att bedömningar av lämpligheten istället måste grundas på kunskap om lokala förhållanden. En aspekt av förläggningens platsens läge vid kust kontra i inlandet har sedan dess diskuterats vidare och varit föremål för analyser. Det gäller huruvida långa strömningsvägar (och långa uppehållstider) för grundvatten från inlandslägen kan ge fördelar ur säkerhetssynpunkt genom att bidra till fördröjning av radionuklider, och om detta i så fall skulle kunna tas tillvara vid lokalisering.

Med utgångspunkt från tidigare studier av och myndigheternas synpunkter på dessa initierade SKB under 2005 ett omfattande modelleringsarbete för att belysa dessa frågor /Ericsson et al. 2006/. Studien syftade till att utvärdera konceptuella förenklingar och osäkerheter vid modellering av grundvattenströmning i regional skala, samt att analysera regionala flödesförhållanden i östra Småland.

Resultaten från modellanalyserna ökade förståelsen för grundvattenflödets mönster i olika skalor och hur flödesmönstret principiellt påverkas av en rad viktiga systemegenskaper. En slutsats var att huvuddelen av den grundvattencirkulation som berör förvarsdjup sker inom lokala flödesceller. Andelen storregionala flödesceller var enligt studien mycket liten. Mönstret med dominans av cirkulation i lokal skala förstärktes med ökad konceptuell komplexitet i den systembeskrivning som modellerna representerade.

I studien simulerades bland annat statistiska skillnader i hydraulisk konduktivitet mellan olika bergarter. Resultaten visade att gynnsamma flödesförhållanden (små flöden, långa genombrotstider) tenderar att geografiskt korrelera med bergarter med låg konduktivitet. Det poängterades emellertid också att vattengenomsläppligheten i lokal skala i realiteten kan variera inom vida gränser och att grundvattenflödet är starkt beroende av dessa variationer. För enskilda platser bedömdes detta kunna

påverka flödets storlek och fördelning i betydligt större grad än de variationer av systemparametrar som analyserades inom ramen för studien. Detta var en viktig anledning till att studien inte ansågs medge några slutsatser om grundvattenströmningen på enskilda platser. För SKB:s del gav studien värdefull kunskap om olika systemparametrars betydelse för grundvattenströmningen, men den ändrade inte på tidigare slutsatser beträffande betydelsen av regional grundvattenströmning ur lokaliseringssynpunkt.

Den studie som redovisats av /Ericsson et al. 2006/ granskades gemensamt av dåvarande SKI och SSI, och mera ingående av SSI /Dverstorp 2007/. Granskningen gav stöd för att arbetet hade bidragit till den vetenskapliga förståelsen för olika faktorerers inverkan på flödesmönstret. Samtidigt pekade granskningen på ett antal antaganden och modellförenklingar vilkas konsekvenser för resultaten ansågs ofullständigt utredda, samt ofullständigheter i utvärderingen av vissa resultat. SSI /Dverstorp 2007/ ansåg därför att studien inför SKB:s planerade tillståndsansökan borde kompletteras på följande punkter:

- Ytterligare utreda betydelsen av antaganden och modellförenklingar för att stärka trovärdigheten i beräkningsresultaten. Det gäller inverkan av modelldjup, topografi, grundvattenytans läge, randvillkor för modellens sidor, diskretisering, representation av geologiska strukturer samt bestämningar av flödesvägar, som kan misstänkas påverka andelen beräknade långa transportvägar och transporttider.
- Vidareutveckla den statistiskt präglade utvärderingen av modellberäkningarna för att kunna dra säkrare slutsatser, inklusive en diskussion om fullständighet i analyserade konceptuella modellbeskrivningar och om lokala platsegenskaper av betydelse som kan identifieras från tillgängliga data.
- Illustrera i vilken utsträckning platsspecifika skillnader i grundvattnets strömningsmönster, uttryckt i ett antal hydrogeologiska parametrar som transportvägarnas längd och transporttider, påverkar säkerhetsanalysens resultat.

På uppdrag av SKB har kompletterande studier genomförts avseende punkterna ovan /Ericsson och Holmén 2010/. Känslighetsanalyser har gjorts för att belysa hur angivna modellantaganden, randvillkor m m kan påverka de slutsatser som dragits i tidigare skeden. Sammanfattningsvis är den påverkan på resultaten som dessa faktorer ger inte av den digniteten att den förändrar de generella slutsatser som presenterats tidigare i /Ericsson et al. 2006/. Fullständiga analyser och resultat redovisas i /Ericsson och Holmén 2010/.

