

R-04-75

Platsundersökning Forsmark

Program för fortsatta undersökningar av geosfär och biosfär

Svensk Kärnbränslehantering AB

Januari 2005

Svensk Kärnbränslehantering AB

Swedish Nuclear Fuel
and Waste Management Co
Box 5864
SE-102 40 Stockholm Sweden
Tel 08-459 84 00
+46 8 459 84 00
Fax 08-661 57 19
+46 8 661 57 19



ISSN 1402-3091

SKB Rapport R-04-75

Platsundersökning Forsmark

Program för fortsatta undersökningar av geosfär och biosfär

Svensk Kärnbränslehantering AB

Januari 2005

Förord

Svensk Kärnbränslehantering AB, SKB, bedriver sedan början av 2002 en platsundersökning i Forsmark i Östhammars kommun för lokalisering av djupförvaret för använt kärnbränsle. Motsvarande undersökning pågår också vid Simpevarp och Laxemar i Oskarshamns kommun. SKB:s mål är att vid årsskiftet 2008/2009 lämna in en ansökan enligt miljöbalken och kärntekniklagen för lokalisering av djupförvaret till en av dessa platser. När ansökan lämnas in ska det som är av betydelse för prövning av djupförvarets säkerhet, byggbarhet och miljöpåverkan vara undersökt och analyserat. Undersökningarna ska också ge underlag för att välja plats och utforma anläggningen med hänsyn till platsens förutsättningar.

I slutet av 2001 redovisade SKB ett program för den inledande platsundersökningen i Forsmark. De undersökningar som preciserades där är nu genomförda. Denna rapport redovisar det program som nu tagits fram för återstoden av platsundersökningen. Utgångspunkterna är de generella målen för Djupförvarsprojektet under platsundersökningsskedet, behoven av data för utvärderingen av platsen, samt erfarenheter och resultat från arbetet hittills. Programmet har utarbetats med stöd av undersökningsdata per augusti 2004.

De undersökningar som nu redovisas kommer, liksom tidigare, att utföras med stor hänsyn till boende, fastighetsägare samt natur- och kulturvärden så att dessa inte i onödan utsätts för påverkan eller störningar. Programmet kommer, precis som hittills, att fortlöpande anpassas till den kunskap om platsen som vi successivt bygger upp. Alla viktiga ändringar kommer att redovisas för myndigheterna och övriga berörda.

Kaj Ahlbom
Platschef i Forsmark

Innehåll

Sammanfattning	7
1 Inledning	23
1.1 SKB:s plan för slutförvaring av använt kärnbränsle	23
1.2 Projekt Djupförvar	26
1.3 Denna rapport	28
1.3.1 Bakgrund	28
1.3.2 Avgränsningar	29
2 Förutsättningar	31
2.1 Mål	31
2.2 Platsen	31
2.2.1 Bakgrund	31
2.2.2 Geologiska förhållanden	32
2.2.3 Natur och kultur	33
2.3 Kunskapsläge efter den inledande platsundersökningen	39
2.3.1 Utgångspunkter och översikt	39
2.3.2 Avstämning mot grundläggande krav	41
2.3.3 Industrietableringen	47
2.4 Strategi för fortsatta undersökningar	49
2.4.1 Utgångspunkter	49
2.4.2 Arbetssätt	50
2.4.3 ”Timing”	50
2.4.4 Strategi	50
2.4.5 Program	53
2.4.6 Borrning	54
3 Undersökningar	57
3.1 Ytnära ekosystem	57
3.1.1 Syfte och mål	57
3.1.2 Viktiga resultat från genomförda undersökningar	57
3.1.3 Viktiga frågor som återstår att besvara	60
3.1.4 Undersökningsprogram	60
3.2 Geologi	64
3.2.1 Syfte och mål	64
3.2.2 Viktiga resultat från genomförda undersökningar	65
3.2.3 Viktiga frågor som återstår att besvara	71
3.2.4 Undersökningsprogram	73
3.3 Geofysik	74
3.3.1 Syfte och mål	74
3.3.2 Viktiga resultat från genomförda undersökningar	74
3.3.3 Viktiga frågor som återstår att besvara	77
3.3.4 Undersökningsprogram	77
3.4 Bergmekanik och termiska egenskaper	78
3.4.1 Syfte och mål	78
3.4.2 Viktiga resultat från genomförda undersökningar	79
3.4.3 Viktiga frågor som återstår att besvara	81
3.4.4 Undersökningsprogram	82

3.5	Hydrogeologi	84
3.5.1	Syfte och mål	84
3.5.2	Viktiga resultat från genomförda undersökningar	85
3.5.3	Viktiga frågor som återstår att besvara	88
3.5.4	Undersökningsprogram	89
3.6	Hydrogeokemi	91
3.6.1	Syfte och mål	91
3.6.2	Viktiga resultat från genomförda undersökningar	92
3.6.3	Viktiga frågor som återstår att besvara	96
3.6.4	Undersökningsprogram	96
3.7	Transportegenskaper	99
3.7.1	Syfte och mål	99
3.7.2	Viktiga resultat från genomförda undersökningar	101
3.7.3	Viktiga frågor som återstår att besvara	102
3.7.4	Undersökningsprogram	102
3.8	Borrning	103
3.8.1	Syfte och mål	103
3.8.2	Viktiga resultat från genomförda undersökningar	104
3.8.3	Undersökningsprogram	110
3.9	Långtidsobservationer	112
3.9.1	Meteorologi	113
3.9.2	Hydrologi	115
3.9.3	Hydrogeokemi	116
3.9.4	Ekologi	119
3.9.5	Hydrogeologi	120
3.9.6	Geologiska observationer	122
3.10	Undersökningar för driftanläggningar ovan och under mark	126
3.10.1	Anläggningar ovan mark	126
3.10.2	Anläggningar under mark	126
4	Undersökningar efter sommaren 2007	129
5	Referenser	131
	Ordförklaringar	139
	Bilaga A Platsundersökningens miljöpåverkan	147

Sammanfattning

I slutet av 2001 redovisade SKB ett program för den inledande delen av platsundersökningen i Forsmark. De undersökningar som preciserades där är nu genomförda. Denna rapport redovisar det program som nu tagits fram för återstoden av platsundersökningen. Utgångspunkt är de generella målen för djupförvarsprojektet under platsundersökningsskedet, erfarenheter och resultat från arbetet hittills, samt behoven av data för utvärderingen av platsen som lokaliseringalternativ för djupförvaret. Redovisningen omfattar i huvudsak undersökningarna på plats. Allt övrigt arbete – analyser, anläggningsutformning, säkerhetsanalyser samt utredningar om och bedömningar av konsekvenser för miljö, hälsa och samhälle – nämns endast i den utsträckning som behövs för att sätta in undersökningarna i sitt sammanhang.

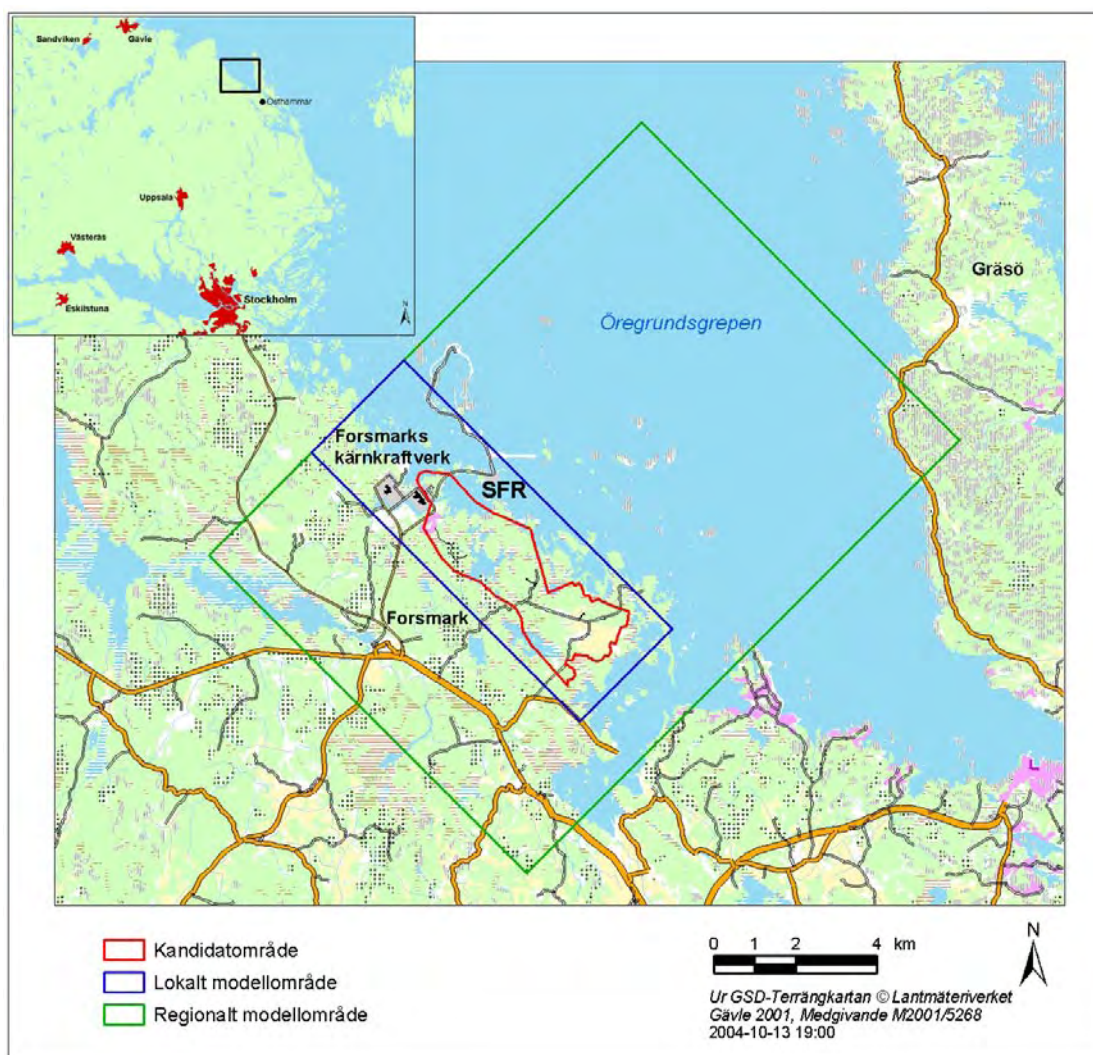
Mål

Det övergripande målet för platsundersökningsskedet är att få de tillstånd som krävs för att lokalisera och bygga djupförvaret. Platsundersökningarna måste därför ge det underlag som erfordras för utvärderingen av de undersökta platsernas lämplighet för ett djupförvar. Materialet ska således vara tillräckligt omfattande för att:

- Visa om den valda platsen uppfyller grundläggande säkerhetskrav.
- Visa om de byggtekniska förutsättningarna är uppfyllda.
- Kunna ligga till grund för att anpassa djupförvaret till platsens förutsättningar och egenskaper.
- Kunna bedöma djupförvarets inverkan på miljö och samhälle.
- Möjliggöra jämförelser mellan de båda undersökta platserna.

Platsen

Figur 1 ger en översikt över Forsmarksområdet med omgivning. Efter den förstudie som föregick platsundersökningen angav SKB det rödmarkerade området sydost om Forsmarks kärnkraftverk, det så kallade kandidatområdet, som prioriterat för en platsundersökning. De blå och gröna fyrkanterna i figuren visar avgränsningar som definierats för de lokala och regionala modeller som SKB arbetar med när data från platsundersökningen bearbetas.



Figur 1. Forsmarksområdet med omgivningar.

Kunskapsläge

De undersökningar som genomförts (per augusti 2004) och deras resultat kan sammanfattas i följande punkter:

- Karaktäriseringen på ytan av områdets geologiska och ekologiska förhållanden är till stora delar genomförd.
- För att undersöka berggrunden mot djupet har fem djupa (1 000 m) och två grundare kärnborrhål färdigställt och dokumenterats. Borring av ett sjätte djupt kärnborrhål pågår.
- 19 hammarborrhål har borrats, dels för att förse kärnborrningen med spolvatten, dels för att undersöka berggrunden.
- En heltäckande, preliminär platsbeskrivning version 1.1 har redovisats. Arbetet med att sammanställa all information från den inledande platsundersökningen pågår och kommer att resultera i version 1.2 av platsbeskrivningen.
- Samrådsprocessen för ett eventuellt djupförvar i Forsmark har etablerats i enlighet med bestämmelserna i miljöbalken.

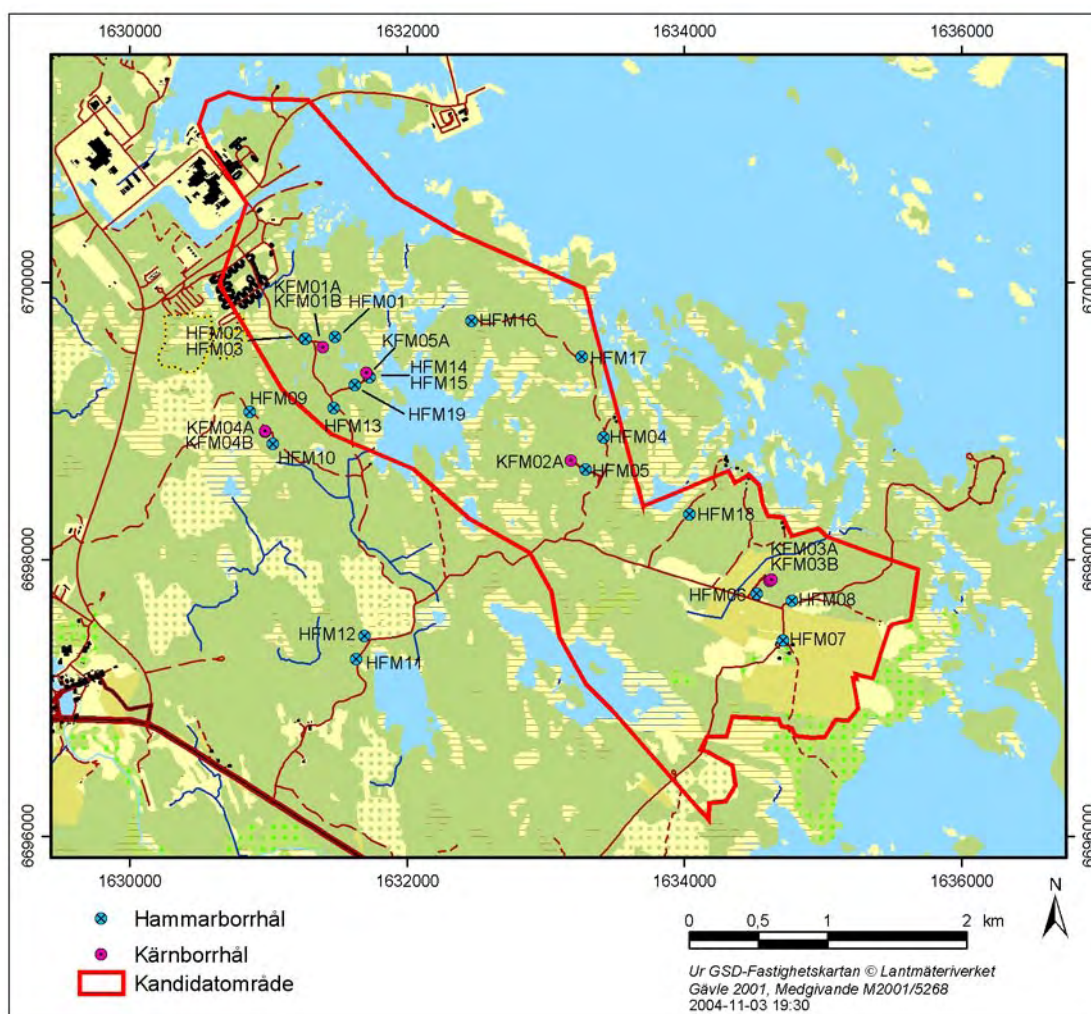
- En aktiv informations- och kommunikationsverksamhet har etablerats för fortlöpande dialog med närboende, allmänheten, Östhammars kommun, grannkommuner och andra lokala intressenter.

Figur 2 illustrerar nuläget (augusti 2004) för borring. Kärnborrningen har gjorts från sex särskilt iordningställda borrplatser. Kring dessa finns även ett antal hammarborrhål i olika riktningar. Därutöver finns hammarborrhål på ytterligare ett antal platser samt ett sextiototal jordborrhål.

Avstämning mot grundläggande krav

Inför platsundersökningsskedet redovisade SKB grundläggande krav som måste kunna visas vara uppfyllda för att en plats ska vara av intresse för djupförvaret. Omvänt gäller att om ett eller flera av kraven inte är uppfyllda så måste platsen betraktas som diskvalificerad.

Under den inledande delen av platsundersökningen har inriktningen varit att ta fram data som – direkt eller indirekt – ger underlag för att avgöra om kraven kan anses uppfyllda, och därmed om fortsatta undersökningar är motiverade. Det finns då anledning att värdera det nuvarande kunskapsläget i förhållande till de angivna grundkraven. Nedan sammanfattas kortfattat kvarstående databehov för vart och ett av kraven.



Figur 2. Undersökningsområdet med samtliga kärn- och hammarborrhål genomförda under den inledande delen av platsundersökningen.

Geovetenskapliga grundkrav – kvarstående databehov

- **Regionala plastiska skjuvzoner ska undvikas**

Kravet är uppfyllt, men för att bättre kunna beskriva områdets hydrogeologiska och hydrokemiska förhållanden krävs ny kunskap om de omgivande, regionala deformationszonernas förmodade funktion som hydrauliska randvillkor för platsen.

- **Ingen malmpotential**

Kravet bedöms vara uppfyllt och inga ytterligare data behövs. Frågan kommer ändå att bevakas i samband med kommande borrhningar.

- **Ett förvar måste kunna inplaceras och ges en tekniskt rimlig utformning inom tillgänglig bergvolym**

Tre faktorer avgör om kravet kan uppfyllas:

1) Den tektoniska linsens utsträckning och form mot djupet

Den tektoniska linsen bedöms ge tillräckligt utrymme för ett förvar. Kunskapen är emellertid ännu otillräcklig för anläggningsutformning. Det gäller framförallt geologiska gränser mot områdets nordvästra ände och nordöstra långsida.

2) Enskilda sprickzoner på förvarsnivå

Inga oväntade förhållanden har konstaterats, men egenskaper och betydelse av tolkade zoner behöver klargöras bättre. Detsamma gäller betydelsen på djupet av tolkade, men ännu ej verifierade lineament (indikationer på markytan av möjliga sprickzoner). Möjliga, ännu ej upptäckta sprickzoner inom förvarsvolymen utgör likaså en kvarstående osäkerhet.

3) Bergegenskaper inom deponeringsområden

Större sprickor, vattenföring: Borrhningarna visar genomgående på låg sprickfrekvens och dito vattenföring på förvarsdjup. Dataunderlaget behöver dock utökas, särskilt i områdets nordvästra del.

Värmeledningsförmåga: Resultaten visar på förhållanden som är normala för granitisk berggrund. Komplettering av data behövs, särskilt vad beträffar skalberoende och eventuell betydelse av termisk anisotropi.

- **Ej omfattande instabilitet i deponeringstunnlar/deponeringshål**

Karaktäriseringen av spänningstillståndet, inklusive variationer i djup- och sidled, är ofullständig och kommer att prioriteras i det fortsatta undersökningsarbetet. Data om mekaniska egenskaper kompletteras fortlöpande.

- **Inget löst syre i grundvattnet på förvarsnivå**

Även om kravet redan nu betraktas vara uppfyllt kommer ytterligare mätningar att genomföras.

- **Salthalt (TDS) i grundvattnet på förvarsnivå lägre än 100 g/l**

Salthalten ökar från sött vatten nära markytan till 8 g/l vid 150 m djup. Därefter är halten konstant till cirka 600 m. Under detta djup sker en ökning. Som mest har 13 g/l uppmätts på 980 m djup. I den nordvästra delen av kandidatområdet saknas data under 200 m djup. Möjligheter att göra kemiundersökningar på större djup måste därför tillvaratas.

Redovisningen ovan ger enligt SKB:s uppfattning en god grund för att fortsätta platsundersökningen i Forsmark. Det är svårt att se att ytterligare undersökningar skulle ändra på SKB:s bedömning att platsen uppfyller de angivna grundläggande kraven. De kvarstående databehov som anges motiveras huvudsakligen av att både anläggningsutformning och säkerhetsanalys behöver mer underlag.

Allmänt kan sägas att undersökningarna hittills har visat på några tydliga särdrag vad gäller spricksituation och vattenföring. I den yt nära berggrunden är sprickfrekvensen i genomsnitt normal för svenskt urberg. Ner till cirka 200 meters djup påträffas sektioner med distinkta, oftast flacka, starkt vattenförande sprickor. Detta mönster tycks gälla genomgående inom den tektoniska linsen. Hög vattenföring i flacka sprickor nära ytan kan vara positivt ur förvarssynpunkt, eftersom grundvattenomsättningen på djupare nivåer då begränsas, men kan kräva särskilda åtgärder vid tunneldrivning och schaktsänkning.