De kompletterande känslighetsanalyserna tillåter även en förbättrad utvärdering av fullständigheten i de analyserade modellberäkningarna. Inget av de analyserade variationsfallen resulterade i ändringar av beräknade transporttider överstigande 10–20 procent. Vidare studerades den statistiska fördelningen av flödesvägar inom specifika områden mer i detalj. Även i områden med generellt sätt mer gynnsamma transporttider, främst på grund av antagen låg vattengenomsläpplighet, är variationen i genombrotstider extremt stor på grund av den lokala variationen av vattengenomsläpplighet. Spridningen i flödesvägarnas egenskaper inom ett område i förvarsskala kan vara betydande. Det går därför inte att utifrån en strömningsanalys över ett stort område och enbart generell kunskap om vattengenomsläpplighetens storlek i olika områden uttala sig om fördelningen av transportvägar från ett visst område.

Slutsatser om hur platsspecifika skillnader i grundvattnets strömningsmönster, uttryckt i ett antal hydrogeologiska parametrar som transportvägarnas längd och transporttider, påverkar säkerhetsanalysens resultat kan hämtas från de känslighetsanalyser som gjorts i olika säkerhetsanalyser, senast i SR-Site /SKB 2011a/. De viktigaste riskpåverkande faktorerna redovisas i SR-Site /SKB 2011a, tabell 13-13/. Dit hör det specifika grundvattenflödet kring deponeringshål och grundvattenflödet i berget, uttryckt som transportmotstånd. Transportmotståndet är korrelerat till grundvattnets transporttider (som beror av transportvägarnas längd), men även bergets struktur och sprickfrekvens spelar in. Känslighetsanalyserna visar att skillnader i grundvattenflöde eller transportmotstånd på några tiotal procent har liten betydelse för risken.

Slutsatser – regional grundvattenströmning

SKB:s samlade slutsats är att det inte går att påvisa någon systematisk skillnad mellan kust- respektive inlandslägen vad gäller förekomsten av gynnsamma strömningsförhållanden. De kompletterande analyser som redovisats av /Ericsson och Holmén 2010/ har inte ändrat på denna uppfattning. Huvudskälet är att undersökningar och analyser har visat att lokala förhållanden, främst berggrundens vattengenomsläpplighet, är avgörande för om en plats är lämplig för ett slutförvar, med avseende på grundvattenströmning. Platsundersökningarna i Laxemar och Forsmark har befast denna uppfattning. Detta hindrar inte att grundvattenströmningen från ett förvarsläge kan innefatta regionala komponenter som kännetecknas av långa och långsamma strömningsvägar. Det bedöms dock inte vara möjligt att med rimliga insatser verifiera sådana förhållanden, med tillräcklig tillförlitlighet för att de ska kunna tillskrivas någon säkerhetsfunktion för ett slutförvar.

8.2.9 Grundvattnets sammansättning

Grundvattnets nuvarande och framtida sammansättning har stor betydelse för den långsiktiga säkerheten, se avsnitt 6.2.5. Det gäller främst salthalt, redoxförhållanden (om det finns risk för löst syre i grundvatten) samt halter av andra ämnen som kan inverka skadligt på buffert eller kapsel. I säkerhetsanalysen görs bedömningar av hur sammansättningen kommer att påverkas i framtiden på grund av den pågående landhöjningen och av kommande klimatförändringar.