På större djup, under 200–300 m, kännetecknas berggrunden inom kandidatområdet av låg sprickfrekvens och dito vattenföring. Det fåtal vattenförande sprickor som påträffats på förvarsdjup och därunder är med enstaka undantag kopplade till tolkade flackt lutande sprickzoner, främst i den sydöstra delen av kandidatområdet. Önskemålet att merparten av bergmassan mellan sprickzoner ska ha en vattengenomsläpplighet som understiger 10^{-8} m/s synes alltså vara uppfyllt med god marginal.

Industrietableringen

Parallellt med platsundersökningen pågår projektering, som innefattar arbetet med en platsanpassad utformning av ett djupförvar i Forsmark. Det underlag som tagits fram hittills bekräftar de tekniska och miljömässiga etableringsförutsättningar som jämte tillgången till potentiellt lämplig berggrund var huvudskalet till att Forsmark valdes som lokaliseringsalternativ. I ett första skede har möjliga lägen och utformningar av anläggningar som djupförvaret kräver ovan mark studerats. Figur 3 illustrerar de två alternativa lösningar som skisserats. I det ena fallet placeras djupförvarets anläggningar ovan mark söder om Forsmarksverket. I det andra fallet förläggs verksamheten istället på delvis utfylld mark i anslutning till SFR-anläggningen (SFR = Slutförvar för radioaktivt driftavfall). Alternativen innebär ingen väsentlig skillnad för djupförvarets berganläggningar – som i båda fallen antas finnas inom den nordvästra delen av kandidatområdet – men bygger på delvis olika systemlösningar. Avsikten är att i ett senare skede prioritera det ena alternativet för fullständig projektering.

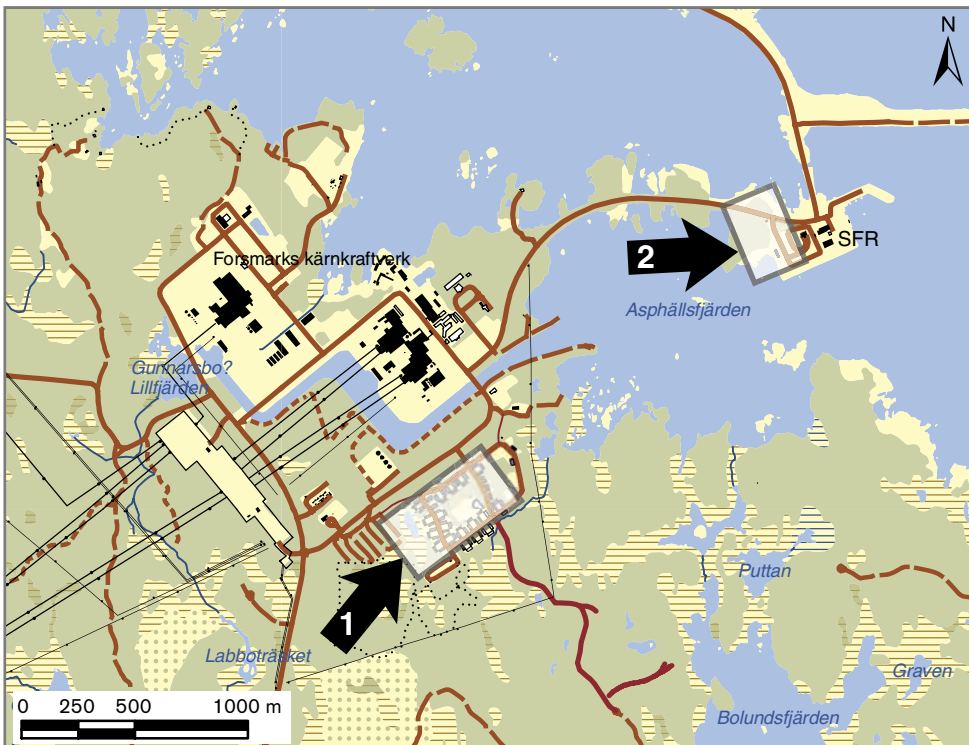
Strategi

Med beaktande av resultaten hittills samt redovisade mål och krav på genomförandet har en strategi i fyra punkter utarbetats för återstoden av platsundersökningen i Forsmark:

1. Välj den nordvästra delen av undersökningsområdet som prioriterad plats. Med prioriterad plats avses det område som är särskilt intressant för förvaret och dit fortsatta undersökningar fokuseras.
2. Bestäm, för den prioriterade platsen, de geologiska gränserna för tillgänglig bergvolym på förvarsdjup.
3. Karaktärisera tillgänglig bergvolym på denna plats till den omfattning och detaljeringsnivå som krävs.
4. Karaktärisera den prioriterade platsens hydrauliska randområden.



Djupförvarets anläggningar kan placeras längs vägen ut till SFR. Utfyllnader krävs eftersom utrymmet är begränsat. Tunga transporter till och från djupförvaret skulle ske via en lutande tunnel som mynnar ut till höger om byggnaden i mitten. Längst bort i bild SFR och hamnen.



Från infarten till Forsmarksverket (rondellen) och österut mot barackbyn finns mark för djupförvarets anläggningar. Behovet av tillfälliga bostäder måste då lösas på annat sätt. Närmast i bild tänkta upplag för bergmassor som tas upp i ett schakt som mynnar under den höga, smala byggnaden. Längre bort finns schakt för personhiss och ventilation.



Figur 3. Alternativa lägen för djupförvarets anläggningar ovan mark – söder om Forsmarksverket eller vid SFR.

I det följande redovisas punkt för punkt motiven för denna strategi samt ett övergripande resonemang om vilka undersökningar som kan bli aktuella för att genomföra strategin.

1) Välj den nordvästra delen av området som prioriterad plats.

Kandidatområdet kan delas upp i en nordvästlig och en sydöstlig del, belägna på var sida om den tolkade relativt mäktiga sprickzon (zon A2) som på förvarsdjup skär genom området i höjd med borrplats 2. Såväl den nordvästra som den sydöstra delen bedöms ha berggrund som motiverar fortsatta undersökningar. Den skillnad som ändå noterats är en högre frekvens av flacka, vattengenomsläppliga sprickzoner i den sydöstra delen. De tekniska och miljömässiga fördelarna med ett läge i nordväst är uppenbara genom närheten till befintliga industrianläggningar, vägar etc. Layoutstudier och bakomliggande undersökningsresultat indikerar att ett djupförvar med stor sannolikhet kan inrymmas inom den nordvästra delen. Mot denna bakgrund väljer SKB den nordvästra delen av kandidatområdet som prioriterad plats.

Strategin att fokusera mot den nordvästra delen av den tektoniska linsen har fördelar, men är också förknippad med risker. Till fördelarna hör goda möjligheter att nå platsundersökningens mål med rimliga insatser och inom gällande tidsram. Den givna risken är att egenskaperna hos den relativt begränsade bergvolym som undersöks inte motsvarar förväntningarna. Skulle det inträffa krävs en modifierad strategi, med konsekvenser för bland annat tidsplan och resursbehov.

2) Bestäm, för den prioriterade platsen, de geologiska gränserna för tillgänglig bergvolym på förvarsdjup.

Den tektoniska linsens avgränsningar i den nordvästra delen är idag bara delvis kända. Det finns därför anledning att fortsätta den kartläggning av gränserna för den ur djupförvarssynpunkt lämpliga bergvolymen som inletts med de borrhningar som gjorts eller pågår. En annan fråga som påverkar den tillgängliga volymen är läge och egenskaper på den flacka sprickzon (A2) som begränsar den prioriterade platsen mot sydost.

3) Karaktärisera tillgänglig bergvolym till den omfattning och detaljeringsnivå som krävs.

Huvuduppgifter när det gäller att karaktärisera berget på den prioriterade platsen är att klargöra egenskaper och betydelse av hittills tolkade sprickzoner på förvarsnivå, samt eventuell förekomst och betydelse av ytterligare, ännu okända, zoner. Detta inkluderar kunskap om de geologiska motsvarigheterna av tolkade lineament och deras eventuella betydelse på förvarsdjup. Andra huvuduppgifter är fortsatt karaktärisering av bergspänningsförhållanden och grundvattenkemi på djupet, av hydrauliska samband i horisontal- och vertikalled, samt mätningar av naturligt grundvattenflöde och spårförsök.

Om borrhningarna påvisar tillräckliga volymer bra berg på den prioriterade platsen kommer utformningen av nedfarter och djupförvarets centralområde att drivas vidare, med nuvarande, preliminära placering av centralområdet som utgångspunkt. Borrhningar krävs för att få det erforderliga ingenjörsgelogiska underlaget i form av bergspänningar, bergkvalitet och grundvattenförhållanden i lägen för nedfarter och centralområde. Även utformningen av djupförvarets markförlagda anläggningar kommer att kräva vissa undersökningar av grundläggningförhållanden.

4) Karaktärisera den prioriterade platsens hydrauliska randområden.

De hydrauliska och hydrogeokemiska modeller av platsen som upprättas som underlag för säkerhetsanalysen kräver randvillkor i form av hydrauliska egenskaper för begränsande strukturer. En fundamental fråga är huruvida de vattenförande zoner som korsar den tektoniska linsen mer eller mindre ”på tvären” upphör mot de dominerande deformationszoner som begränsar linsen längs dess långsidor, det vill säga Singöförkastningen i nordost respektive Forsmarks- och Eckarfjärdzonerna i sydväst. Så bedöms preliminärt vara fallet, men man kan också tänka sig att de tvärgående zonerna övertvåras de längsgående, åtminstone i hydraulisk mening. Ett speciellt borrhings- och undersökningsprogram krävs för att belysa denna fråga.

Mot bakgrund av regionens generellt flacka topografi, och den dominerande roll som de nämnda hydrauliska ränderna bedöms ha, är det svårt att se vad ytterligare undersökningar i regional skala skulle tillföra från en hydrogeologisk eller hydrogeokemisk synpunkt. Därför planeras inga borrhningar på längre avstånd från platsen.

Program

Figur 4 visar huvuddragen i den årsvisa arbetsplan som utarbetats utifrån den ovan redovisade strategin.

Enligt planerna slutförs all kärnbörning på den prioriterade platsen under 2005. Vad som då kommer att saknas är data från undersökningar som kräver ostörda förhållanden. Dessa kommer att göras under 2006. Resultaten har huvudsakligen betydelse för säkerhetsanalysen. Under 2006 ligger fokus på karaktäriseringen av platsens hydrauliska randområden. Då görs även eventuella kompletteringar.

2004	2005	2006	2007	2008
Fokusera på prioriterad plats		Fokusera på hydrauliska randområden	Slutför platsundersökningen till halvårsskiftet	Vänteläge
Avsluta karaktäriseringen på ytan	Slutför all borrhning inom den prioriterade platsen	Slutför all borrhning i hydrauliska randområden	Avsluta alla fältundersökningar	Övervakning, monitorering
	Datafrys 2.1 Data för avstämning av undersökningsprogrammet	Datafrys 2.2 Data för anläggningsutformning	Datafrys 2.3 Alla data från platsundersökningen	
		Eventuella kompletterande undersökningar		Platsval, ansökan

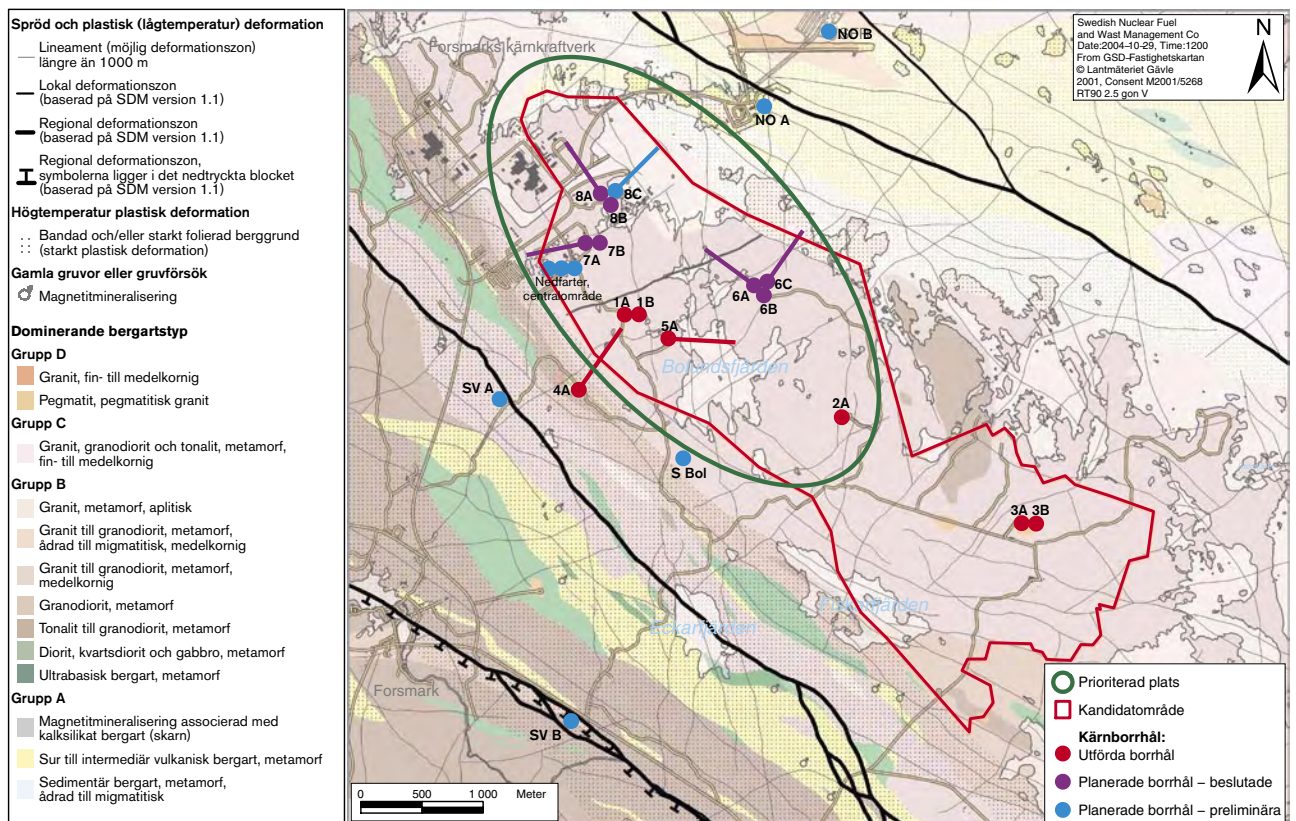
Figur 4. Årsvis arbetsplan för platsundersökningen.

Borrning

Med utgångspunkt i den valda strategin har ett borrhprogram utarbetats. Programmet är väl preciserat för de första kärnborrhålen, därefter med nödvändighet preliminärt. Det omfattar djupa (700–1 000 m), medeldjupa (200–700 m) och korta (100–200 m) kärnborrhål. Kartan i figur 5 illustrerar programmet med markeringar på en förenklad geologisk karta. Även befintliga kärnborrhål har markerats. Exakta riktningar och djup för hålen styrs i många fall av resultaten ”längs vägen”.

Flertalet av de planerade borrhålen kommer att dokumenteras och undersöks med geologiska, geofysiska och hydrogeologiska metoder på ungefär samma sätt som hittills. Grundvattenkemisk provtagning på djupet kommer att ges särskild prioritet för att kompensera den nuvarande bristen på data för grundvattenkemisk karaktärisering av platsen. Även bergmekaniska undersökningar, särskilt bergspänningsmätningar, kommer att ges stort utrymme mot bakgrund av att spänningsförhållandena identifierats som en delvis kvarstående, platsspecifik nyckelfråga.

Hammarborrhål når maximalt cirka 300 meters djup och ger ingen kärna, men går mycket snabbare att utföra och är avsevärt billigare än kärnborrhålen. Förutom att förse kärnborrhålen med spolvatten är de lämpliga för att undersöka betydelsen av tolkade lineament och för att undersöka ytnära, flacka sprickzoner. Preliminärt beräknas 10–15 hammarborrhål behövas, med koncentration till den prioriterade platsen och de hydrauliska ränderna.



Figur 5. Befintliga kärnborrhål samt planerad kärnbörning under återstoden av platsundersökningen.

Ytnära ekosystem

Återstoden av platsundersökningen kommer främst att fokusera på processmätningar, det vill säga kvantifiering av de viktigaste ekosystemfunktionerna. Processmätningarna omfattar kartläggning av primärproduktion, konsumtion och nedbrytning vilket mäts genom respiration, transport av vatten eller andra ämnen till exempel via växternas transpiration samt fastläggning av ämnen. Kvantifiering av ekosystemens funktioner är lika viktigt som karaktäriseringen av de olika delkomponenterna biomassa och utbredning.

Av stor betydelse för förståelsen av hur det djupa respektive ytliga grundvattnet interagerar är funktionen i gränsområdet mellan biosfär och geosfär. Flera viktiga processer som styr vad som händer med radionuklider i denna zon återstår att kartlägga. Hit hör grundvattensytans fluktuationer liksom vattengenomsläppligheten och sorptionsegenskapernas variation med djupet.

En annan kunskapslucka som identifierats är hur våtmarkerna i Forsmarksområdet fungerar hydrologiskt. Dessa ekosystem kan komma att bli viktiga recipienter vid ett eventuellt läckage av radionuklider från djupförvaret. De kan också komma att påverkas av en eventuell grundvattensänkning.

Geologi

Berggrund

Huvudsyftet med det planerade borrhoprogrammet är att geologiskt definiera och karaktärisera bergvolymen på den prioriterade platsen samt omgivande hydrauliska randområden. Därutöver har de undersökningar som gjorts väckt frågor som motiverar ett antal specialstudier.

Förståelsen för bildningen av de spröda deformationszonerna i Forsmark och deras rörelsemönster behöver förbättras, för att kunna utveckla modeller med högre säkerhet. Kinematisk analys av representativa spröda deformationszoner som verifierats både på ytan och på djupet i borrhål behöver därför göras.

Tolkade lineament behöver undersökas med avseende på deras representativitet som indikatorer på deformationszoner. Under hösten 2004 planeras därför en lineamentsstudie där avsikten är att gräva schakt tvärs ett antal representativa och tydliga lineament för detaljerad undersökning av bergytan. Vidare kommer en hammarborrningskampanj att utföras under hösten 2005.

En kompletterande geokronologisk undersökning planeras med syftet att uppnå en bättre tidsmässig avgränsning av Forsmarks geologiska utveckling under de temperaturförhållanden då de spröda deformationszonerna bildades. Detta kommer att ge ett viktigt underlag för att fastställa tidsperspektivet för de äldsta rörelserna och den relativa rörelseriktningen längs deformationszonerna mellan blocken.

Kompletterande berggrundsgeologisk kartering i området sydost om Kallrigafjärden och i den nordvästra delen av Forsmarks tektoniska lins behövs för att bekräfta och öka förståelsen för geometrin hos den storskaliga veckningen i denna del av området. Denna studie är av betydelse för den tredimensionella modelleringen av bergdomänerna inom Forsmarksområdet.

Vidare planeras, om möjligt, en detaljerad sprickkartering i området nordväst om sprickzon A2. Anledningen till detta är att den sprickkartering som gjordes vid borrplatserna 2, 3, 4 och 5 samt vid Klubbudden inte är representativ för den bergvolym där undersökningarna nu kommer att fokuseras. Detaljkarteringen kommer att ligga till grund för spricknätverksmodellen (DFN).

Det finns slutligen ett behov av en specialstudie av den pretektoniska omvandling som har påverkat både graniten i nordvästra delen av kandidatvolymen och de finkorniga granitiska bergarterna i den angränsande bergdomänen i nordväst.

Jordtäcke

Huvuddelen av det kvartärgeologiska arbetet inom platsundersökningen är utfört. Det som återstår är dels att komplettera geografiska luckor dels att inför modellering av de ytliga ekosystemen besvara vissa nyckelfrågor som har betydelse för ingångsdata och randvillkor.

Utbredningen av jordarter på botten av havsområden med vattendjup mindre än 3 m är ännu inte kartlagd, men en kartering planeras. Därmed fås en komplett jordartskarta som inkluderar både land och havsområden, och som kommer att utgöra ett viktigt underlag för modellering av det framtida landskapet.

En av de centrala uppgifterna blir att konstruera en tredimensionell jordlagermodell där både djupet till berg och de olika jordlagren finns redovisade. Resultatet kommer att utgöra ett viktigt underlag för den ydrologiska modelleringen samt för modelleringen av spridningsvägar för radionuklider. Jordlagermodellen kommer att baseras på såväl data från borrhningar och grävningar som på resultat från markradarmätningar, seismiska och andra geofysiska undersökningar.

Arbete pågår med att ta fram en strandförskjutningskurva för Forsmark. Kurvan presenterar vattendjupet vid Forsmark, från 10 000 år före nutid och prognoser för 10 000 år framåt. Den kommer att ligga till grund för att modellera framtida landområden där nya sjöar isoleras från havet, och successivt sedimenterar och bildar torvmarker.

De centrala frågorna kring områdets postglaciala geologiska utveckling, på land och till havs, rör bland annat klimat- och vegetationsutveckling samt sedimentations- och erosionsförlopp. Detta kan studeras i sediment- och torvkärnor. För att beskriva det regionala områdets postglaciala vegetationsutveckling behövs pollenanalyser av sjösediment och/eller torvprofiler. Resultaten kan ge information om klimatvariationer och vegetationsutveckling under en längre tid. Även sedimentationshastigheter för de olika jordarterna kommer att bestämmas och de erosiva faserna i havs- och sjösediment samt torvsekvenser dateras. Den marina miljön kan studeras i en sedimentkärna som provtogs vid de maringeologiska undersökningarna under 2002. En nyckelfråga som då kan besvaras är huruvida det förstadium till Östersjön som benämns Yoldiahavet var påverkat av brackvatten i Forsmarksområdet. Detta är viktig information för att sätta randvillkoren i den hydrogeologiska och hydrogeokemiska modelleringen.

Frågor om den glaciala transporten av bergartsmaterial och isens dynamik är viktiga för den konceptuella förståelsen av platsen. Kartering av bergarter i de stora blocken som påträffas nära Börstilåsen kan ge information om transportvägar.

Geofysik

Liksom tidigare kommer de geofysiska undersökningarna att fungera som stöd för den geologiska platsbeskrivningen. Frågor där geofysiken förväntas ge viktiga bidrag är:

- Verifiering av lineament, särskilt huruvida dessa kan kopplas till branta sprickzoner.
- Jorddjupsbestämningar.
- Bestämningar av sprickzoners lägen och geometri.
- Utbredning av kvartsfattiga bergarter mot djupet.

För den prioriterade platsen planeras bland annat följande undersökningar:

- Konventionell borrhålsgeofysisk loggning på samma sätt som hittills i de nyproducerade borrhålen.
- Kompletterande markgeofysiska mätningar på den prioriterade platsen, i första hand refraktionsseismik och markradar. Detta möjliggör bland annat bestämningar av jorddjup och P-vågs hastigheter i berg.
- Vertikal Seismisk Profilering (VSP-mätningar), där även borrhål utnyttjas, för en mer detaljerad bestämning av sprickzoners tredimensionella geometri och orientering.

Därutöver planeras kompletterande reflektionsseismiska mätningar som även innefattar den prioriterade platsens omgivning och tolkade randzoner. Slutligen kommer möjligheterna att utifrån gravimetriska data modellera bergvolymen att studeras. Detta kan tillföra värdefull kunskap om de kvartsfattiga bergarterna väster och söder om den prioriterade platsen.

Bergmekanik och termiska egenskaper

I den geologiska miljö som kännetecknar den undersökta formationen i Forsmark, med relativt höga bergspänningar och sprickfattigt berg, är det viktigt att kunna göra tillförlitliga prognoser av stabilitetsförhållandena i ett eventuellt djupförvar. Det gäller särskilt om det finns risk för uppspjälkning av intakt berg närmast deponeringstunnlar eller deponeringshål. Grunden för dessa prognoser är kunskap om rådande bergspänningar och bergets hållfasthetsegenskaper. Underlaget om dessa parametrar behöver därför förbättras.

Bergspänningarna och deras möjliga konsekvenser för stabilitet och förstärkningsbehov är den viktigaste frågan. Fördjupad och mer detaljerad kunskap behövs om framförallt spänningarnas belopp, inklusive fördelning i djup- och sidled. Detta kräver ytterligare mätningar, med koncentration till den del av området som prioriteras för fortsatta undersökningar.

För bergets hållfasthetsegenskaper behövs ytterligare kunskap om förhållandena inom det prioriterade området och på troligt anläggningsdjup för att bekräfta den nuvarande mera generella bilden och precisera dataunderlaget för prognosarbetet.

För de termiska egenskaperna ger mätningar på borrhävar på det sätt som gjorts hittills förväntade och konsistenta data. Frågetecknen gäller hur dessa data ska extrapoleras till en skala som är relevant för djupförvarets del, och med beaktande av det riktningsberoende som konstaterats för värmeledningsförmågan. På denna punkt behöver kunskapen förbättras. För detta planeras relativt enkla fältförsök på hällar i området.

Hydrogeologi

Det hydrogeologiska programmet omfattar meteorologi, hydrologi och hydrogeologi i jordlager och berggrund. En nära koppling finns till programmen för ytnära ekosystem och hydrogeokemi.

En av de viktigaste uppgifterna som återstår är att ytterligare klargöra de hydrauliska kontakterna mellan ytvatten, jordgrundvatten och berggrundvatten i undersökningsområdet. Sjöar och våtmarker kan principiellt antas utgöra utströmningsområden. Hittills genomförda mätningar indikerar dock att vissa sjöar kan utgöra inströmningsområden under delar av året. Det är också viktigt att klarlägga i vilken utsträckning våtmarkerna är utströmningsområden med god grundvattenkontakt och i vilken utsträckning de är mer eller mindre isolerade system avskilda genom täta bottensediment. Vilka egenskaper kontakten mellan jord och berg har, liksom hur de stora sprickzonerna hänger samman hydrauliskt, är andra frågor.

Ett fåtal djupt liggande, vattenförande sprickor har detekterats i några av kärnbråhålen. Dessa sprickor har inte en extremt hög vattenföring men tillräckligt hög för att de kan anses vara avvikande från den gängse bilden och därmed särskilt intressanta. Enskilda vattenförande sprickor skulle kunna utgöra en del av ett i övrigt glest vattenförande spricknätverk. Hur spricknätverket ser ut och om det har kontakt med det vattenförande ytberget är en av de viktiga frågor som kommer att studeras under de fortsatta undersökningarna.

De flacka sprickzonerna bör karakteriseras ytterligare. Den zon som ur förvarsperspektiv är viktigast att undersöka, bland annat med avseende på hydrauliska egenskaper och lateral utbredning, benämns A2. Zonen antas stupa mot syd-sydost och skär genom kandidatområdet. Det är väsentligt att kartägga vattengenomsläppligheten och dess eventuella avtagande mot djupet liksom det naturliga vattenflödet i zonen. Det bör också klarläggas om A2-zonen ger upphov till hydraulisk kontakt mellan de bråhålen som skär zonen. Det bör också undersökas om de flacka sprickzonerna, däribland A2, begränsas av randzonerna Singö-, Eckarfjärds- och Forsmarkszonerna, eller om de har en fortsättning genom och på andra sidan om dessa.

Dataunderlaget för att beskriva vattengenomsläppligheten hos bergmassan mellan sprickzonerna måste likaså förbättras. Det är av stor vikt för säkerhetsanalysen att kvantifiera antalet sprickor med låg vattengenomsläpplighet och deras egenskaper. Detta gäller speciellt i Forsmark där berget mellan sprickzonerna har mycket låg vattenföring.

Hydrogeokemi

Ämnesområdet hydrogeokemi omfattar undersökningar av kemiska förhållanden i ytvatten och i grundvatten ner till cirka 1 000 meters djup i berggrunden. De två huvudsakliga syftena med de hydrogeokemiska undersökningarna är:

1. Att karaktärisera och beskriva grundvattnet med avseende på kemisk sammansättning, ursprung, utveckling, huvudsakliga flödesvägar och uppehållstider samt att identifiera de kemiska reaktioner och processer som påverkat grundvattnets utveckling fram till idag för att därigenom kunna förutsäga grundvattnets framtida utveckling.
2. Att erhålla representativa och tillförlitliga värden på vissa kemiska komponenter som är viktiga för att projektera ett djupförvar och för att göra analyser av den långsiktiga säkerheten hos förvaret.

Från den prioriterade nordvästra delen av kandidatområdet finns inga kemidata från större djup än 200 m. Erfarenheter från tidigare borrhål i området tyder på att det kommer att vara mycket sparsamt med vattenförande sprickzoner på förvarsdjup och därunder, även i kommande borrhål. Varje möjlighet att göra kemiundersökningar på större djup måste därför tillvaratas.

Eftersom det finns så få vattenförande sprickzoner i den nordvästra delen kan bergmatrisens porvatten få stor betydelse. Provtagning och analys av detta vatten kommer därför att göras från borrhål KFM06A och möjligen något ytterligare borrhål.

Sedimentporvatten återstår att analysera. Skälet är att vatten som transporterats genom sedimentlager innehåller höga halter av restprodukter från organisk nedbrytning och därmed har en avvikande sammansättning jämfört med övriga vattentyper.

Vattnets innehåll av kolloider kan ha betydelse för nuklidtransport eftersom kolloider kan fungera som bärare av radionuklider. Det är svårt att bestämma kolloidinnehållet i grundvatten eftersom halten kan påverkas av i stort sett varje förändring av exempelvis tryck, pH, koncentration och temperatur i grundvattnet. Hittills har ingen kolloidförekomst kunnat påvisas i grundvattnet med de två metoder som använts för bestämning. För att säkerställa att kolloidhalten i grundvattnet är mycket låg eller obefintlig kommer en tredje metod som bygger på laserteknik att testas.

Transportegenskaper

Programmets huvudsyfte är att lämna underlag för beräkningar av transport av radionuklider till säkerhetsanalysen. De viktigaste transportegenskaperna i detta sammanhang är bergets förmåga att fördröja radionuklider genom sorption och diffusion. Eftersom endast ett fåtal platsspecifika transportdata än så länge erhållits, återstår ett antal viktiga frågor att besvara.

Den viktigaste uppgiften blir att utarbeta ett bra underlag till säkerhetsanalysen gällande bergmassans och sprickzonernas diffusions- och sorptionsegenskaper. Viktigt är att undersöka de rumsliga variationerna i parametervärden för det intakta berget och att ta fram underlag för en identifiering och beskrivning av ”typsprickor”. Denna information bör i huvudsak kunna fås från pågående laboratieförsök, med vissa kompletteringar från den fortsatta platsundersökningen.

Det är även viktigt att klargöra grundvattnets naturliga rörelser inom kandidatområdet och dess randzoner. Hur stora vattenflöden strömmar genom området? Vilka är de ur strömningssynpunkt viktigaste zonerna och vilka flödesegenskaper har dessa? Sådana frågor kan besvaras genom att mäta grundvattenflöden i sprickor och sprickzoner och genom att uppskatta den hydrauliska gradienten. Härvid är förbindelser mellan sprickzoner på djupet och den högtransmissiva ytliga delen av bergrunden av speciellt intresse, men även förbindelser mellan sprickzoner är viktiga att kartlägga liksom hur vattenflödet varierar med djupet längs en sprickzon. Eftersom inga fältförsök har utförts ännu, saknas även transportparametrar från strömningssvågar inom området.

Andra viktiga frågor för ämnesprogrammet är utbredningen av de ytliga, flacka och högtransmissiva sprickorna/sprickzonerna och deras inbördes förbindelser. Undersökningarna har visat att dessa sprickor ställvis är sedimentfyllda, men kan ändå ha ”kanaler” med hög vattengenomsläpplighet. Pumptester i kombination med spårämnesförsök kan ge mer information om detta. Då jordlagren är relativt mäktiga inom området kan även sorptionsegenskaperna i dessa spela roll för fördröjningen av radionuklider. En utredning pågår för närvarande om hur jordlagrens sorptionsegenskaper bäst ska undersökas.

Det kommer även att utredas om det är möjligt att med de förhållanden som råder i det djupa berget i Forsmark genomföra spår försök med både sorberande och icke-sorberande (vattentrogena) ämnen.

Långtidsobservationer

Platsundersökningarna innefattar insamling av tidsserier för alla viktiga parametrar som uppvisar en tydlig variation över tiden, det vill säga parametrar för vilka en ögonblicksbild inte räcker för att karakterisera ostörda förhållanden eller processer eller de som kan förväntas ändras på grund av uppförande och drift av ett förvar. Detta slag av naturliga variationer gäller i första hand ekologiska, hydrologiska, hydrogeologiska och grundvattenkemiska parametrar som mäts nära markytan. Men det kan också förekomma parametrar, främst hydrogeologiska, som uppvisar betydande tidsmässig variation även på stort djup. I programmet ingår dessutom registrering av seismisk aktivitet.

Platsundersökningarna kommer endast att ge tidsserier över några få år. För att få kunskap om mer långsiktiga trender kommer underlaget att kompletteras med redan tillgängliga långtidsmätningar av bland annat meteorologiska data. Dessutom planeras långtidsobservationer och övervakning under hela bygg- och driftskedet.

Undersökningar för driftanläggningar

Som helhet skiljer sig grundläggningskraven för djupförvarets anläggningar inte från vad som är gängse för industribyggande, men det finns vissa skillnader mellan olika delar. Större delen av ytan kommer att upptas av konventionella byggnader, vägar och uppställningsplatser. Undantagen är produktionsbyggnader och schaktöverbyggnader, som kan kräva större insatser för grundläggning. Kunskap om mark- och grundvattenförhållanden krävs också för de bergupplag som planeras.

Det undersökningsprogram som planeras innefattar att:

- Sammanställa befintligt underlag från tidigare undersökningar som gjorts inom delar av området.
- Översiktligt bedöma de geotekniska förhållandena för hela det aktuella området.
- Bedöma grundläggningskraven för olika delar av djupförvarets anläggningar.
- Identifiera behoven av kompletterande undersökningar, och genomföra dessa. Undersökningarna bedöms bli begränsade, och kunna genomföras med konventionell teknik.

Undersökningar efter sommaren 2007

Enligt SKB:s planer kommer platsundersökningens fältverksamhet att avslutas sommaren 2007. Därefter utförs i princip endast uppföljning och långtidsobservationer på plats i Forsmark.

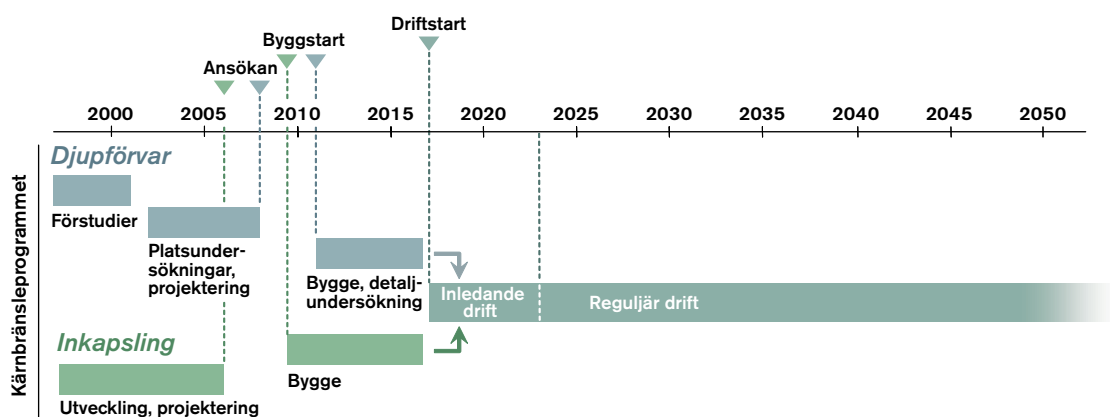
Under den period som följer efter platsundersökningen och fram till dess att SKB valt en av de två platserna, Forsmark eller Oskarshamn, kommer monitorering och eventuellt också vissa kompletterande undersökningar att utföras på båda platserna. Ett rimligt antagande är att SKB därefter drar ner alla aktiviteter i fält till ett minimum vid den plats som inte valts. Någon form av insatser för uppföljning och långtidsobservationer är dock troligt att vi kommer att genomföra även på den plats som inte valts.

1 Inledning

1.1 SKB:s plan för slutförvaring av använt kärnbränsle

Använt kärnbränsle från de svenska kärnkraftverken förs successivt till mellanlagring i vattenbassänger i Clab-anläggningen (Clab = Centralt mellanlager för använt bränsle) nära Oskarshamn. Avsikten är att efter cirka 30 års mellanlagring överföra bränselementen till kapslar som försluts och transporteras till ett djupförvar¹, där de deponeras permanent i urberg. Figur 1-1 visar huvuddragen i SKB:s plan för att åstadkomma detta. Målet är att ha ett system för slutförvaring av använt kärnbränsle klart för drift omkring år 2017.

Efter en period av inledande drift, avsedd att fungera som slutprovning och demonstration av systemet, är målsättningen att en övergång till reguljär drift ska kunna ske. Hur länge den reguljära driften sedan behöver pågå är beroende av kärnkraftverkens drifttider. SKB:s planeringsförutsättning /SKB, 2004b/ är att alla reaktorer utom Barsebäck 1 (avstängd november 1999) drivs i 40 år². Det skulle innebära att driften av djupförvaret avslutas en bit in på 2050-talet och att hela programmet kan vara avslutat omkring år 2060. Programmet medger att såväl mindre som större bränsemängder hanteras, i huvudsak utan andra konsekvenser än att hanteringssystemets totala drifttid, samt utrymmesbehovet i djupförvaret, påverkas /SKB, 2004a/.



Figur 1-1. SKB:s plan för lokalisering, bygge och drift av inkapslingsanläggning och djupförvar för använt kärnbränsle.

¹ I lagtexter och i myndigheternas föreskrifter används ”slutförvar” som benämning för anläggningen för slutlig förvaring av använt kärnbränsle. SKB använder både benämningen slutförvar och djupförvar och de betyder samma sak.

² Regeringen beslutade 2004-12-16 att Barsebäck 2 ska stängas per 2005-05-31.

Innan systemet kan tas i drift ska emellertid två kärntekniska anläggningar – en inkapslingsanläggning och ett djupförvar – planeras, beslutas och uppföras. Detta arbete sker etappvis, och har pågått i många år. SKB:s mål för den nuvarande etappen, platsundersökningsskedet, är att få de tillstånd som behövs för att lokalisera och bygga inkapslingsanläggningen och djupförvaret. Nuläget kan sammanfattas i följande punkter:

- För lokaliseringen av djupförvaret undersöks två kandidatplatser, Forsmark i Östhammars kommun och Simpevarp/Laxemar i Oskarshamns kommun. Dessa alternativ prioriterades efter en beslutsprocess baserad på ett brett underlag från översikts- och förstudier, se nedanstående faktaruta. Avsikten är att i ett senare skede välja en av kandidatplatserna som förläggingsplats för djupförvaret förutsatt att platsen uppfyller kraven på säkerhet, miljö och byggbarhet.
- Det underlag för lokaliseringen av djupförvaret som nu finns omfattar även andra platser som kvarstår som möjliga alternativ, för det fall att undersökningarna av kandidatplatserna inte ger tillfredsställande resultat. Vidare finns ett omfattande jämförelsematerial att tillgå från de typområdesundersökningar som tidigare genomförts på ett tiotal platser i olika delar av landet, liksom från undersökningar inom det finska kärnavfallsprogrammet /SKB, 2000b/.
- En inkapslingsanläggning planeras vid Clab. Projekteringen av anläggningen pågår, samtidigt som utvecklingen av inkapslingstekniken drivs vidare. Som alternativ studeras en förläggning vid ett eventuellt djupförvar i Forsmark.
- Både inkapslingsanläggningen och djupförvaret kräver tillstånd enligt miljöbalken och kärntekniklagen. Lagstadgade samrådsförfaranden för detta har inletts, och de kommande beslutsprocesserna är väl definierade, se figur 1-2.
- Utvecklingen av KBS-3 metoden, den förvaringsmetod som är SKB:s huvudalternativ, befinner sig i ett skede där tester och demonstrationer av systemdelar i pilot- och fullskala är huvudinslag. Kapsel- och Äspölaboratorierna är de centrala resurserna för detta.

Faktaruta – från förstudie till platsundersökning

Med förstudier i totalt åtta kommuner, däribland Östhammar, som underlag gjorde SKB under hösten 2000 en samlad utvärdering av de lokaliseringalternativ för djupförvaret som framkommit. Syftet var att prioritera några av alternativen för platsundersökning /SKB, 2000b/. Utvärderingen resulterade i en plan som omfattade platsundersökning för tre lokaliseringalternativ, däribland ett område vid Forsmark. De övriga alternativ som förslogs för platsundersökning var Simpevarp/Laxemarområdet i Oskarshamns kommun samt ett område i Tierps kommun. Fortsatta lokaliseringsstudier föreslogs också i Nyköpings kommun.

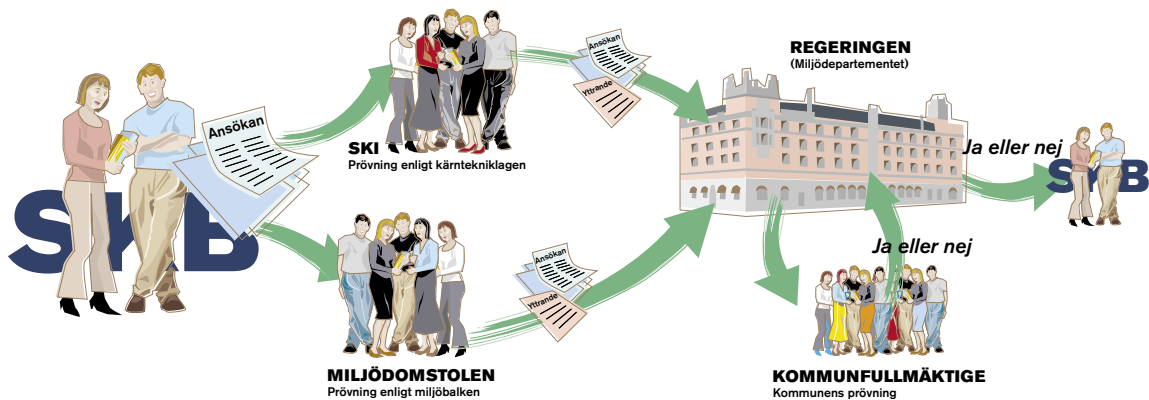
I enlighet med den rollfördelning som enligt kärntekniklagen gäller för kärnavfallsprogrammet följde sedan en beslutsprocess som inleddes med att SKB överlämnade sin plan till myndigheterna. SKI, som har ansvaret för granskning och remisshantering, tillstyrkte platsundersökning enligt SKB:s plan och regeringen fattade i november 2001 ett beslut som innebar klartecken för planen.