Provtagning och analyser

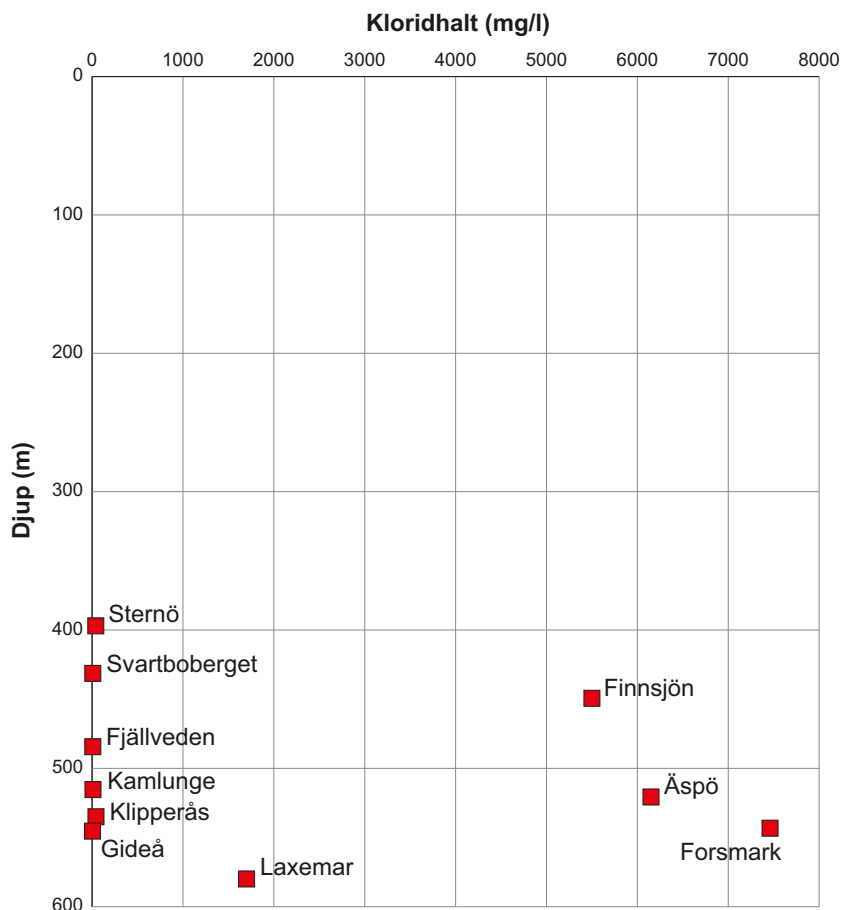
Provtagning och analyser av djupa grundvatten har genomgått en väsentlig utveckling från de första undersökningarna på Sternö och i Finnsjön i slutet av 1970-talet, via Äspölaboratoriet, till omfattande provtagningar i Forsmark och Laxemar under platsundersökningarna. Tidiga provtagningar i referensområdena visade på stora svårigheter med att få representativa prover /SKB 2010a/. Platser i inlandet där prover tagits i borrhål karakteriseras företrädesvis av inflöde av grundvatten (grundvattenbildning). Sådana förhållanden i kombination med svårigheter att isolera ytliga delar av borrhålen innebär risk för kontamination av prover från djupare delar, vilket också har konstaterats. Analyser av grundvatten från referensområden i inlandet kännetecknas därför genomgående av en brist på representativa data från relevanta djup för väsentliga parametrar /Winberg 2010/.

Provtagningen blir mer rättvisande i miljöer som karakteriseras av utströmning av grundvatten, t ex i Finnsjön, Äspö och även för Laxemar och Forsmark, där särskilt provtagningar av djupa grundvatten under det senaste decenniet gett en mer tillförlitlig bild av djupa grundvattens kemi. Att notera är dock att även äldre data från Finnsjön, som är kustnära, på ett acceptabelt sätt belyser de kemiska förhållandena på större djup på denna plats. Detta gäller däremot inte för äldre data från Sternö.

Jämförelser

Grundvattnet på förvarsnivå får inte innehålla löst syre eftersom syre korroderar koppar. Förekomst av löst syre i grundvatten på förvarsnivå har inte påvisats vid någon av de undersökta platserna. Det bör dock påpekas att huvuddelen av det lösta syret idag förbrukas av mikrobiella processer nära markytan och att det är enbart vid Forsmark och Laxemar som mer ingående undersökningar gjorts som påvisar att även berget, med ingående mineraler, kommer att reducera syre i infiltrerande grundvatten.

Grundvattnets salthalt och innehåll av kalcium påverkar stabiliteten hos bentonitleran. Låga halter kan innebära problem med avseende på detta. Här kan en översiktlig jämförelse mellan ett flertal platser göras, eftersom data för salthalt är relativt tillförlitliga. Figur 8-5 visar typiska kloridhalter på olika djup i Forsmark, Laxemar och referensområden. Vid de kustnära platserna – Forsmark, Äspö och Finnsjön – är kloridhalterna relativt höga (5 500–7 500 mg/l). Väsentligt lägre koncentrationer har konstaterats på platser som ligger mera inåt landet (Kamlunge, Gideå, Fjällveden, Klipperås). Laxemar intar en mellanställning med en kloridkoncentration på ca 1 700 mg/l. Det låga värdet för Sternö, beläget vid havet, kan tillskrivas effekter av kontamination från ytvatten.



Figur 8-5. Typisk kloridkoncentration i grundvatten provtagna i djupintervallet 400–600 m. För en fullständig dokumentation av representativa data, se /SKB 2008a, 2009c/.

Slutsatser

Grundvatten i Forsmark mellan 400 och 600 m djup kännetecknas av bräckta vatten med ökad salthalt mot djupet, lågt tritiuminnehåll (vilket tyder på begränsad inverkan av ytliga vatten), med inslag av glaciala vatten och Littorinavatten (marint ursprung). Motsvarande grundvatten återfinns på liknande djup på de kustnära platserna Laxemar och Äspö, och delvis Finnsjön, men salthalterna är högre i Forsmark. Variationerna mellan dessa platser kopplar till variationer i vattengenomsläpplighet och i lokal topografi, och därmed varierande yttäckning av Littorinahavet.