Såväl SKB som berörda kommuner hade på ett tidigt stadium klargjort att steget över till platsundersökning bör föregås av kommunala ställningstaganden, även om det inte finns några formella krav på detta. Östhammars kommunfullmäktige godkände i december 2001 SKB:s förslag att genomföra en platsundersökning vid Forsmark. Därmed förelåg de politiska förutsättningarna för platsundersökningen och SKB kunde inleda det konkreta arbetet. Oskarshamns kommun fattade motsvarande beslut i mars 2002, varefter SKB även där inledde en platsundersökning. Övriga berörda kommuner avböjde vidare deltagande i lokaliseringsprocessen för djupförvaret.

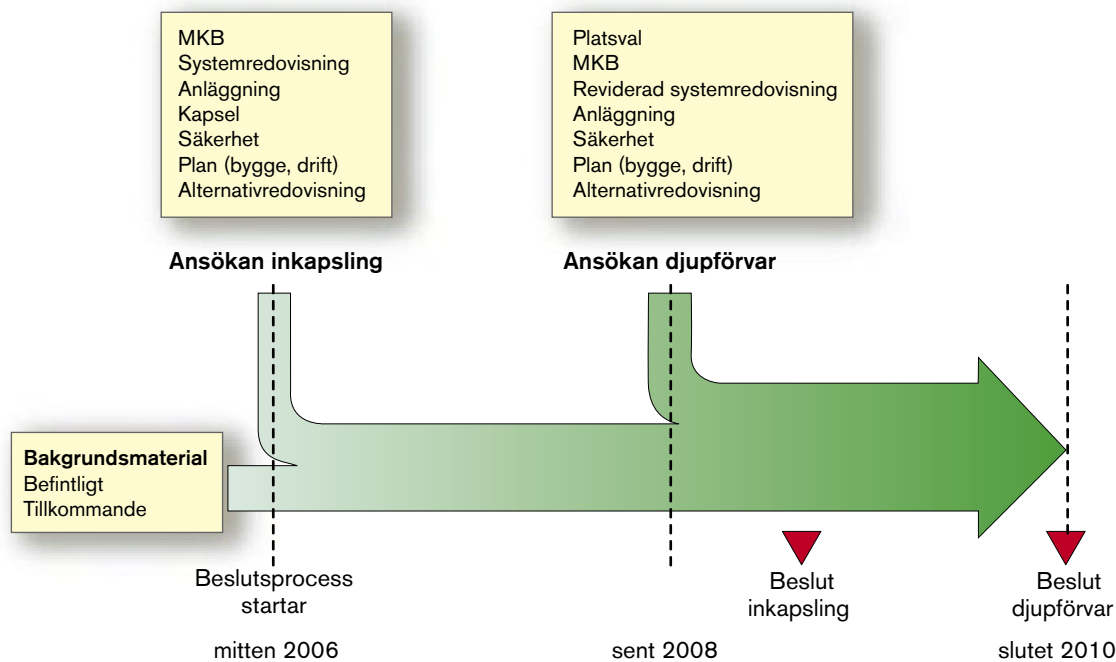
SKB:s huvuduppgift under de närmaste åren är att ta fram och sammanställa allt underlag som krävs för ansökningar om lokalisering och uppförande av anläggningarna. Prövningen av ansökningarna sker i första hand enligt kärntekniklagen, miljöbalken samt plan- och bygglagen. De centrala instanserna i beslutsprocessen är SKI, SSI, berörd miljödomstol, regeringen och berörd kommun. Till vardera ansökan ska en miljökonsekvensbeskrivning (MKB-dokument) bifogas, som beskriver de direkta och indirekta effekter som den planerade verksamheten kan medföra för människor, miljö och samhälle. MKB-dokumentets omfattning och avgränsningar tas fram inom ramen för de samråd som genomförs enligt miljöbalkens bestämmelser.

Figur 1-3 visar schematiskt komponenterna i underlaget och planerade tidpunkter för respektive tillståndsansökan. För djupförvaret bedöms en ansökan kunna finnas framme i slutet av 2008. Motsvarande tidpunkt för inkapslingsanläggningen är mitten av 2006. Därmed kan också beslutsprocessen starta under 2006. Den formella ärendegången för tillåtighets- och tillståndsprövningarna är väl definierad, se figur 1-2. Hur processen sedan utvecklas och hur lång tid den tar beror på kvaliteten på SKB:s underlag, myndigheternas och miljödomstolens hantering av ärendena, men också på de politiska instansernas beredskap och vilja att fatta de slutliga besluten. SKB:s egen bedömning är att beslutet om djupförvaret bör kunna finnas under 2010, vilket skulle innebära att hela beslutsprocessen tar ungefär 4,5 år.

Det finns uppenbara kopplingar mellan anläggningarna, vilket påverkar både SKB:s arbete med underlag och ansökningar och den efterföljande beslutsprocessen. Beslutet om inkapslingsanläggningen förutsätts föreligga en tid efter det att ansökan för djupförvaret lämnats in. Vid beslutstillfället har SKB:s valt en plats för djupförvaret och genomfört en fullständig säkerhetsanalys för denna. Prövningen av djupförvarsärendet bör sedan enligt SKB:s uppfattning underlättas väsentligt av att granskningen av inkapslingsanläggningen har kunnat pågå i drygt två år när prövningen av djupförvaret inleds.



Figur 1-2. Tillståndsprocessen enligt miljöbalken och kärntekniklagen.



Figur 1-3. Ansökningar och beslutsprocess för inkapslingsanläggning och djupförvar.

1.2 Projekt Djupförvar

Arbetet med att ta fram underlag för de två lokaliseringalternativen för djupförvaret, fram till planerad tillståndsansökan år 2008, sker i projektform. Målen för projektet är att:

- Ta fram underlag till ansökan om tillstånd att lokalisera och bygga djupförvaret för använt kärnbränsle.
- Ta fram det övriga underlag som behövs för att initiera byggskedet.

Delprojekt är att:

- Genomföra **undersökningar i Forsmark**.
- Genomföra **undersökningar i Oskarshamn**.
- Ta fram **beskrivningar av de undersökta platserna**, som grund för platsanpassade förvarslösningar, säkerhetsanalyser samt miljöutredningar och konsekvensbedömningar.
- **Projektera** anläggningar, system och infrastruktur för djupförvar på de undersökta platserna, till en nivå som ger underlag för de anläggningsbeskrivningar och säkerhetsanalyser som ska ingå i ansökan.
- Utarbeta ett **program för byggskedet**.
- Ta fram **säkerhetsredovisningar** för djupförvarets långsiktiga säkerhet och drift (inklusive transporter) av anläggningen på de undersökta platserna.
- Genomföra en **analys av systemet** (Clab, inkapslingsanläggning med kapseltillverkning, slutförvar för använt kärnbränsle samt transportsystem) för omhändertagande av använt kärnbränsle enligt KBS-3-metoden.
- Genomföra utredningar som underlag för att bedöma **inverkan på miljö, hälsa och samhälle** av planerade anläggningar och verksamheter.

- Genomföra **lagstadgade samråd** och övrig kommunikation med berörda parter och allmänhet.
- Ta fram den **miljökonsekvensbeskrivning** som ska åtfölja ansökan.

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

- **Välja en plats** för djupförvaret och motivera detta val.
- Sammanställa **tillståndsansökan**.

Projektet genomförs i två etapper – inledande respektive komplett platsundersökning. Efter den inledande etappen görs en utvärdering som bland annat innefattar en preliminär bedömning av den långsiktiga säkerheten för ett djupförvar på den plats som undersöks. Insamlade data om förhållandena på plats jämförs med i förväg uppställda kriterier /Andersson et al. 2000/. Vidare studeras hur ett djupförvar skulle kunna utformas med hänsyn till lokala förutsättningar och preliminära bedömningar görs av säkerheten för ett sådant förvar. Målet är att verifiera den bedömning som motiverade valen av kandidatplatser, det vill säga att dessa har goda förutsättningar att uppfylla kraven för ett djupförvar. Om det skulle visa sig att någon plats inte uppfyller kraven så kan platsundersökningen avbrytas. SKB:s planeringsförutsättning är emellertid att undersökningarna slutförs på båda platserna.

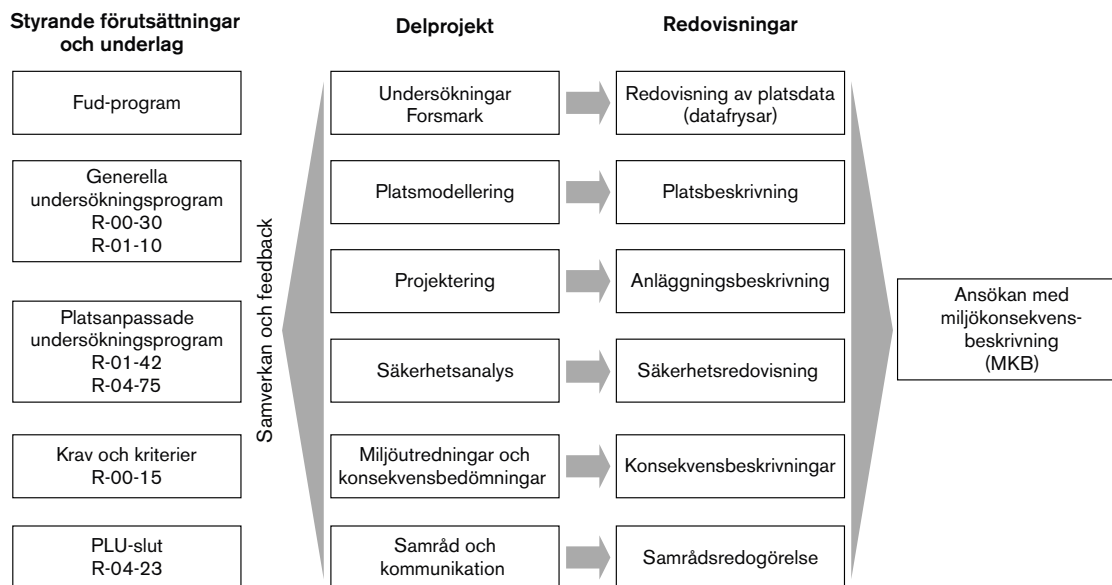
I Oskarshamn omfattar den inledande etappen av platsundersökningen två delområden, Simpevarp och Laxemar. De inledande undersökningarna för Simevarp avslutades i april 2004 och för Laxemar i oktober. En första utvärdering av resultaten från Simpevarp visar på en osäkerhet om delområde Simpevarp kan rymma ett förvar i ett plan eller om två plan behöver tillgripas. Då det begränsade utrymmet kan ge svårigheter att möta överraskningar som kan framkomma under eventuella detaljundersökningar har SKB preliminärt valt att prioritera delområde Laxemar för fortsatta undersökningar. Ett definitivt beslut om prioriterat delområde är planerat till senare delen av 2005 /SKB, 2004e/.

I Forsmark avslutades datainsamlingen för den inledande etappen sommaren 2004. Utvärdering i form av analyser och platsbeskrivning, preliminär anläggningsutformning och preliminära säkerhetsbedömningar pågår. Med reservation för de delar av utvärderingen som ännu är ofullständiga är SKB:s slutsats att platsundersökningen ska drivas vidare.

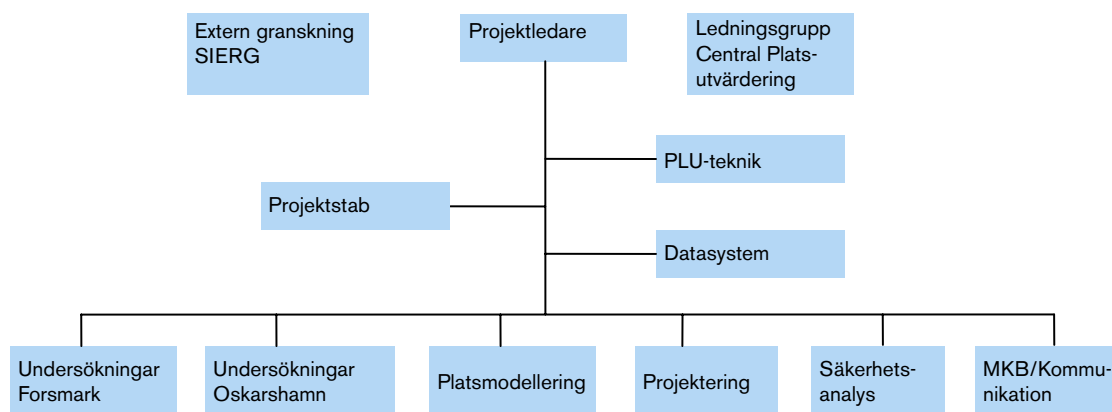
Hur den kompletterande etappen av platsundersökningen läggs upp beror i stor utsträckning på resultaten från den inledande etappen. Vad detta innebär för Forsmark redovisas i avsnitt 2.4. Målet är att höja kunskapen om den aktuella platsen till den nivå som krävs för att en tillståndsansökan ska kunna upprättas. Målet att ansökan ska kunna lämnas in årskiftet 2008/2009 innebär att arbetena i fält bör vara avslutade under 2007. Långtidsobservationer kommer att fortsätta även därefter.

Platsundersökningen genomförs i steg med undersökningar och datafrysar följda av analyser och återkoppling. Ett sådant iterativt arbetssätt är nödvändigt för att ha en överblick över det aktuella kunskapsläget och fortlöpande kunna styra undersökningarna så att resurser utnyttjas optimalt och så att en återkoppling kan ske från användarna av data. Undersökningsdata används för att ta fram platsbeskrivning, anläggningsutformning, säkerhetsanalys samt miljöutredning och konsekvensbedömning. Figur 1-4 visar förenklat kopplingarna mellan de viktigaste delprojekten i Djupförvarsprojektet och styrningen av informationsflödet.

Organisationen för projektet har anpassats till det beskrivna arbetssättet. Figur 1-5 visar ett översiktligt organisationsschema för Djupförvarsprojektet.



Figur 1-4. Informationsflödet inom Djupförvarsprojektet.



Figur 1-5. Djupförvarsprojektets organisation.

1.3 Denna rapport

1.3.1 Bakgrund

I slutet av 2001 redovisade SKB ett program för den inledande platsundersökningen i Forsmark /SKB, 2001a/. De undersökningar som preciserades där är nu genomförda. Det är därför dags att redovisa de undersökningar av geosfär och biosfär (främst ytnära ekosystem) som SKB planerar för återstoden av platsundersökningen.

Inför platsundersökningarna redovisade SKB ett generellt program för undersökning och utvärdering av platser för djupförvaret /SKB, 2000a/ som bland annat grundades på tidigare gjorda säkerhetsanalyser och på erfarenheter från SKB:s Äspölaboratorium. Vidare redovisade SKB en fördjupad och mer detaljerad beskrivning av hur undersökningarna av berggrunden och de ytnära ekosystemen kan genomföras /SKB, 2001b/. Där preciserades vad som ska eller kan mätas, vilka metoder som kan användas och hur platsbeskrivande modeller ska upprättas.

De ovan nämnda programmen och de resultat som hittills uppnåtts under den inledande platsundersökningen i Forsmark har varit en viktig utgångspunkt och bas för denna redovisning av de återstående undersökningsinsatserna.

1.3.2 Avgränsningar

Rapporten redovisar de undersökningar av geosfär och biosfär som SKB planerar för återstoden av platsundersökningen. Allt övrigt arbete – beräknings- och analysmodeller, projektering, säkerhetsanalyser samt utredningar om och bedömningar av konsekvenser för miljö, hälsa och samhälle – nämns endast i den utsträckning som behövs för att sätta in platsundersökningarna i sitt sammanhang.

Övriga insatser redovisas kontinuerligt i ett stort antal rapporter exempelvis den preliminära platsbeskrivningen version 1.1 /SKB, 2004c/, interimrapporten för SR-Can /SKB, 2004d/ samt i årsrapporter och nyhetsbrev. Detaljerade redovisningar av resultat från undersökningarna redovisas fortlöpande i P-rapporter som är tillgängliga på SKB:s hemsida. På hemsidan finns också översiktlig information om SKB:s hela verksamhet.

2 Förutsättningar

2.1 Mål

Det övergripande målet för platsundersökningsskedet är att få de tillstånd som krävs för att lokalisera och bygga djupförvaret. Platsundersökningarna måste därför ge det underlag som erfordras för utvärderingen av de undersökta platsernas lämplighet för ett djupförvar. Materialet ska således vara tillräckligt omfattande för att:

- Visa om den valda platsen uppfyller grundläggande säkerhetskrav.
- Visa om de byggtekniska förutsättningarna är uppfyllda.
- Kunna ligga till grund för att anpassa djupförvaret till platsens förutsättningar och egenskaper.
- Kunna bedöma djupförvarets inverkan på miljö och samhälle.
- Möjliggöra jämförelser mellan de båda undersökta platserna.

Ett annat sätt att uttrycka detta är att underlaget till ansökan ska kunna visa att djupförvaret och därtill hörande system i alla sina delar är genomförbart och säkert samt att det finns tillräckliga bergvolymer på den valda platsen som uppfyller detta.

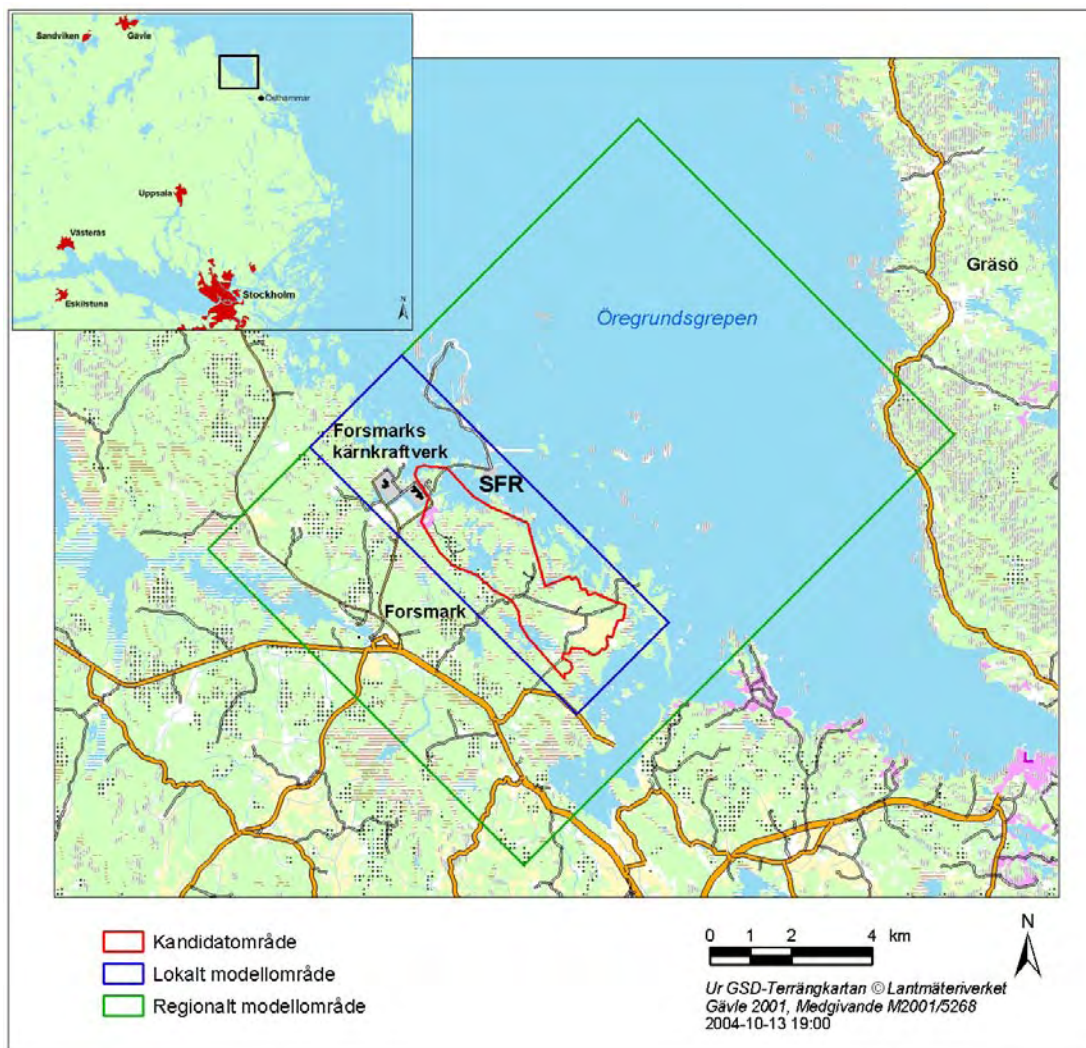
2.2 Platsen

2.2.1 Bakgrund

Figur 2-1 ger en översikt över Forsmarksområdet med omgivning. Efter den förstudie som föregick platsundersökningen angav SKB det rödmarkerade området sydost om Forsmarks kärnkraftverk, det så kallade kandidatområdet, som prioriterat för en platsundersökning. Detta område, tillsammans med de nära omgivningar som påtagligt berörs av platsundersökningen, betecknas fortsättningsvis Forsmarksområdet. De blå och gröna fyrkanterna i figuren visar avgränsningar som definierats för de lokala och regionala modeller som SKB arbetar med när data från platsundersökningen bearbetas. Motiv för modellområdena samt avgränsningar och definitioner redovisas i platsmodell version 1.1 /SKB, 2004c/.

Förstudien avslutades år 2000 och omfattade hela kommunen. Med ledning av den sammanställning av berggrunds- och grundvattenförhållanden som gjordes kunde flera områden inom kommunen anges som potentiellt intressanta för vidare studier, vad avser förutsättningarna för att uppfylla säkerhetskraven för ett djupförvar. Efter en helhetsvärdering prioriterades området i figur 2-1 för en eventuell platsundersökning. Huvudargumenten var dels tillgången till ett väl avgränsat område med potentiellt gynnsamma geologiska förhållanden, dels närheten till Forsmarks kärntechniska anläggningar. En förläggning av djupförvaret i anslutning till kärnkraftverken och SFR skulle innebära att hamnen och annan infrastruktur kunde nyttjas, landtransporterna till och från djupförvaret skulle bli korta och det finns tillgång till industrimark för de anläggningar ovan mark som ett djupförvar kräver. Detta skulle ge väsentliga fördelar ur etableringssynpunkt, framförallt goda möjligheter att begränsa den miljöpåverkan som etableringen av djupförvaret skulle medföra.

Sydost om kandidatområdet finns Kallriga naturreservat. En lokalisering som inkräktar på naturreservatet är utesluten, och reservatsgränsen bildar därför kandidatområdets avgränsning mot sydost. I övrigt gjordes avgränsningen i huvudsak utifrån den dåvarande



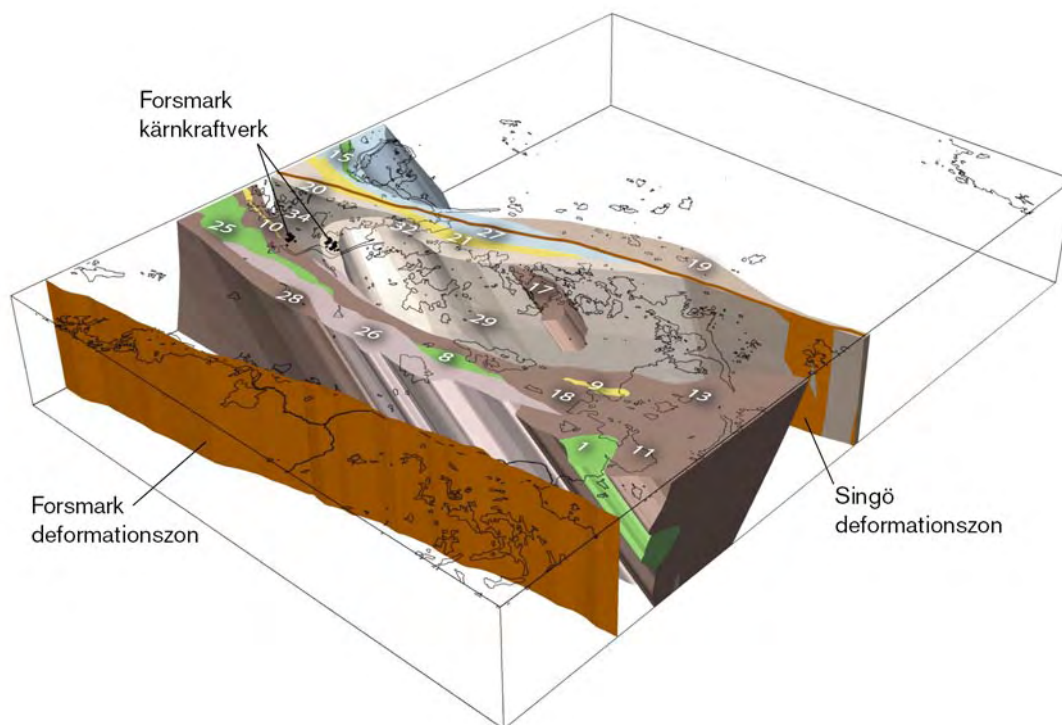
Figur 2-1. Forsmarksområdet med omgivningar.

kunskapen om de geologiska begränsningarna av den bergvolym som bedömdes vara av intresse.

Forsmarksområdet och dess omgivningar kännetecknas av höga naturvärden. En platsundersökning ansågs ändå vara möjlig att genomföra utan oacceptabla störningar, under förutsättning att både programmet i sin helhet och enskilda undersökningar anpassades till områdets speciella naturskyddsintressen.

2.2.2 Geologiska förhållanden

Figur 2-2 visar en berggrundsgeologisk modell över området. Berggrunden inom Forsmarksområdet är en del av ett långsträckt bergblock – en så kallad tektonisk lins – som sträcker sig från Forsmarksverket till Öregrund och vidare mot sydost. Mot nordost och sydväst begränsas området av zoner med deformerad berggrund. Denna typ av relativt väl bevarade, mer eller mindre linsformade partier mellan stråk av deformerad berggrund finns på flera håll i regionen, liksom i andra regioner med likartad geologisk historia. Uppkomsten kan kopplas till deformationsprocesser som verkade medan berget fortfarande var utsatt för höga tryck och temperaturer. Resultatet blev breda zoner som löper i långa stråk där berget deformerats plastiskt och bildat bandade och veckade strukturer. Överlagrat



Figur 2-2. Berggrundsgeologisk modell över Forsmarksområdet.

finns ofta mera distinkta zoner med uppsprucket berg, som är resultatet av spröd deformation i senare skeden när bergmaterialet hade stelnat. Deformation och rörelser har naturligt nog haft en tendens att successivt koncentreras till de stråk där de en gång initierats, eftersom berggrunden där är försvagad. De mellanliggande partierna har på så sätt förblivit relativt opåverkade.

Bergarterna i själva kandidatområdet är tämligen enhetliga och domineras av omvandlad granit (metagranit). Mot såväl sydost som nordväst finns andra granitoidvarianter, till exempel tonalit. Sydväst om kandidatområdet finns basiska bergarter som diorit och gabbro, liksom metavulkaniter. I de senare förekommer ansamlingar av malmmineral, främst järnmineralet magnetit.

Merparten av berggrunden är moräntäckt, men hållar finns sparsamt utspridda över området. Mindre arealer har även överlagrande jordarter som glacial- och postglacial lera, gyttja och torv. Moränen, som ställvis kan ha stor mäktighet, 10–15 m, är uppbyggt av flera bäddar med bl a varierande kornstorleksfördelning. Generellt har moränen hög kalkhalt.

2.2.3 Natur och kultur

Forsmarksområdet är flackt och låglänt. Trakten låg så sent som fram till tidig medeltid under havet, då landhöjningen gjorde att öar började formas i det som nu är kustområde. Små grunda sjöar och fjärdar är idag påtagliga inslag i landskapsbilden. Landhöjningen är cirka 6 mm per år, och vattenområdena befinner sig i olika stadier av avsnörning från havet. Denna förändringsprocess från hav till land innebär att olika biotoper avlöser varandra i snabb takt, vilket är intressant ur ett ekologiskt perspektiv. I områdets högre partier dominerar produktiv barrskog, utom längst mot sydost, där ett öppet landskap med åkrar, ängsmark och lövdungar tar vid. Kombinationen av öppna vattenspeglar, våt- och skogsmarker ger en art- och talrik fågelfauna (figur 2-3). Även floran är rikhaltig (figur 2-4), bland annat ger de kalkrika jordarterna bra förutsättningar för många kalkkrävande arter (figur 2-5).



Figur 2-3. Kombinationen av öppna vattenspeglar, våt- och skogsmarker ger en rik fågelfauna.



Figur 2-4. Havtornsbusken är vanlig i Forsmarkområdet. Av de svårplockade frukterna tillverkas saft, gelé och mos, liksom likör och vin. Barken kan användas vid växtfärgning; den ger rödbruna färger. Veden är hård och seg och går att slöjda i.

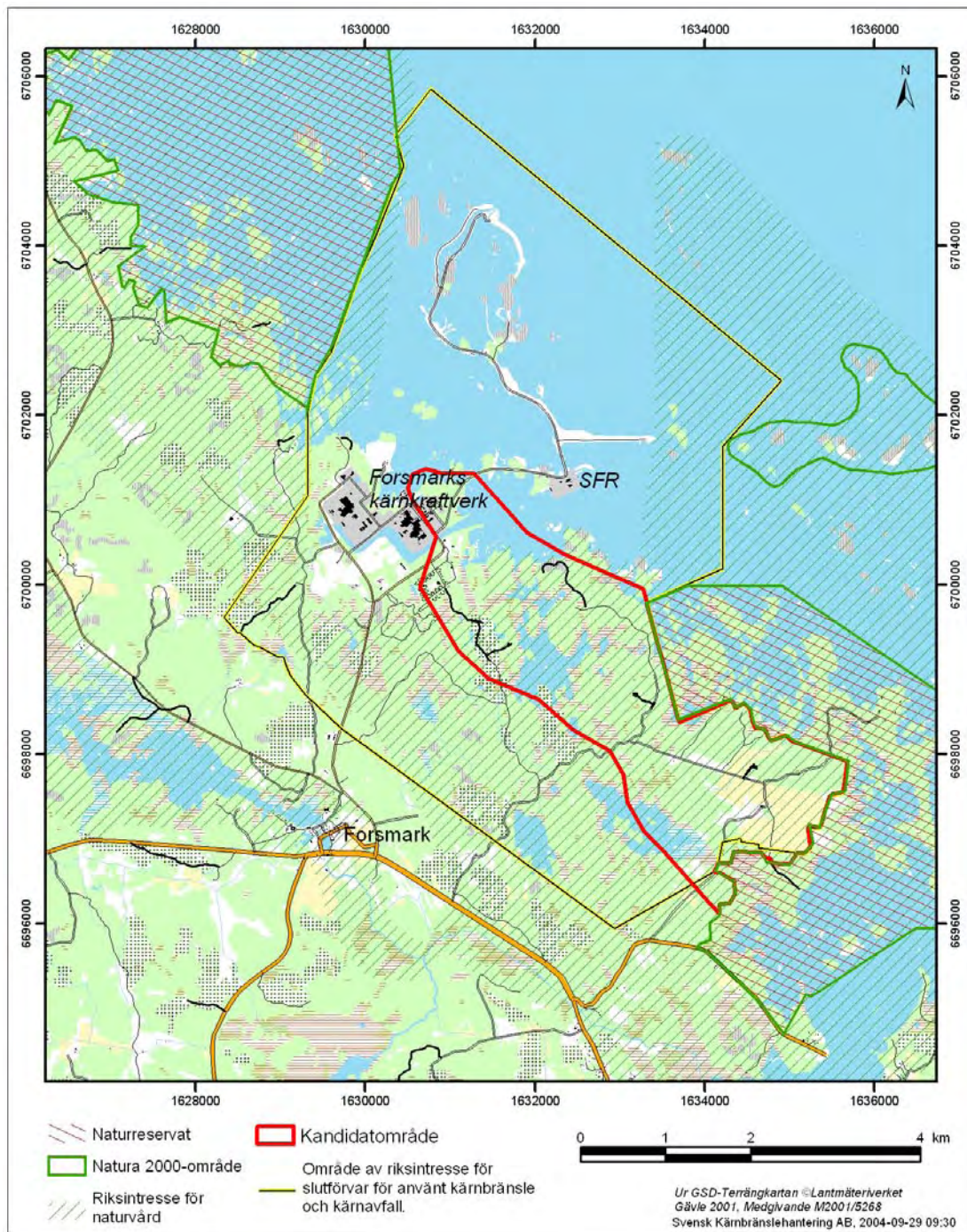


Figur 2-5. Guckusko förekommer på kalkrik jord i Forsmarks skogs- och hagmarker.

Kartan i figur 2-6 visar olika former av naturvärden och naturskydd. Forsmarksområdet är av riksintresse för naturvården. Det hyser viktiga ornitologiska värden och är utpekad som särskilt värdefullt i flera naturvårdsplaner samt i natur- och fågelinventeringar. Kallrigareservatet i sydost är avsatt för att bevara dessa värden och har status av Natura 2000-område. Kuststräckan söder om industriområdet vid Forsmark är strandskyddad. Skyddet sträcker sig vanligen 100 m inåt land, ibland längre. Motsvarande skydd finns kring fjärdar och öar. Inom strandskyddade områden får inga byggnationer göras eller andra åtgärder vidtas som hindrar allmänheten att röra sig fritt.

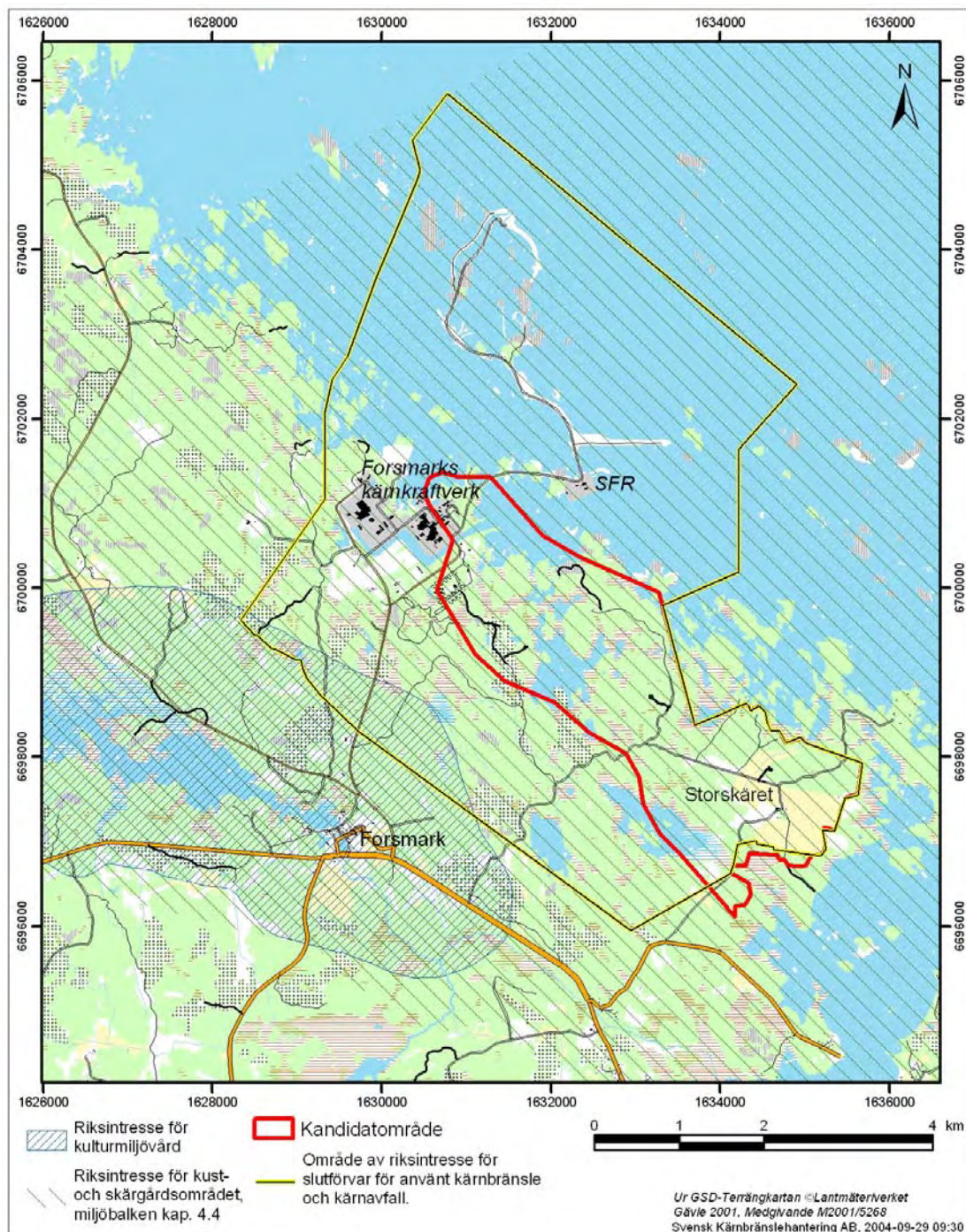
Figur 2-6 visar även området av riksintresse för slutförvar för använt kärnbränsle och kärnavfall enligt beslut av SKI den 2 december 2004. Om Forsmark blir aktuellt för lokalisering av djupförvaret ska detta riksintresse prövas likvärdigt mot andra riksintressen. Enligt 3 och 4 kap. miljöbalken får verksamheter som påtagligt skadar ett riksintresse inte tillåtas. I sitt beslut nämner SKI särskilt borrhningar ner till förvarsdjup och eventuella verksamheter som man planerar att lokalisera till platser som kan bli aktuella för slutförvarets ovanjordsdelar.

Figur 2-7 visar på motsvarande sätt kulturskyddsintressen m m i Forsmarksområdet. Den korta historien innebär att äldre fornlämningar saknas nästan helt. Det enda kända undantaget är ett gravfält från järnåldern. De kulturvärden från senare tid som finns är främst lämningar av bebyggelse. Sydväst om området finns Forsmarks Bruk, som är av riksintresse för kulturmiljövård som en av landets mest värdefulla bruksmiljöer.



Figur 2-6. Skyddad natur och områden av riksintresse för naturvården i Forsmarksområdet. Kartan visar även området av riksintresse för slutförvar för använt kärnbränsle och kärnavfall enligt beslut av SKI den 2 december 2004.

Större delen av marken där platsundersökningen görs ägs av Sveaskog AB. Bolaget har nyligen avsatt cirka 18 kvadratkilometer runt Forsmark som så kallad ekopark, som en markering att man där avser att ägna naturskyddet och andra bevarandebestånden särskild omsorg. Stora delar av kandidatområdet ingår i denna ekopark. I den sydöstra delen finns ett större område, kring gården Storskäret, som är i privat ägo. Där bedrivs jordbruk och det finns också betesmarker som hävdas. Ängs- och hagmarkerna vid Storskäret har höga natur- och kulturvärden. Förutom dessa större fastigheter finns ett antal fritidsfastigheter,

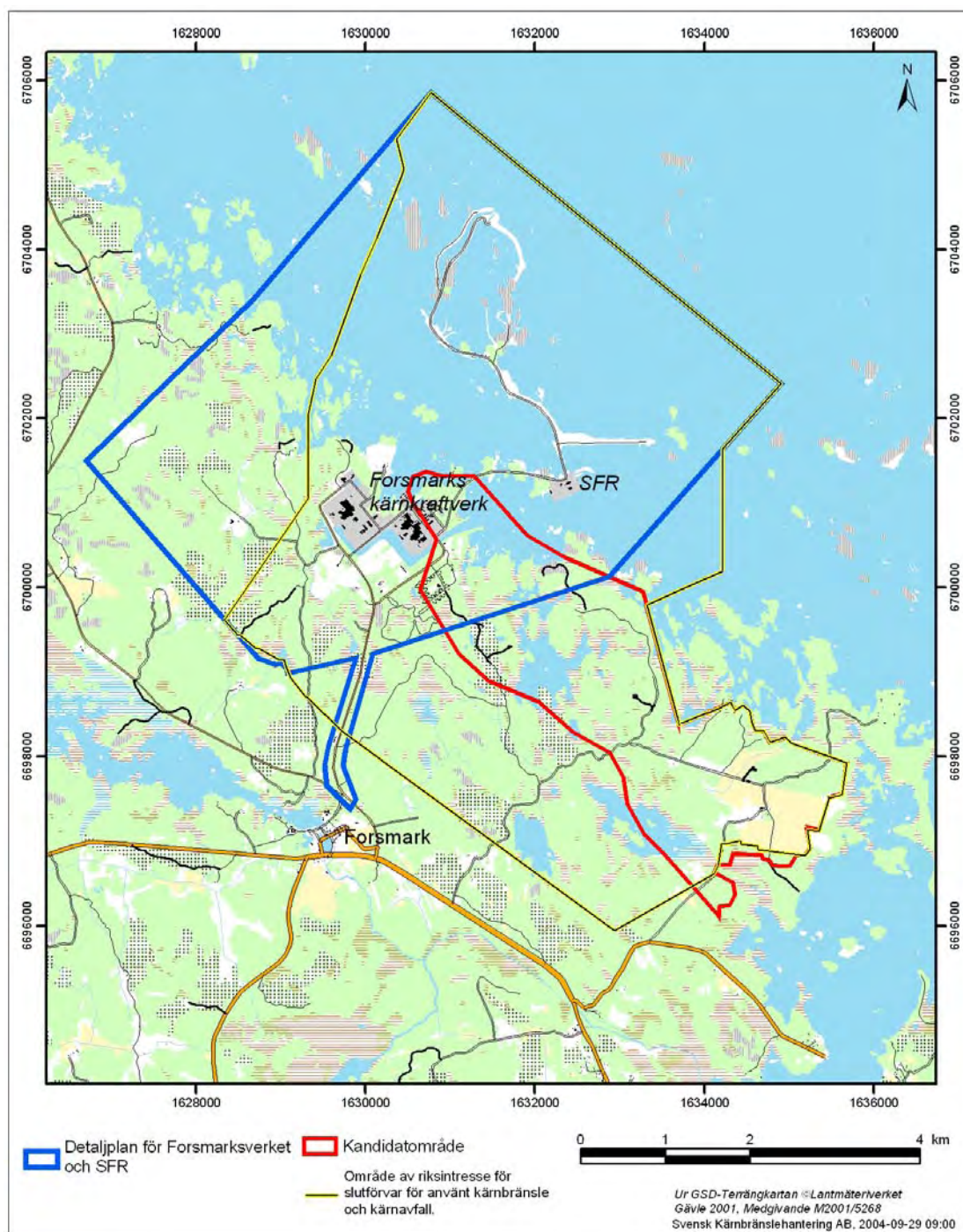


Figur 2-7. Riksintressen för kulturmiljövård samt för kust och skärgårdsområdet.

de flesta efter gränsen mot Kallrigareservatet. SKB har träffat avtal som reglerar tillträde för undersökningar, ersättningar m m med de fastighetsägare som berörs av platsundersökningen.