Möjligheterna att kvantitativt jämföra analyser av djupa grundvatten från referensområden är begränsade för många parametrar, givet skillnader i tillförlitligheten hos data och geografiskt läge. Underlag finns dock för att jämföra salthalter, som är väsentliga därför att låga salthalter kan möjliggöra buffererosion. Salthalterna i Forsmark, liksom på övriga kustnära platser, bedöms vara tillräckligt höga för att undvika buffererosion. Områden i inlandet har väsentligt lägre salthalter och där kan det finnas platser där salthalten redan idag är för låg för att säkerställa buffertens stabilitet.

För övriga grundvattenkemiska förhållanden av betydelse, som sulfidhalt, pH eller buffertkapacitet, saknas tillförlitliga data från andra platser än Forsmark och Laxemar för att kunna göra meningsfulla jämförelser. Den sammantagna slutsatsen är därmed att det inte finns någon undersökt plats som i något avseende som kan kontrolleras uppvisar en avgjort mera gynnsam situation än Forsmark vad avser grundvattenkemiska förhållanden.

8.2.10 Fördröjning av lösta ämnen

Bergets förmåga att fördröja spridningen av radionuklider från en skadad kapsel styrs av materialegenskaper i kombination med grundvattenströmningens storlek och fördelning, se avsnitt 6.2.6. Materialegenskaperna avgör matrisdiffusion (utbyte av massa mellan vatten i sprickor och berg-

matrisen) och sorption (fastgöring av massa på sprickkytor och inre ytor i bergmatrisen). Erfarenheter från platsundersökningarna, liksom från tidigare undersökningar i referensområden, indikerar små skillnader mellan olika platser vad avser både matrisdiffusion och sorption. Däremot finns det stora skillnader i grundvattenströmningen, se avsnitt 8.2.6. Givet att Forsmark har en mycket låg frekvens av konduktiva sprickor på förvarsdjup och en låg vattenföring har Forsmark i detta avseende en väsentlig fördel jämfört med referensområdena.

Slutsatser

Grundvattenförhållandena i Forsmark bidrar till gynnsamma förutsättningar även för fördröjning av lösta ämnen. Det finns inget som tyder på att någon annan plats skulle ge väsentligt bättre förutsättningar i detta avseende.

8.2.11 Platskännedom

För att det ska vara möjligt att uttala sig om säkerheten för ett slutförvar på en viss plats är det nödvändigt att ha god tilltro till att beskrivningen av platsen redovisar verkliga förhållanden, eftersom säkerhetsanalysens prognoser bygger på dessa.

Den grad av platskännedom som uppnås avgörs av kombinationen av undersökningsinsatser och platsens naturgivna förutsättningar. Vad gäller insatser kan de undersökningar som gjorts av referensområdena inte jämföras med platsundersökningarna, varken kvantitativt eller kvalitativt. Däremot har erfarenheterna från referensområdena tillsammans med övriga lokaliseringsstudier gett en god kunskap om vilka förhållanden som kan förenkla respektive försvåra förståelsen för en plats. Generellt ger berggrund med väl avgränsade och homogena litologiska enheter, liksom regelbunden strukturell uppbyggnad, fördelar. Tunt jordtäckte och hög blottningsgrad är också fördelaktigt, särskilt i tidiga undersökningsskeden.

Forsmark kännetecknas av en tydlig, strukturellt styrd och relativt homogen geologi. Detta avspeglar sig i överlag enhetliga mekaniska, termiska och hydrogeologiska egenskaper. Dessa förhållanden har visat sig underlätta förståelsen för platsen avsevärt och kompenserar mer än väl en låg blottningsgrad, som inledningsvis komplicerade beskrivningen av bergets geometri och egenskaper på djupet. Det bästa jämförelseobjektet är Laxemar, där mera heterogena geologiska förhållanden visat sig kräva något större undersökningsinsatser för att nå motsvarande grad av platskännedom, jfr avsnitt 7.1.8. Utan att kunna hänvisa till några kvantitativa jämförelser bedöms en del av referensområdena översiktligt ge förutsättningar för platsförståelse som är i paritet med Forsmarks, medan andra ger mindre gynnsamma förutsättningar. Till de förra hör Gideå och Fjällveden, till de senare Kamlunge, Svartboberget och Klipperås.

Slutsatser

Platsjämförelser i kvantitativa termer av förutsättningarna för platsförståelse är inte möjliga. Undersökningar och analyser av Forsmark har dock gett en god förståelse för platsen och riskerna för överraskningar i uppförandeskedet bedöms vara begränsade, jfr avsnitt 7.2.2.

8.3 Slutsatser

Forsmark har visats vara en lämplig plats med avseende på förutsättningarna att uppfylla ändamålet med slutförvaret för använt kärnbränsle. Egenskaper hos berggrunden är avgörande för lämpligheten. Jämförelser av dessa egenskaper med andra platser där undersökningar gjorts visar att Forsmark är en lämplig, och gynnsam, plats även i relativ bemärkelse. Ingen plats har kunnat identifieras som skulle kunna ge avgjort bättre förutsättningar än Forsmark. Det hindrar inte att det finns andra platser som uppvisar likvärdiga eller mera gynnsamma förhållanden med avseende på enskilda geologiska faktorer. Det är också möjligt att det kan finnas platser som totalt sett ger jämförbara förutsättningar att uppnå en långsiktigt säker förvaring. Det går däremot inte att se att det finns någon plats som kan ge sådana verifierbara fördelar över Forsmark att det skulle kunna motivera insatser för att söka en sådan plats.

Kraven på att ändamålet ska kunna uppnås med minsta intrång och olägenhet innebär, oavsett plats, krav på anpassning till lokala miljöförhållanden, industriella etableringsförutsättningar, transportmöjligheter m m. Dessa krav har beaktats under lokaliseringsarbetet för slutförvaret och redan inför platsundersökningarna drogs slutsatsen att de platser som valdes för undersökningarna i dessa avseenden erbjöd väsentliga fördelar i förhållande till andra platser (se avsnitt 4.4.2). Det omfattande underlag som tillkommit sedan dess har förstärkt denna uppfattning.

Mot denna bakgrund är SKB:s samlade slutsats att lokaliseringen av slutförvaret står i överensstämmelse med miljöbalkens intentioner att det inte ska finnas någon uppenbart bättre plats som är tillgänglig med insatser som är skäliga i förhållande till vad som skulle kunna uppnås.

9 Referenser

Publikationer utgivna av SKB (Svensk Kärnbränslehantering AB) kan hämtas på www.skb.se/publikationer.

Allmér J, 2010. Konsekvensbedömning av påverkan på naturvärden av anläggande och drift av slutförvar för använt kärnbränsle – Forsmark. SKB P-10-15, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Almén K-E, Zellman O, 1991. Äspö Hard Rock Laboratory. Field investigation methodology and instruments used in the pre-investigation phase, 1986–1990. SKB TR 91-21, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Andersson J, Ström A, Svemar C, Almén K-E, Ericsson L O, 2000. Vilka krav ställer djupförvaret på berget? Geovetenskapliga lämplighetsindikatorer och kriterier för lokalisering och platsutvärdering. SKB R-00-15, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Chapman N, Kautsky F, Simic E, Strömberg B, 2005. INSITE: Support for regulatory interactions during spent fuel repository site investigations in Sweden, 2005. In: ICEM'05/DECOM'05: The 10th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management, Glasgow, Scotland, 4–8 September 2005. American Society of Mechanical Engineers.

Dahlström K, 2007. Nulägesbeskrivning samt bedömning av konsekvenser för rekreation och friluftsliv av slutförvar och inkapslingsanläggning i Oskarshamn. SKB P-07-151, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Dverstorp B, 2007. SSI:s granskning av SKB:s storregionala grundvattenmodellering för östra Småland (SKB Rapport 06-64). SSI Rapport 2007:11, Statens strålskyddsinstitut.

Ericsson L O, Holmén J, 2010. Storregional grundvattenmodellering – en känslighetstudie av några utvalda konceptuella beskrivningar och förenklingar. SKB R-10-43, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Ericsson L O, Holmén J, Rhén I, Blomquist N, 2006. Storregional grundvattenmodellering – fördjupad analys av flödesförhållanden i östra Småland. Jämförelse av olika konceptuella beskrivningar. SKB R-06-64, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Fairhurst C, Gera F, Gnirk P, Gray M, Stillborg B, 1993. Stripa Project Overview Report. Vol. I: Executive summary. OECD/NEA International Stripa Project 1980–1992. Svensk Kärnbränslehantering AB.

Fors P, Klingenberg H, 2008a. Slutförvar för använt kärnbränsle i Forsmark. Material- och persontransporter till och från slutförvarsanläggningen. SKB R-08-49, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Fors P, Klingenberg H, 2008b. Slutförvar för använt kärnbränsle i Oskarshamn. Material- och persontransporter till och från slutförvarsanläggningen. SKB R-08-50, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Fridell F, Haeger-Eugensson M, Jöborn I, Peterson K, Svensson A, Forsberg B, 2008a. Miljö- och hälsokonsekvenser av utsläpp till luft. Slutförvar Forsmark (inklusive Clab och inkapslingsanläggning). SKB P-08-66, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Fridell F, Haeger-Eugensson M, Jöborn I, Peterson K, Svensson A, Forsberg B, 2008b. Miljö- och hälsokonsekvenser av utsläpp till luft. Slutförvar Oskarshamn (inklusive Clab och inkapslingsanläggning). SKB P-08-67, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Gnirk P, 1993. Stripa Project Overview Report. Volume II. Natural Barriers. OECD/NEA International Stripa Project 1980–1992. Svensk Kärnbränslehantering AB.