Mot nordväst inbegriper kandidatområdet en del av det detaljplanlagda industriområdet i Forsmark. Det område som är detaljplanlagt omfattar cirka 1 200 ha landareal och 1 800 ha vattenområden (inklusive öar och skär), se figur 2-8. De industrianläggningar som finns i området (exklusive ledningsstråk) upptar tillsammans cirka 260 ha mark. Industrimarken ägs av företag inom Vattenfallskoncernen och Svenska Kraftnät. Inom området finns de

tre kärnkraftsreaktorerna, SFR och kringaktiviteter som dessa anläggningar för med sig, se figur 2-9. Cirka 850 personer har sina arbetsplatser inom området. En infartsväg med hög bärighet förbinder industriområdet med väg 76 och det finns ett antal försörjningsvägar inom området. Den interna hamnen, belägen i anslutning till SFR, används främst för inskeppning av låg- och medelaktivt avfall till SFR och utskeppning av använt kärnbränsle från Forsmarksverket till Clab. Enligt beslut av Nutek (numera Energimyndigheten) så utgör det utbyggda industriområdet och ett område nordost därom riksintresse för energiproduktion.



Figur 2-8. Område i Forsmark för vilket detaljplan finns upprättad.



Figur 2-9. Industriområdet i Forsmark, med de tre reaktorbyggnaderna och i bakgrunden SFR-anläggningen.

2.3 Kunskapsläge efter den inledande platsundersökningen

2.3.1 Utgångspunkter och översikt

Platsundersökningen i Forsmark inleddes i februari 2002. Uppläggningsen grundade sig på följande generella program för platsundersökningar:

- ”Geovetenskapligt inriktat program för undersökning och utvärdering av platser för djupförvaret” /SKB, 2000a/.
- ”Platsundersökningar. Undersökningsmetoder och generellt genomförandeprogram” /SKB, 2001b/.

Dessa dokument togs fram av SKB och granskades av myndigheterna i samband med SKB:s samlade redovisning inför platsundersökningsskedet /SKB, 2000b/. Ett särskilt program /SKB, 2001a/, anpassat till platsspecifika frågeställningar och förutsättningar i Forsmark redovisades innan platsundersökningen startade.

Programmen speglar tillsammans planeringen i startskedet. Därefter har det iterativa arbetssätt som tillämpas inneburit att planeringen löpande uppdaterats med hänsyn till resultaten. Krav och synpunkter som framkommit från myndigheterna och deras externa expertgrupper inom ramen för den etablerade samrådsprocessen har också haft väsentlig påverkan på undersökningsprogrammet.

I december 2001 anmälde SKB platsundersökningen till länsstyrelsen i Uppsala län, för samråd enligt miljöbalken 12 kap. Länsstyrelsen angav i sitt beslut att SKB kunde genomföra platsundersökningen enligt det program som förelåg, och med de åtgärder för miljöskydd som redovisats i anmälan. SKB har sedan fortlöpande anmält undersökningar och andra aktiviteter inom platsundersökningen som kan påverka naturmiljön. Länsstyrelsen har i sina ställningstaganden till dessa anmälningar angett villkor och rekommendationer för de aktuella aktiviteterna.

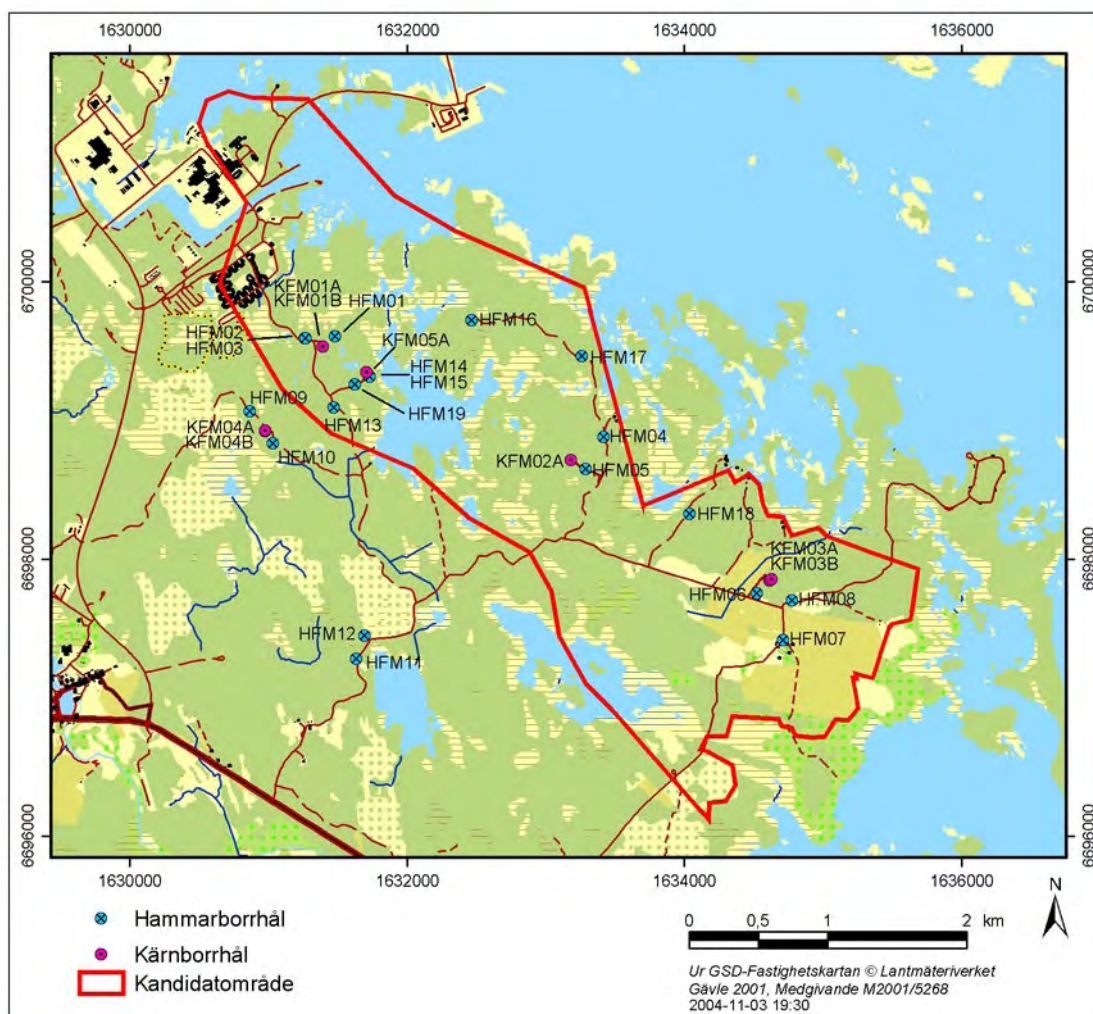
Organisationen för platsundersökningen, totalt cirka 35 personer, etablerades under det första verksamhetsåret. Verksamheten kunde inrymmas i SFR:s³ lokaler i Forsmarks hamn, där temporära utbyggnader gjordes. Särskilda lokaler har ordnats för kartering av borrhämlar, diverse laborierverksamhet och som förråd. Infrastruktur till och inom undersökningsområdet har etablerats successivt med beaktande av områdets känsliga naturmiljö. Det gäller en ny anslutningsväg från industriområdet, förbättringar av det befintliga vägnätet, borrhämlar samt utbyggnad av kabelnät för elförsörjning och datakommunikation.

Undersökningar och resultat redovisas ämnesvis i kapitel 3. Nuläget (augusti 2004) kan sammanfattas i följande punkter:

- Karaktäriseringen på ytan av områdets geologiska och ekologiska förhållanden är till stora delar genomförd.
- För att undersöka berggrunden mot djupet har fem djupa (1 000 m) och två grundare kärnborrhål färdigställts och dokumenterats. Borrning av ett sjätte djupt kärnborrhål pågår.
- 19 hammarborrhål har borrats, dels för att förse kärnborrningen med spolvatten, dels för att undersöka berggrunden.
- En heltäckande, preliminär platsbeskrivning version 1.1 /SKB, 2004c/ har redovisats. Arbetet med att sammanställa all information från den inledande platsundersökningen pågår och kommer att resultera i version 1.2 av platsbeskrivningen.
- Samrådsprocessen för ett eventuellt djupförvar i Forsmark har etablerats i enlighet med bestämmelserna i miljöbalken.
- En aktiv informations- och kommunikationsverksamhet har etablerats för fortlöpande dialog med närboende, allmänheten, Östhammars kommun, grannkommuner och andra lokala intressenter.

Figur 2-10 och figur 2-11 illustrerar nuläget för borrning. Kärnborrningen har gjorts från sex särskilt iordningställda borrhämlar. Kring dessa finns även ett antal hammarborrhål i olika riktningar. Därutöver finns hammarborrhål på ytterligare ett antal platser samt ett sextiototal jordborrhål.

³ SFR = Slutförvar för radioaktivt driftavfall; togs i drift 1988.



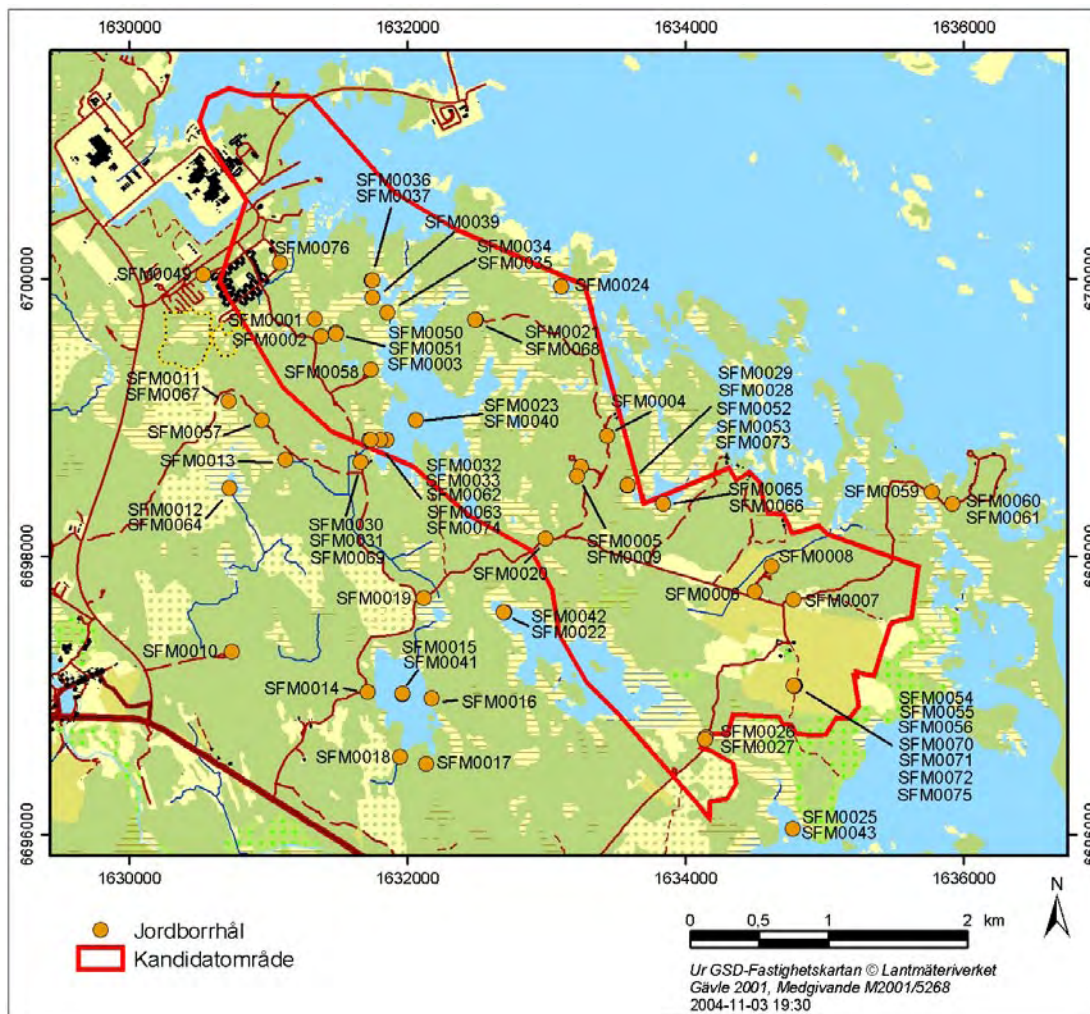
Figur 2-10. Undersökningsområdet med samtliga kärn- och hammarborrhål utförda under den inledande delen av platsundersökningen.

2.3.2 Avstämning mot grundläggande krav

Geovetenskapliga nyckelfrågor

Inför platsundersökningsskedet redovisade SKB grundläggande krav som måste kunna visas vara uppfyllda för att en plats ska vara av intresse för djupförvaret /Andersson et al. 2000/. Omvänt gäller att om ett eller flera av kraven inte är uppfyllda så måste platsen betraktas som diskvalificerad. Kortfattat formulerade är kraven följande:

- Regionala, plastiska skjuvzoner måste kunna undvikas.
- Berggrunden inom förvarsvolymen får inte ha malmpotential.
- Ett förvar måste kunna inplaceras och ges en tekniskt rimlig utformning, inom tillgänglig bergvolum och med hänsyn till sprickzoner m m.
- De bergmekaniska förutsättningarna måste vara sådana att omfattande stabilitetsproblem inte uppstår i deponeringstunnlar eller deponeringshål.
- Grundvattnet på förvarsnivå får inte innehålla löst syre.
- Den totala salthalten (TDS) i grundvattnet på förvarsnivå måste vara lägre än 100 g/l.



Figur 2-11. Undersökningsområdet med samtliga jordborrhål.

Utöver dessa krav angavs att lämpligheten hos en plats kan ifrågasättas om stora delar av bergmassan mellan sprickzoner har en vattengenomsläpplighet (hydraulisk konduktivitet) som överstiger 10^{-8} m/s.

Under den inledande etappen av platsundersökningen har inriktningen varit att ta fram data som – direkt eller indirekt – ger underlag för att avgöra om kraven ovan kan anses uppfyllda, och därmed om fortsatta undersökningar är motiverade. Det finns då anledning att värdera det nuvarande kunskapsläget i förhållande till de angivna grundkraven. Tabell 2-1 sammanfattar, för vart och ett av kraven, aspekter som är viktiga att beakta med hänsyn till plats-specifika förhållanden samt aktuell status för kunskapsnivån. Vidare anges kortfattat kvarstående databehov. Mer ingående beskrivningar av databehov och planerat program redovisas i kapitel 3.

Tabell 2-1. Sammanfattning av krav, kunskapsläge och kvarstående databehov.

Krav	Regionala plastiska skjuvzoner ska undvikas
Platsspecifika aspekter	Kravet att undvika de regionala, plastiska skjuvzoner som omgärdar den tektoniska linsen på båda långsidorna uppfylldes redan innan platsundersökningen startade genom valet av kandidat område.
Status/kunskapsläge	Slutsatsen att valet av kandidat område uppfyller kravet har bekräftats av undersökningarna /Stephens et al. 2003a,b; Petersson och Wägnerud, 2003; Petersson et al. 2003a,b/.
Kvarstående databehov	Kravet är uppfyllt, men för att bättre kunna beskriva områdets hydrogeologiska och hydrokemiska förhållanden krävs ny kunskap om de omgivande, regionala deformationszonernas förmodade funktion som hydrauliska randvillkor för platsen. Med det menas att deformationszonernas lägen och förmodat höga vattengenomsläpplighet hos sprött deformerade (reaktiverade) partier inom zonerna, leder till att de styr den hydrologiska och i viss mån även hydrokemiska situationen inom området.
Krav	Ingen malmpotential
Platsspecifika aspekter	Forsmarksområdet ligger i en region där malmer och mineraliseringar är vanliga, framförallt i anslutning till metavulkaniska bergarter. Den yt nära berggrunden inom kandidat området domineras av metagranit som såvitt känt saknar malmpotential, men detta behöver beläggas och situationen mot djupet undersökas.
Status/kunskapsläge	Den geologiska karteringen har verifierat att berget i ytan saknar malmpotential /Nilsson, 2003c/. Kärnorna från alla kärnborrhål liksom kaxet från hammarborrhål har karterats, varvid mineralogisk bedömning av bergmaterialet gjorts. Inga tecken på malmpotential har kunnat spåras. Den tektoniska linsens form mot djupet innebär också att berggrundens sammansättning på förvarsdjup är jämförbar med den vid ytan. En särskild utredning styrker dessa resultat /Lindroos et al. 2004/.
Kvarstående databehov	Kravet bedöms vara uppfyllt och inga ytterligare data behövs. Frågan kommer ändå att bevakas i samband med kommande borrningar.
Krav	Ett förvar måste kunna inplaceras och ges en tekniskt rimlig utformning inom tillgänglig bergvolym
Platsspecifika aspekter	Tre faktorer avgör om kravet kan uppfyllas: <p>1) Den tektoniska linsens utsträckning och form mot djupet Denna faktor avgör vilka "bruttovolymen" av lämpligt berg som kan finnas på förvarsdjup. Det fanns före platsundersökningen indikationer på att linsen avgränsas av nästan vertikala randzoner, men detta måste undersökas.</p> <p>2) Enskilda sprickzoner på förvarsnivå Sprickzoner som (med beaktande av respektavstånd) beskär den tillgängliga bergvolymen på förvarsnivå och/eller delar upp den i mindre enheter kan ha avgörande betydelse för inplacering/utformning av ett förvar. Inför platsundersökningen identifierades, av detta och andra skäl, förekomst och betydelse av flacka zoner som en särskilt viktig fråga.</p> <p>3) Bergegenskaper inom deponeringsområden Parametrar som lokalt avgör möjligheterna att nyttja tillgängligt utrymme för deponering (nyttjandegraden) är: – Förekomst av större sprickor. – Vattenföring. – Stabilitet/bergspänningar. – Värmeledningsförmåga. Inför starten av platsundersökningen identifierades bergspänningarna som en särskilt viktig fråga, mot bakgrund av att tidigare mätningar i området visade på relativt höga värden – se kravet beträffande lokal stabilitet nedan.</p>

**Status/
kunskapsläge**

1) Den tektoniska linsens utsträckning och form mot djupet

Ingenstans inom området har den tektoniska linsens begränsning mot djupet nåtts, trots fem borrhål ner till 850–1 000 m djup /Claesson och Nilsson, 2003b, 2004a,b/.

Reflektionsseismiska mätningar indikerar ingen tydlig gräns ner till åtminstone 3 000 m /Juhlin et al. 2002/. Resultat från borrhål KFM04A visar att linsens begränsning i ett avsnitt mot sydväst är nära vertikal. Mycket tyder på att det finns områden med lämplig berggrund även längre mot nordväst (i linsens längdriktning) än vad man tidigare trott.

2) Enskilda sprickzoner på förvarsnivå

Undersökningarna har identifierat en dominerande sprickzon (A2) som i stort tolkas skära tvärs kandidatområdet och luta cirka 20–25 grader mot sydost, se figur 2-15. På förvarsnivå delar denna zon preliminärt området i en nordvästlig- och en sydöstlig del /Claesson och Nilsson, 2004a; Petersson et al. 2003a/. I den sydöstra delen av området finns indikationer på flera zoner med likartad orientering, men inte i den nordvästra delen (undantaget en eventuell begränsande zon längst mot nordväst). Övriga sprickzoner som tolkats på förvarsdjup bedöms ha mera begränsad betydelse ur layoutsynpunkt /Juhlin et al. 2002/.

3) Bergegenskaper inom deponeringsområden

Som helhet är såväl *sprickfrekvensen* som *vattenföringen* på förvarsdjup betydligt lägre än förväntat /Petersson och Wägnerud, 2003; Berglund et al. 2004; Rouhiainen et al. 2004; Ludvigson et al. 2004/. Det bortfall av möjliga deponeringspositioner som dessa faktorer kan ge bedöms därför vara begränsat.

Krav beträffande *bergspänningar och stabilitet* kommenteras nedan.

Bergets *värmeledningsförmåga* styr minimiavståndet mellan deponerade kapslar i ett djupförvar. Utförda mätningar visar att värmeledningsförmågan är normal för bergarter med granitisk sammansättning /Adl-Zarrabi, 2004a,b/. Det skulle innebära kapselavstånd i enlighet med antagen referensutformning.

Samlad bedömning: Den kunskap som behövs för att avgöra om kravet är uppfyllt växer fram gradvis som ett resultat av nya borrhål och arbetet med anläggningsutformning. De parametrar som bildar underlag för layout analyseras för närvarande. Med reservation för vad analysen kan resultera i är SKB:s preliminära bedömning att platsen ger goda möjligheter att inplacera och utforma ett förvar, se även figur 2-14.