Gray M, 1993. Stripa Project Overview Report. Vol. III: Engineered barriers. OECD/NEA International Stripa Project 1980–1992. Svensk Kärnbränslehantering AB.

Gustafson G, Stanfors R, Wikberg P, 1989. Swedish Hard Rock Laboratory. Evaluation of 1988 year preinvestigations and description of the target area, the island of Äspö. SKB TR 89-16, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Gustafsson G, Liedholm M, Rhén I, Stanfors R, Wikberg P, 1991. Äspö Hard Rock Laboratory. Predictions prior to excavation and the process of their validation. SKB TR 91-23, Svensk Kärnbränslehantering AB.

- Hamrén U, Collinder P, Allmér J, 2010a.** Bortledning av grundvatten från slutförvarsanläggningen i Forsmark. Beskrivning av konsekvenser för naturvärden och skogsproduktion. SKB R-10-17, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Hamrén U, Collinder P, Allmér J, 2010b.** Bortledning av grundvatten från en slutförvarsanläggning i Laxemar. Beskrivning av konsekvenser för naturvärden och produktionsmark. SKB R-10-22, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Hökmark H, Lönnqvist M, Fälth B, 2010.** Thermal, mechanical, thermo-mechanical and hydro-mechanical evolution of the rock at the Forsmark and Laxemar sites. SKB TR-10-23, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Jelinek C, 2008.** Beräkning av radonhalter och radonavgång från ett slutförvar för använt kärnbränsle. SKB P-08-18, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Johansson R, 2006.** Lokalisering av slutförvaret för använt kärnbränsle. En översikt av trettio års arbete. SKB R-06-42, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- KASAM, 2001.** KASAMs yttrande över SKB:s kompletterande redovisning till FUD-program 98 – Samlad redovisning av metod, platsval och program inför platsundersökningsskedet (FUD-K). Statens råd för kärnavfallsfrågor.
- KBS, 1977.** Kärnbränslecykelns slutsteg. Förglasat avfall från upparbetning. Del I–V. KärnbränsleSäkerhet.
- KBS, 1978.** Kärnbränslecykelns slutsteg. Slutförvaring av använt kärnbränsle – KBS-2. Del I–II. KärnbränsleSäkerhet.
- Leijon B, 1998.** Nord-syd/Kust-inland. Generella skillnader i förutsättningar för lokalisering av djupförvar mellan olika delar av Sverige. SKB R-98-16, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Lindborg T, Kautsky U, 2000.** Variabler i olika ekosystem, tänkbara att beskriva vid platsundersökning för ett djupförvar. SKB R-00-19, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Martin C D, 2007.** Quantifying in situ stress magnitudes and orientations for Forsmark. Forsmark stage 2.2. SKB R-07-26, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Nilsson M, 2010.** Konsekvensbedömning av påverkan på naturvärden vid mellanlagring, inkapsling och slutförvaring av använt kärnbränsle i Oskarshamn – Laxemar. SKB P-10-16, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Oskarshamns kommun, 2009.** Utdrag ur databaserat befolkningsregister Oskarshamns kommun 2009-02-20 (handläggare Anders Selberg).
- Ottosson P, 2007.** Nulägesanalys samt bedömning av konsekvenser för rekreation och friluftsliv av ett slutförvar i Forsmark. P-07-150, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Regeringen, 1979.** Regeringsbeslut 1979-06-21 angående särskilt tillstånd att tillföra kärnbränsle till Ringhals 3 respektive Forsmark 1 (två skilda beslut).
- Regeringen, 1980.** Regeringsbeslut 1980-04-10 angående särskilt tillstånd att tillföra kärnbränsle till Ringhals 4 respektive Forsmark 2 (två skilda beslut).
- Regeringen, 1984.** Regeringsbeslut 1984-06-28 angående tillstånd att tillföra kärnämne till Oskarshamn 3 respektive Forsmark 3 (två skilda beslut).
- Regeringen, 1995.** Regeringsbeslut 11, 1995-05-18. Angående Fud-program 92, kompletterande redovisning.
- Regeringen, 1996.** Regeringsbeslut 25, 1996-12-19. Angående Fud-program 95.
- Regeringen, 2001.** Regeringsbeslut 22, 2001-11-01. Angående Fud-K.
- Rhén I (red), Bäckblom G (red), Gustafson G, Stanfors R, Wikberg P, 1997a.** Äspö HRL – Geoscientific evaluation 1997/2. Results from pre-investigations and detailed site characterization. Summary report. SKB TR 97-03, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Rhén I (red), Gustafson G, Stanfors Roy, Wikberg P, 1997b.** Äspö HRL – Geoscientific evaluation 1997/5. Models based on site characterization 1986–1995. SKB TR 97-06, Svensk Kärnbränslehantering AB.