**Kvarstående
databehov**

1) Den tektoniska linsens utsträckning och form mot djupet

Den tektoniska linsen bedöms ge tillräckligt utrymme för ett förvar, se figur 2-14. Kunskapen är emellertid ännu otillräcklig för anläggningsutformning. Det gäller framförallt geologiska gränser mot områdets nordvästra ände och nordöstra långsida.

2) Enskilda sprickzoner på förvarsnivå

Egenskaper och betydelse av tolkade zoner (särskilt A2) behöver klargöras bättre. Detsamma gäller betydelsen på djupet av tolkade, men ännu ej verifierade lineament (indikationer på markytan av möjliga sprickzoner). Möjliga, ännu ej upptäckta sprickzoner inom förvarsvolymen utgör likaså en kvarstående osäkerhet.

3) Bergegenskaper inom deponeringsområden

Större sprickor, vattenföring: Betydande behov finns att precisera dataunderlaget, särskilt i områdets nordvästra del.

Stabilitet/bergspänningar: Se krav beträffande stabilitet nedan.

Värmeledningsförmåga: Komplettering av data, särskilt skalberoendet och eventuell betydelse av termisk anisotropi.

Krav

Ej omfattande instabilitet i deponeringstunnlar eller deponeringshål

**Platsspecifika
aspekter**

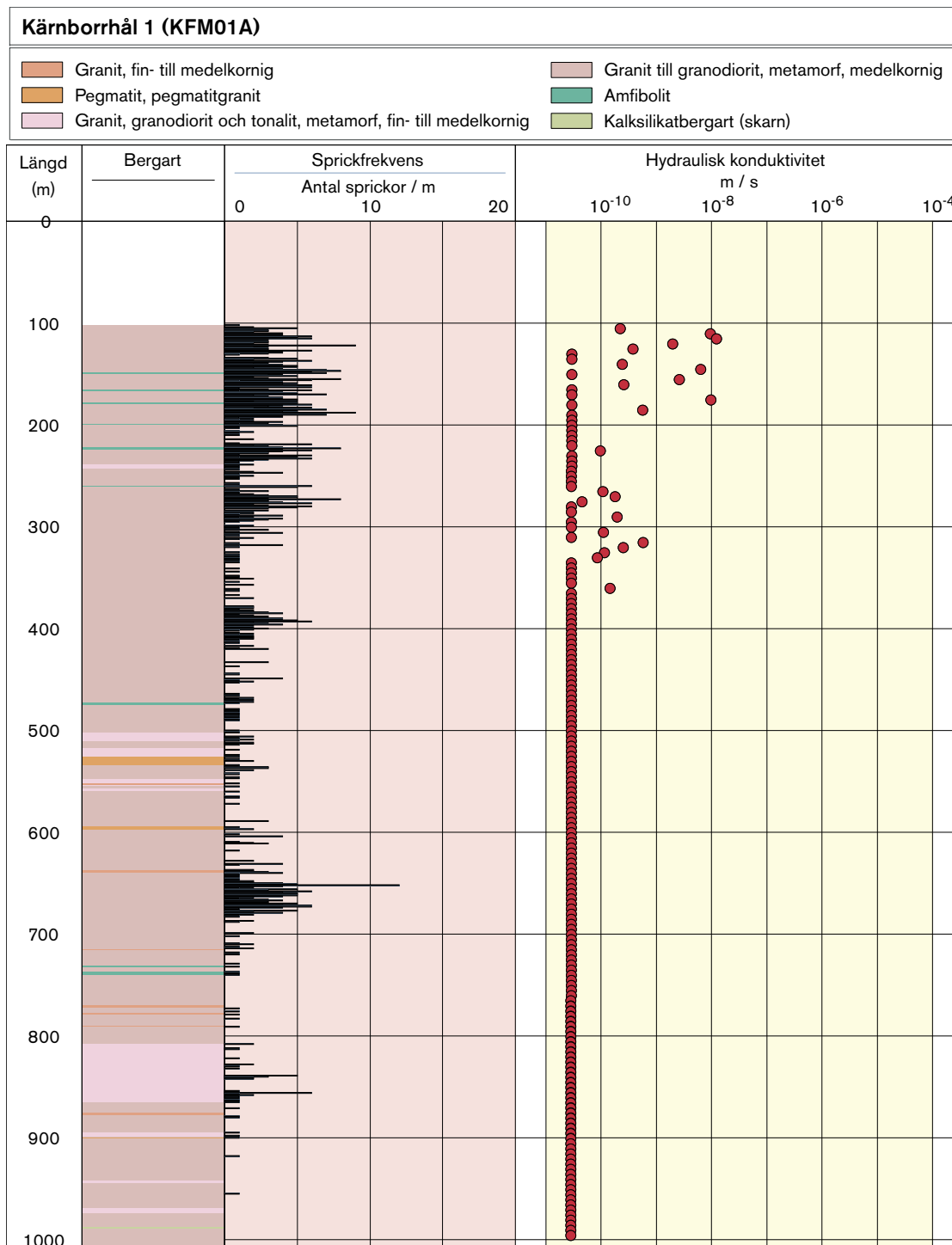
Stabiliteten avgörs av bergspänningsförhållandena, bergets mekaniska egenskaper samt konstruktionsparametrar som tunnelriktningar och tvärsnitt. Höga bergspänningar kan innebära viss uppsprickning närmast utrymmena och kräva särskilda förstärkningsåtgärder. Extrema bergspänningar kan göra platsen olämplig för ett förvar. Mätningar i slutet av 70-talet indikerade förhöjda spänningar i delar av ett borrhål nära block F3 i Forsmark.

Status/ kunskapsläge	Undersökningarna har genomgående visat på berg med normal hållfasthet, vilket tillsammans med låg sprickfrekvens ger goda mekaniska egenskaper. Detta är på många sätt positivt ur stabilitetssynpunkt, men kan i en miljö med förhöjda bergspänningar också ha negativa konsekvenser. Bergspänningsmätningar ner till som mest cirka 450 meters djup har gjorts. Det finns betydande metodrelaterade osäkerheter i resultaten, men som helhet bekräftar data den tidigare bilden med relativt höga horisontella bergspänningar /Sjöberg, 2004/. Möjliga konsekvenser utreds men bedöms preliminärt fullt hanterbara.
Kvarstående databehov	Karaktäriseringen av spänningstillståndet, inklusive variationer i djup- och sidled, är ofullständig och kommer att prioriteras i det fortsatta undersökningsarbetet. Data om mekaniska egenskaper kompletteras fortlöpande.
Krav	Inget löst syre i grundvattnet på förvarsnivå
Platsspecifika aspekter	Inför starten av platsundersökningen var inga lokala data tillgängliga. Samtidigt fanns det ingen anledning att förvänta sig att förhållandena skulle avvika från de som är normala för svensk berggrund, det vill säga syrefria förhållanden.
Status/ kunskapsläge	Mätningarna hittills – totalt sju sektioner fördelade på tre kärnborrhål – har verifierat syrefria förhållanden /Wacker et al. 2003, 2004b,c/. Kravet betraktas därmed som uppfyllt.
Kvarstående databehov	Även om kravet redan nu betraktas vara uppfyllt kommer ytterligare mätningar att genomföras.
Krav	Salthalt (TDS) i grundvattnet på förvarsnivå lägre än 100 g/l
Platsspecifika aspekter	Läget vid kusten innebär att salt grundvatten förväntades, men inga lokala data från förvarsnivå var tillgängliga inför starten av platsundersökningen.
Status/ kunskapsläge	Salthalten ökar från sött vatten nära markytan till 8 g/l vid 150 m djup. Därefter är halten konstant till cirka 600 m. Under detta djup sker en ökning. Som mest har 13 g/l uppmätts på 980 m djup /Nilsson, 2003a,b; Wacker et al. 2003, 2004b,c/.
Kvarstående databehov	I den nordvästra delen av kandidatområdet saknas data under 200 m djup. Möjligheter att göra kemiundersökningar på större djup måste därför tillvaratas.

Redovisningen i tabellen ovan ger enligt SKB:s uppfattning en god grund för att fortsätta platsundersökningen i Forsmark. Det är svårt att se att ytterligare undersökningar skulle ändra på SKB:s bedömning att platsen uppfyller de angivna grundläggande kraven. De kvarstående databehov som anges i tabell 2-1 motiveras huvudsakligen av att både anläggningsutformning och säkerhetsanalys behöver mer underlag.

Den platsbeskrivning (version 1.2) som för närvarande utarbetas och som baseras på data per den 31 juli 2004 kommer att ge en aktuell tolkning av det geovetenskapliga kunskapsläget i sin helhet. Allmänt kan sägas att undersökningarna hittills har visat på några tydliga särdrag vad gäller spricksituation och vattenföring. Figur 2-12 exemplifierar detta med data från det första, djupa kärnborrhålet.

I den ytnära berggrunden (ner till cirka 300 meters djup i borrhål KFM01A) är sprickfrekvensen i genomsnitt normal för svenskt urberg. Ner till cirka 200 meters djup påträffas sektioner med distinkta, oftast flacka, starkt vattenförande sprickor. Detta mönster tycks gälla genomgående inom den tektoniska linsen. Hög vattenföring i flacka sprickor nära ytan kan vara positivt ur förvarssynpunkt, eftersom grundvattenomsättningen på djupare nivåer då begränsas, men kan kräva särskilda åtgärder vid tunneldrivning och schaktsänkning.



Figur 2-12. Kärnbrorrhål KFM01A. Omvandlad granit (metagranit) dominerar. Sprickfrekvensen är normal ner till cirka 300 m, därunder mycket låg med undantag för två partier, kring 400 m respektive 650 m. Under cirka 360 m djup är vattengenomsläppligheten under mätgränsen.

På större djup, under 200–300 m, kännetecknas berggrunden inom kandidatområdet av låg sprickfrekvens och dito vattenföring. Det fåtal vattenförande sprickor som påträffats på försvarsdjup och därunder är med enstaka undantag kopplade till tolkade flackt lutande sprickzoner. Önskemålet att merparten av bergmassan mellan sprickzoner ska ha en vattengenomsläpplighet (hydraulisk konduktivitet) som understiger 10^{-8} m/s synes alltså vara uppfyllt med god marginal.

Som alltid när berg undersöks har också oväntade observationer gjorts. En sådan gäller ytberget vid borrhållplats 5. När jordtäcket på platsen avrymdes konstaterades förskjutningar i de glacialslipade hällytorna. Vissa block i hällen har rört sig upp till några decimeter och öppna, i många fall jordfyllda sprickor, hade bildats. En specialgranskning visade att blockrörelserna skedde för mer än 10 000 år sedan, det vill säga då inlandsisen låg ovanpå berget eller ännu tidigare. Förutom studier av hällytan och den ovanpåliggande moränen borrades två hammarborrhål snett in under ytberget. Slutsatsen blev att fenomenen är kopplade till ytan, medan berget mot djupet inte uppvisade några störningar. Likartade förhållanden observerades och dokumenterades när kärnkraftverket i Forsmark byggdes /Carlsson, 1979/.

En annan oväntad observation gjordes när det andra djupa kärnborrhålet (KFM02A) borrades. Då konstaterades att graniten hade utsatts för en kraftig omvandling (episyenitisering) vid djupen 175 m och 180 m samt i intervallet mellan 250–300 m. På dessa ställen har kvarts lösts ut varpå graniten blivit porös. Studier kommer att göras för att få en uppfattning om den porösa granitens utbredning kring borrhålet.

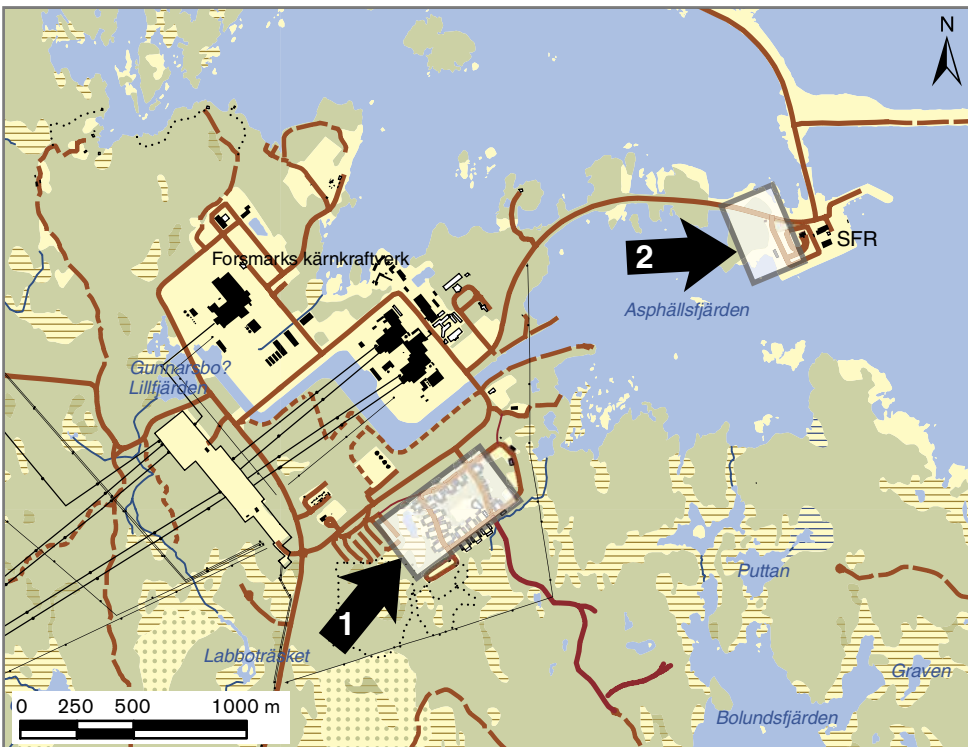
2.3.3 Industrietableringen

Parallellt med platsundersökningen pågår projektering, som innefattar arbetet med att ta fram en platsanpassad utformning av ett djupförvar i Forsmark. Det underlag som tagits fram hittills bekräftar de tekniska och miljömässiga etableringsförutsättningar som jämte tillgången till potentiellt lämplig berggrund var huvudskalet till att Forsmark valdes som lokaliseringsalternativ. I ett första skede har möjliga lägen och utformningar av anläggningar som djupförvaret kräver ovan mark studerats. Figur 2-13 illustrerar de två alternativa lösningar som skisserats. I det ena fallet placeras djupförvarets ovanmarksanläggningar öster om rondellen vid infarten till Forsmarks industriområde. På delar av området finns idag Forsmarksverkets bostäder för tillfälligt boende. I det andra fallet förläggs verksamheten istället på delvis utfylld mark i anslutning till SFR-anläggningen. Alternativen innebär ingen väsentlig skillnad för djupförvarets berganläggningar – som i båda fallen antas finnas inom den nordvästra delen av kandidatområdet – men bygger på delvis olika systemlösningar. Avsikten är att i ett senare skede prioritera det ena alternativet för fullständig projektering.

Baserat på den geologiska informationen har tidiga skisser också tagits fram på möjliga layouter för djupförvarets berganläggningar, med centralområde, deponeringsområden och förbindelsetunnlar. Huvudsyftena har varit att dels klargöra om det finns tillräckligt stora volymer lämpligt berg, dels ge underlag för fortsatta undersökningsinsatser. Olika antaganden har gjorts beträffande exempelvis lägen och egenskaper för sprickzoner och andra geologiska förhållanden där kvarstående osäkerheter kan ha stor inverkan på utrymmesbehov och layout. Figur 2-14 visar ett exempel på en layout, där djupförvaret antas förläggas på 400 meters djup. En viktig slutsats från layoutarbetet så långt är att de bergvolymer som finns inom den nordvästra delen av undersökningsområdet bedöms vara tillräckliga för att rymma ett djupförvar.

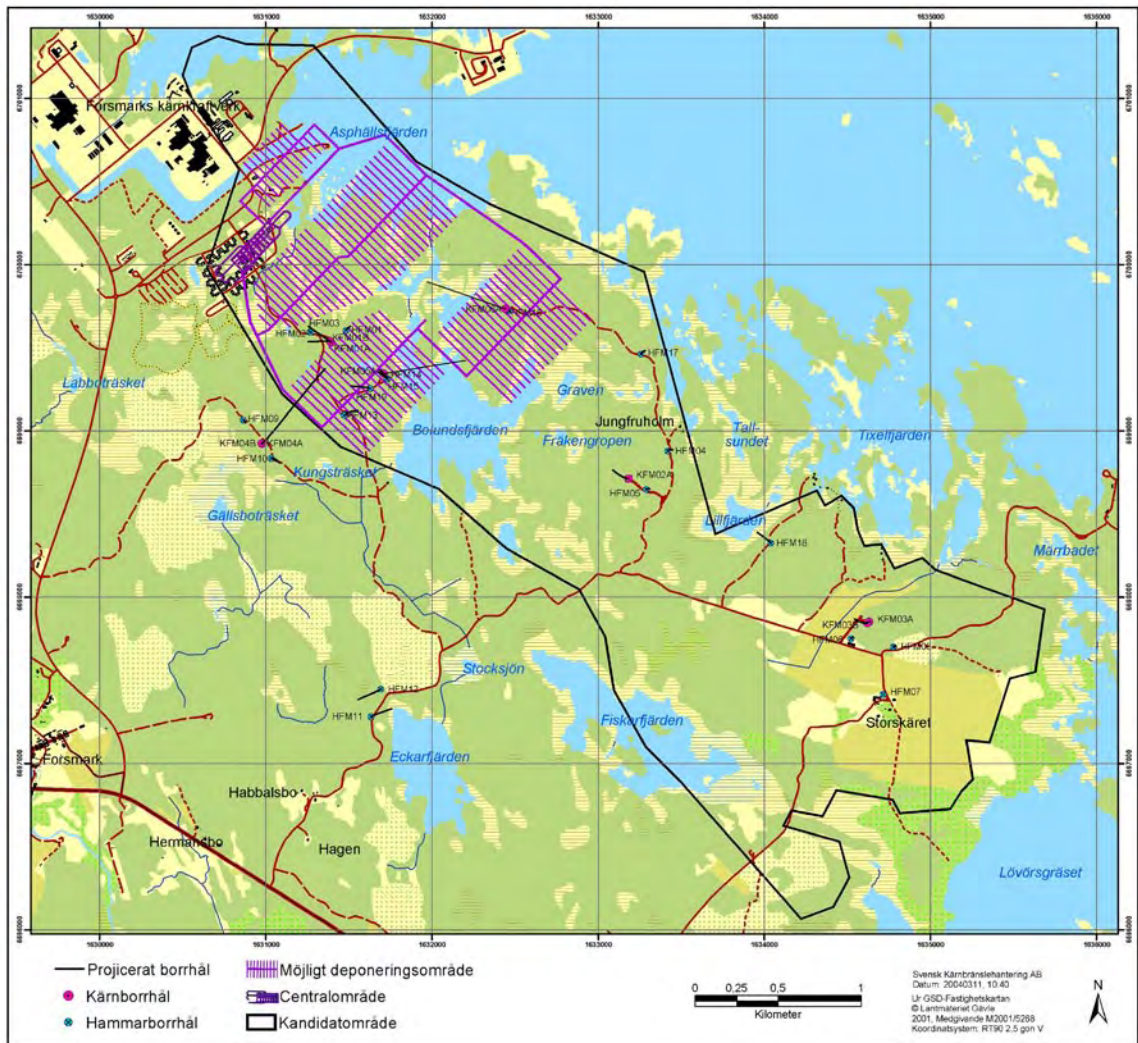


Djupförvarets anläggningar kan placeras längs vägen ut till SFR. Utfyllnader krävs eftersom utrymmet är begränsat. Tunga transporter till och från djupförvaret skulle ske via en lutande tunnel som mynnar ut till höger om byggnaden i mitten. Längst bort i bild SFR och hamnen.



Från infarten till Forsmarksverket (rondellen) och österut mot barackbyn finns mark för djupförvarets anläggningar. Behovet av tillfälliga bostäder måste då lösas på annat sätt. Närmast i bild tänkta upplag för bergmassor som tas upp i ett schakt som mynnar under den höga, smala byggnaden. Längre bort finns schakt för personhiss och ventilation.

Figur 2-13. Alternativa lägen för djupförvarets anläggningar ovan mark – öster om rondellen vid infarten till Forsmarksverket eller vid SFR.



Figur 2-14. En möjlig layout för ett djupförvar, förlagt på 400 meters djup i den nordvästra delen av området.

2.4 Strategi för fortsatta undersökningar

2.4.1 Utgångspunkter

SKB:s strategi för den fortsatta platsundersökningen i Forsmark har tagits fram utifrån följande utgångspunkter:

- Det övergripande målet för platsundersökningen ska uppnås (avsnitt 2.1).
- Undersökningarna ska ge kompletterande dataunderlag för de geovetenskapliga nyckelfrågorna enligt vad som redovisas i avsnitt 2.3.2.
- Undersökningarna ska planeras och genomföras så att det finns tid för erforderlig samordning med, och återföring av fakta och synpunkter från, övriga delprojekt i Djupförvarsprojektet (avsnitt 1.2).
- Undersökningarna ska genomföras inom ramen för Djupförvarsprojektets övergripande planering (avsnitt 1.1).

2.4.2 Arbetssätt

I avsnitt 1.2 beskrivs Djupförvarsprojektets organisation, delprojekt samt det stegvisa arbetssättet. Förutom interaktionen mellan delprojekten krävs beredskap för att hantera krav och synpunkter som kan komma från myndigheterna och deras expertgrupper samt från Länsstyrelsen, kommunen och lokala intressenter via de etablerade samråden. Programmet måste därför ge utrymme för kompletteringar i ett sent skede av platsundersökningen.