- Rhén I, Gustafson G, Wikberg P, 1997c.** Äspö HRL – Geoscientific evaluation 1997/4. Results from pre-investigations and detailed site characterization. Comparison of predictions and observations. Hydrogeology, groundwater chemistry and transport of solutes. SKB TR 97-05, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Rhén I, Forsmark T, Hartley L, Jackson C P, Roberts D, Swan D, Gylling B, 2008.** Hydrogeological conceptualisation and parameterisation. Site descriptive modelling, SDM-Site Laxemar. SKB R-08-78, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SCB, 2009.** Utdrag ur SCB:s databaserade befolkningsstatistik. Statistiska centralbyrån 2009-04-16 (handläggare Stefan Palmelius; uppgifterna avser 2007-12-31).
- SKB, 1992.** FUD-Program 92. Kärnkraftavfallets behandling och slutförvaring. Program för forskning, utveckling, demonstration och övriga åtgärder. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB, 1994.** FUD-Program 92 – Kompletterande redovisning, 1994. Kärnkraftavfallets behandling och slutförvaring. Komplettering till 1992 års program sammanställd med anledning av regeringsbeslut 1993-12-16. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB, 1995a.** FUD-Program 95, 1995. Kärnkraftavfallets behandling och slutförvaring. Program för inkapsling, geologisk djupförvaring samt forskning, utveckling och demonstration. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB, 1995b.** Förstudie Storuman. Slutrapport. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB, 1995c.** Översiktsstudie av kommuner med kärnteknisk verksamhet. SKB PR D-95-002, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB, 1996.** Förstudie Malå. Slutrapport. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB, 1998-1999.** Rapporter från länsvisa översiktsstudier. (Se förteckning i Fud-K /SKB 2000g/.)
- SKB, 1999.** Djupförvar för använt kärnbränsle. SR 97 – Säkerheten efter förslutning. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB, 2000a.** Förstudie Oskarshamn. Slutrapport. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB, 2000b.** Förstudie Nyköping. Slutrapport. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB, 2000c.** Förstudie Östhammar. Slutrapport. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB, 2000d.** Förstudie Tierp. Slutrapport. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB, 2000e.** Förstudie Älvkarleby. Slutrapport. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB, 2000f.** Förstudie Hultsfred. Slutrapport. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB, 2000g.** Samlad redovisning av metod, platsval och program inför platsundersökningsskedet. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB, 2000h.** Geovetenskapligt inriktat program för undersökning och utvärdering av platser för djupförvaret. SKB R-00-30, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB, 2001a.** Platsundersökningar. Undersökningsmetoder och generellt genomförandeprogram. SKB R-01-10, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB, 2001b.** Program för platsundersökning vid Forsmark. SKB R-01-42, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB, 2001c.** Geovetenskapligt program för platsundersökning vid Simpevarp. SKB R-01-44, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB, 2003.** Prioritering av områden för platsundersökningen i Oskarshamn. SKB R-03-12, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB, 2004a.** Deep repository. Underground design premises. Edition D1/1. SKB R-04-60, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB, 2004b.** Platsundersökning Forsmark. Program för fortsatta undersökningar av geosfär och biosfär. SKB R-04-75, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2004c. Preliminary site description Forsmark area – version 1.1. SKB R-04-15, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2005a. Preliminary site description, Forsmark area – version 1.2. SKB R-05-18, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2005b. Preliminary safety evaluation for the Forsmark area. Based on data and site descriptions after the initial site investigation stage. SKB TR-05-16, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2005c. Program för fortsatta undersökningar av berggrund, mark, vatten och miljö inom delområde Laxemar. Platsundersökning Oskarshamn. SKB R-05-37, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2005d. Preliminary site description. Simpevarp subarea – version 1.2. SKB R-05-08, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2005e. Preliminary safety evaluation for the Simpevarp subarea. Based on data and site descriptions after the initial site investigation stage. SKB TR-05-12, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2006a. 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.

SKB, 2006b. Site descriptive modelling Forsmark stage 2.1. Feedback for completion of the site investigation including input from safety assessment and repository engineering. SKB R-06-38, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2006c. Prioritering av utformningsalternativ för eventuellt slutförvar i Forsmark. SKB R-06-09, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2006d. Preliminary site description. Laxemar subarea – version 1.2. SKB R-06-10, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2006e. Preliminary safety evaluation for the Laxemar subarea. Based on data and site descriptions after the initial site investigation stage. SKB TR-06-06, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2006f. Preliminary site description. Laxemar stage 2.1. Feedback for completion of the site investigation including input from safety assessment and repository engineering. SKB R-06-110, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2007. Final repository facility. Underground design premises/D2. SKB R-07-33, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2008a. Site description of Forsmark at completion of the site investigation phase. SDM-Site Forsmark. SKB TR-08-05, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2008b. Site engineering report Forsmark. Guidelines for underground design. Step D2. SKB R-08-83, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2008c. Kärnfrågor för Östhammars kommun. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2008d. Kärnfrågor för Oskarshamns kommun. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2009a. Underground design Forsmark. Layout D2. SKB R-08-116, Svensk kärnbränslehantering AB.

SKB, 2009b. Slutförvarsanläggning för använt kärnbränsle, Anläggningsbeskrivning layout D – Forsmark. SKB R-09-12, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2009c. Site description of Laxemar at completion of the site investigation phase. SDM-Site Laxemar. SKB TR-09-01, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2009d. Underground design Laxemar. Layout D. SKB R-09-16, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2009e. Design premises for a KBS-3V repository based on results from the safety assessment SR-Can and some subsequent analyses. SKB TR-09-22, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2009f. Site engineering report Laxemar. Guidelines for underground design. Step D2. SKB R-08-88, Svensk Kärnbränslehantering AB.

- SKB, 2010a.** Referensområden. En sammanställning och utvärdering av typområdesundersökningar med mera. SKB P-10-46, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB, 2010b.** Comparative analysis of safety related site characteristics. SKB TR-10-54, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB, 2010c.** Design, construction and initial state of the underground openings. SKB TR-10-18, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB, 2010d.** Teknisk beskrivning – mellanlagring, inkapsling och slutförvaring av använt kärnbränsle. SKB R-10-01, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB, 2010e.** Ramprogram för detaljundersökningar vid uppförande och drift av slutförvar för använt kärnbränsle. SKB R-10-08, Svensk Kärnbränsleförsörjning AB.
- SKB, 2011a.** Long-term safety for the final repository for spent nuclear fuel at Forsmark. Main report of the SR-Site project. SKB TR-11-01, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB, 2011b.** Miljökonsekvensbeskrivning. Mellanlagring, inkapsling och slutförvaring av använt kärnbränsle. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKBF/KBS, 1983.** Kärnbränslecykelns slutsteg. Använt kärnbränsle – KBS-3. Del I–IV. Svensk Kärnbränsleförsörjning AB.
- SKI, 2001.** SKI:s yttrande över SKB:s kompletterande redovisning till FUD-program 98. SKI Rapport 01:20, Statens kärnkraftinspektion.
- SOU, 1976.** Använt kärnbränsle och radioaktivt avfall. Aka-utredningen. SOU 1976:30, 1976:31, 1976:41.
- SOU, 2002.** Plats för slutförvaring av kärnavfall? Förstudier i åtta kommuner. Rapport från Särskilde rådgivaren inom kärnavfallsområdet. SOU 2002:46, Regeringskansliet.
- Smith P, Johnson L, Snellman M, Pastina B, Gribo P, 2009.** Safety assessment for a KBS-3H spent fuel repository at Olkiluoto. Evolution report. SKB R-08-37, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Stanfors R, Erlström M, Markström I, 1991.** Äspö Hard Rock Laboratory. Overview of the investigations 1986–1990. SKB TR 91-20, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Stanfors R, Erlström M, Markström I, 1997a.** Äspö HRL – Geoscientific evaluation 1997/1. Overview of site characterization 1986–1995. SKB TR 97-02, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Stanfors R, Olsson P, Stille H, 1997b.** Äspö HRL – Geoscientific evaluation 1997/3. Results from pre-investigations and detailed site characterization. Comparison of predictions and observations. Geology and mechanical stability. SKB TR 97-04, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Stephansson O, Ljunggren C, Jing L, 1991.** Stress measurements and tectonic implications for Fennoscandia. *Tectonophysics*, 189, s 317–322.
- Ternström C, 2008a.** Kulturmiljöutredning Fas 2. Området Forsmark, Östhammars kommun i Uppsala län. SKB P-08-63, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Ternström C, 2008b.** Kulturmiljöutredning Fas 2. Området Simpevarp/Laxemar, Oskarshamns kommun i Kalmar län. SKB P-08-56, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Wikberg P (red), Gustafson G, Rhén I, Stanfors R, 1991.** Äspö Hard Rock Laboratory. Evaluation and conceptual modelling based on the pre-investigations 1986–1990. SKB TR 91-22, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Winberg A, 2010.** Relativ jämförelse av Forsmark med referensområden med avseende på säkerhetsrelaterade platsegenskaper. SKB R-10-63, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Zetterling T, Hallberg J, 2008a.** Anläggning för inkapsling och slutförvar för använt kärnbränsle i Forsmark. Buller under bygg- och driftskedet. SKB P-08-64, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Zetterling T, Hallberg J, 2008b.** Anläggningar för inkapsling och slutförvaring av använt kärnbränsle i Oskarshamn. Buller under bygg- och driftskedet. SKB P-08-65, Svensk Kärnbränslehantering AB.