Dessutom tillkommer en rad praktiska hänsyn. Platsundersökningen binder en platsorganisation och omfattande resurser för borrhning och undersökningar. En rimlig kontinuitet i arbetet är nödvändig för att kunna nyttja dessa resurser på ett effektivt och ekonomiskt försvarbart sätt. Vidare måste aktiviteterna på olika sätt anpassas till områdets värdefulla och delvis skyddade natur, vilket också kräver utrymme i tidsplanen.

2.4.3 "Timing"

Enligt den övergripande planeringen för hela Djupförvarsprojektet ska tillståndsansökan lämnas in under 2008. I slutfasen är det nödvändigt att ha utrymme för de analyser och utvärderingar som ska göras, både platsspecifikt och mera övergripande, inför platsval och ansökan. Av det skälet bör undersökningarna vara avslutade och rapporterade i mitten av 2007. Därefter planeras för olika typer av monitorering, i väntan på resultatet av utvärderingar och SKB:s platsval.

Dessförinnan ska resultat överföras till avnämarna i samlade leveranser (datafrysar), med en "timing" så att arbetet med platsbeskrivning, anläggningsutformning, säkerhetsanalys och miljöutredningar kan drivas framåt. En viktig del i strategin för att åstadkomma detta är att så tidigt som möjligt ta fram preliminära lägen för både djupförvarets deponeringsområden och övriga anläggningar under mark (centralområde, tillfarter), samt anläggningarna ovan mark. Detta är en förutsättning för att:

- Optimera placeringen av borrhål och andra undersökningsinsatser.
- Tidigt kunna presentera utformningar och konsekvenser av anläggningarna ovan och under mark vid MKB-samråd så att eventuella synpunkter kan beaktas i det fortsatta arbetet.
- Genomföra säkerhetsanalyser.

En annan aspekt som måste beaktas är att vissa undersökningar kräver ostörda förhållanden. Det gäller exempelvis mätningar av naturliga grundvattenflöden, interferenstester mellan borrhål och spår försök. Dessa mätningar kan störas av borrhningar i närområdet. Det är därför en fördel om borrhningarna inom det preliminära förvaransområdet kan slutföras i tid för att ge utrymme åt mätningarna.

2.4.4 Strategi

Med beaktande av resultaten hittills samt redovisade mål och krav på genomförandet har en strategi i fyra punkter utarbetats för återstoden av platsundersökningen i Forsmark:

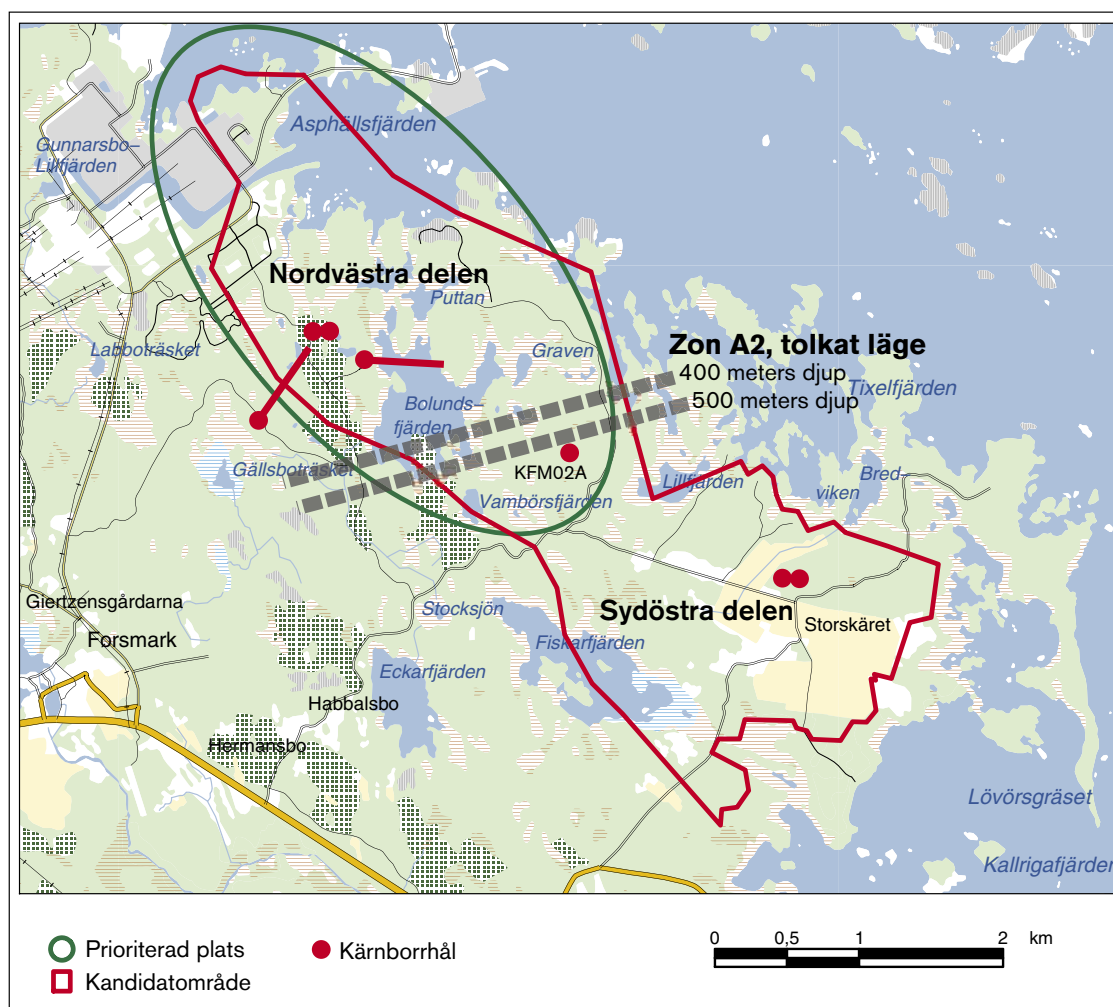
1. Välj den nordvästra delen av undersökningsområdet som prioriterad plats. Med prioriterad plats avses det område som är särskilt intressant för förvaret och dit fortsatta undersökningar fokuseras.
2. Bestäm, för den prioriterade platsen, de geologiska gränserna för tillgänglig bergvolym på förvarsdjup.

3. Karaktärisera tillgänglig bergvolym på denna plats till den omfattning och detaljeringsnivå som krävs.
4. Karaktärisera den prioriterade platsens hydrauliska randområden.

I det följande redovisas punkt för punkt motiven för denna strategi samt ett övergripande resonemang om vilka undersökningar som kan bli aktuella för att genomföra strategin.

1) Välj den nordvästra delen av området som prioriterad plats.

Kandidatområdet kan delas upp i en nordvästlig och en sydostlig del, belägna på var sida om den tolkade relativt mäktiga sprickzonen (zon A2) med förhöjd vattengenomsläpplighet som på förvarsdjup skär genom området i höjd med borrhål KFM02A, se figur 2-15. Såväl den nordvästra som den sydöstra delen bedöms ha berggrund som motiverar fortsatta undersökningar. Den skillnad som ändå noterats är en högre frekvens av flacka, vattengenomsläppliga sprickzoner i den sydöstra delen. De tekniska och miljömässiga fördelarna med ett läge i nordväst är uppenbara genom närheten till befintliga industrianläggningar, vägar etc.



Figur 2-15. Den tolkade, dominerande sprickzonen A2 bedöms ur förvarssynpunkt dela kandidatområdet i en nordvästlig respektive sydostlig del. Undersökningarna fokuseras till den nordvästra delen.

De layoutstudier och bakomliggande undersökningsresultat som refererats i avsnitt 2.3 visar att ett djupförvar med stor sannolikhet kan inrymmas inom den nordvästra delen. Mot denna bakgrund väljer SKB den nordvästra delen av kandidatområdet som prioriterad plats.

Strategin att fokusera mot den nordvästra delen av den tektoniska linsen har fördelar, men är också förknippad med risker. Till fördelarna hör goda möjligheter att nå platsundersökningens mål med rimliga insatser och inom gällande tidsram. Den givna risken är att egenskaperna hos den relativt begränsade bergvolym som undersöks inte motsvarar förväntningarna. Skulle det inträffa krävs en modifierad strategi, med konsekvenser för bland annat tidsplan och resursbehov.

2) Bestäm, för den prioriterade platsen, de geologiska gränserna för tillgänglig bergvolym på förvarsdjup.

Den tektoniska linsens avgränsningar i den nordvästra delen är idag bara delvis kända (jämför tabell 2-1). Det kvarstår viktiga frågetecken relaterade till bl a den veckomböjning som identifierats genom ytkartering i denna del av området, liksom litologiska och tektoniska gränser mot nordväst, norr och nordost. Det finns därför anledning att fortsätta den kartläggning av gränserna för den ur djupförvarssynpunkt lämpliga bergvolymen som inletts med de borrhningar som gjorts eller pågår. Borrhning inifrån linsen med lutande borrhål ut mot dess ränder är här den viktigaste metoden. Geofysiska markmätningar (reflektionsseismik) kan också bidra, liksom data från undersökningar som utfördes i samband med byggandet av kärnkraftverket och SFR. En annan fråga som påverkar den tillgängliga volymen är läge och egenskaper på den flacka sprickzon (A2) som begränsar den prioriterade platsen mot sydost. Ytterligare borrhning krävs för att precisera detta.

3) Karaktärisera tillgänglig bergvolym till den omfattning och detaljningsnivå som krävs.

Huvuduppgifter när det gäller att karaktärisera berget på den prioriterade platsen är att klargöra egenskaper och betydelse av hittills tolkade sprickzoner på förvarsnivå, samt eventuell förekomst och betydelse av ytterligare, ännu okända, zoner. Detta inkluderar kunskap om de geologiska motsvarigheterna av tolkade lineament och deras eventuella betydelse på förvarsdjup. Hammar- och kärnborrhning i kombination med ytbaserade undersökningar (seismik, grävning) är de viktigaste metoderna. Andra huvuduppgifter är fortsatt karaktärisering av bergspänningsförhållanden och grundvattenkemi på djupet, av hydrauliska samband i horisontal- och vertikalled, samt mätningar av naturligt grundvattenflöde och spår försök.

Om borrhningarna påvisar tillräckliga volymer bra berg på den prioriterade platsen kommer utformningen av nedfarter och djupförvarets centralområde att drivas vidare, med nuvarande, preliminära placering av centralområdet som utgångspunkt. Borrhningar krävs för att få det erforderliga ingenjörsgelogiska underlaget i form av bergspänningar, bergkvalitet och grundvattenförhållanden i lägen för nedfarter och centralområde. Även utformningen av djupförvarets markförlagda anläggningar kommer att kräva vissa undersökningar (grundläggningsförhållanden).

4) Karaktärisera den prioriterade platsens hydrauliska randområden.

De hydrauliska och hydrogeokemiska modeller av platsen som upprättas som underlag för säkerhetsanalysen kräver randvillkor i form av hydrauliska egenskaper för begränsande strukturer. En fundamental fråga är huruvida de vattenförande zoner som korsar

den tektoniska linsen mer eller mindre ”på tvären” upphör mot de dominerande deformationszoner som begränsar linsen längs dess långsidor, det vill säga Singöförkastningen i nordost respektive Forsmarks- och Eckarfjärdzonerna i sydväst. Så bedöms preliminärt vara fallet, men man kan också tänka sig att de tvärgående zonerna övertvåras de längsgående, åtminstone i hydraulisk mening. Ett speciellt borrnings- och undersökningsprogram krävs för att belysa denna fråga.

Inga borrhningar planeras på längre avstånd från den prioriterade platsen. Data om geohydrologiska och hydrokemiska förhållandena på andra platser i regionen finns tillgängliga från typområdesundersökningarna i Finnsjön, cirka 15 km västerut från kandidatområdet i Forsmark /Ahlbom et al. 1992/. Geologisk information finns dessutom från ett drygt 400 meter djupt kärnborrhål borrhål cirka 3 km väster om Forsmarksverket. Mot bakgrund av regionens generellt flacka topografi, och den dominerande roll som de nämnda hydrauliska ränderna bedöms ha, är det svårt att se vad ytterligare undersökningar i regional skala skulle tillföra från en hydrogeologisk eller hydrogeokemisk synpunkt.

2.4.5 Program

De fyra punkterna ovan speglar strategin med utgångspunkt från det databehov som redovisas i avsnitt 2.3.2. Detta måste kombineras med en utförandesekvens som tillgodoser kraven på samverkan mellan de olika delprojekten och som dessutom är lämpligt ur genomförandesynpunkt. Figur 2-16 visar huvuddragen i den årsvisa arbetsplan som utarbetats. Startpunkten är den samlade redovisning av resultat som gjordes sommaren 2004 (datafrys 1.2) och motsvarande preliminära platsbeskrivning som tas fram för närvarande. Milstolparna för återstoden är ytterligare tre datafrysar, med följande huvudsyften:

- Datafrys 2.1, augusti 2005: Huvudsyftet är **avstämning av undersökningsprogrammet**, i ett skede när det fortfarande finns stor flexibilitet att anpassa programmet till erhållna resultat. Analyser, modellering och redovisning kommer att anpassas till detta syfte.
- Datafrys 2.2, maj 2006: Huvudsyftet är **underlag för anläggningsutformning**. Vid denna tidpunkt finns enligt planen alla data som primärt kan påverka den anläggningsutformning som tas fram under platsundersökningsskedet. Analyser, modellering och redovisning kommer att anpassas till detta syfte.
- Datafrys 2.3, mars 2007: Avser **slutredovisning av data från platsundersökningen**, som underlag för motsvarande, heltäckande platsbeskrivning och säkerhetsanalys SR-Site.

Som framgår av figur 2-16 slutförs all planerad kärnborrhning på den prioriterade platsen under 2005. Därmed finns data för, i tur och ordning, datafrys 2.1 och 2.2. Vad som då kommer att saknas från den prioriterade platsen är data från de undersökningar som kräver ostörda förhållanden. Dessa kommer att göras under 2006. Resultaten har huvudsakligen betydelse för säkerhetsanalysen.

Under 2006 ligger fokus på karaktäriseringen av platsens hydrauliska randområden, med bäring på datafrys 2.3. Då görs även de nämnda testerna under ostörda förhållanden på den prioriterade platsen, liksom eventuella kompletteringar föranledda av återkoppling från framförallt datafrys 2.1.

Figur 2-17 visar en översiktlig tidsplan för Djupförvarsprojektet med delprojekt och milstolpar för platsundersökningen i Forsmark.

2004	2005	2006	2007	2008
Fokusera på prioriterad plats		Fokusera på hydrauliska randområden	Slutför platsundersökningen till halvårsskiftet	Vänteläge
Avsluta karaktäriseringen på ytan	Slutför all borrhning inom den prioriterade platsen	Slutför all borrhning i hydrauliska randområden	Avsluta alla fältundersökningar	Övervakning, monitorering
	Datafrys 2.1 Data för avstämning av undersökningsprogrammet	Datafrys 2.2 Data för anläggningsutformning	Datafrys 2.3 Alla data från platsundersökningen	
		Eventuella kompletterande undersökningar		Platsval, ansökan

Figur 2-16. Årsvis arbetsplan för platsundersökningen i Forsmark.

	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Undersökningar	[Green bar spanning 2005-2008]					
Datafrysar & platsmodeller	2.1	2.2	2.3			
Projektering	[Blue bar spanning 2005-2007]					
Säkerhetsanalyser	SR-Can		SR-Site			
Systemanalyser	systemanalys INKA		systemanalys djupförvar			
Miljöutredningar och konsekvensbedömningar	[Green bar spanning 2005-2007]					
Samråd och miljökonsekvensbeskrivning	[Purple bar spanning 2005-2007]					
Ansökan enligt miljöbalken och kärntekniklagen				[Purple bar spanning 2008-2009]		
Tillståndsprövning					[Green bar spanning 2009-2010]	

Figur 2-17. Översiktlig tidsplan för djupförvarsprojektet och platsundersökningen i Forsmark.

2.4.6 Borrhning

Kärnborrning

Med utgångspunkt i den valda strategin har ett borrhprogram utarbetats. Programmet är väl preciserat för de första kärnborrhålen, därefter med nödvändighet preliminärt. Det omfattar djupa (700–1 000 m), medeldjupa (200–700 m) och korta (100–200 m) kärnborrhål. Kartan i figur 2-18 illustrerar programmet med markeringar på en förenklad geologisk karta. Även befintliga kärnborrhål har markerats. Två av de hål som markerats

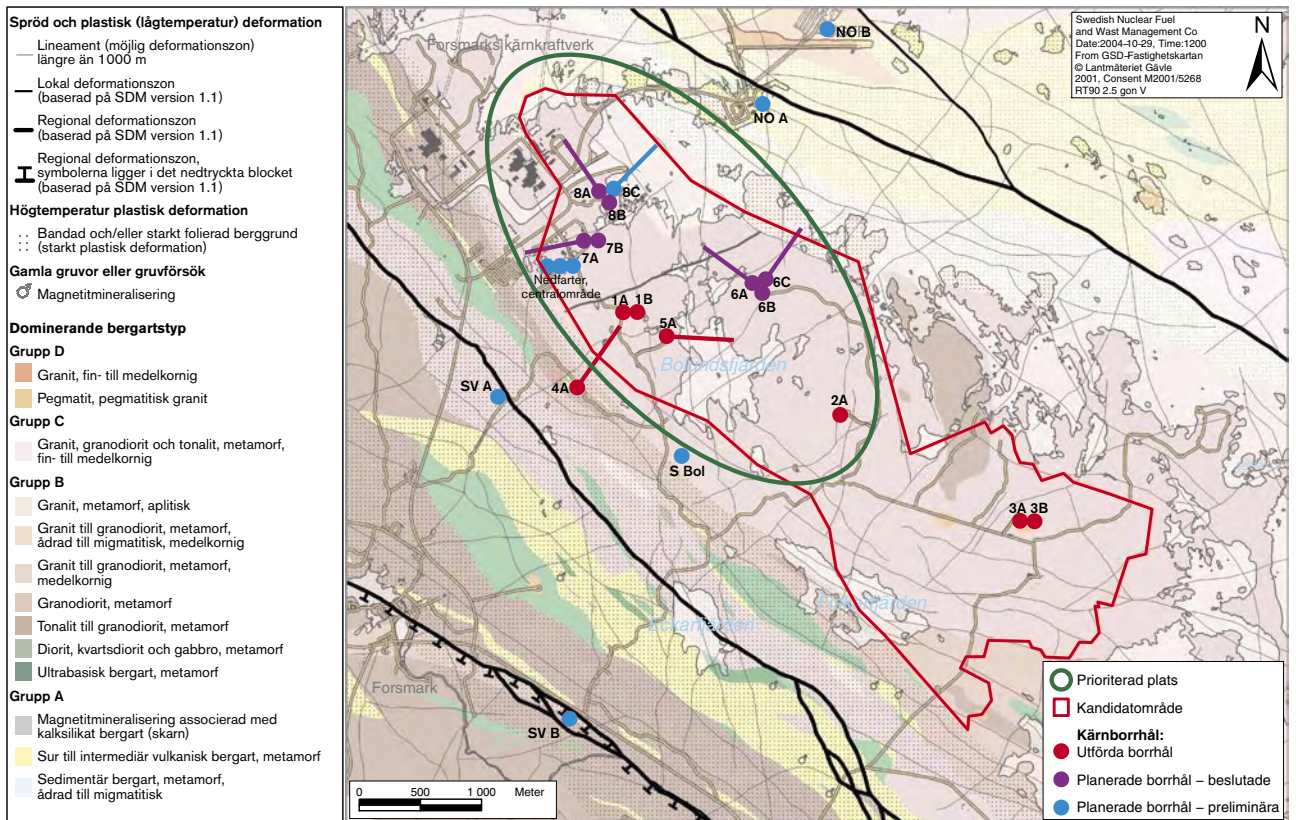
som planerade (KFM06A och KFM06B) borrar för närvarande. Tabell 2-2 beskriver de planerade insatserna närmare och relaterar dessa till nämnda syften. Programmet kommer att sysselsätta två tunga kärnbormaskiner, i stället för som hittills en.

Exakt vilka håldjup som väljs styrs i många fall av resultaten ”längs vägen”. De flesta kärnborrhålen planeras dock få en borrhålslängd av mellan 700 m och 1 000 m enligt tabell 2-2. På samma sätt som hittills behövs också ett antal korta hål för att kompensera bortfallet av kärna i den översta delen av de hål som utförs med så kallad teleskopteknik. Utförandet av olika typer av borrhål redovisas i avsnitt 3.8.

Flertalet av de planerade borrhålen dokumenteras och undersöks med geologiska, geofysiska och hydrogeologiska metoder på ungefär samma sätt som hittills. Förenklade förfaranden kan bli aktuella i första hand för hål som borrar med ingenjörsgelogiska motiv. Grundvattenkemisk provtagning på djupet kommer att ges särskild prioritet för att kompensera den nuvarande bristen på data för grundvattenkemisk karaktärisering av platsen. Detta påverkar i sin tur hur borrhålen konstrueras och vilka hydrogeologiska mätningar som görs. Även bergmekaniska undersökningar, särskilt bergspänningsmätningar, kommer att ges stort utrymme mot bakgrund av att spänningsförhållandena identifierats som en delvis kvarstående, platsspecifik nyckelfråga.

Hammarborrning

Hammarborrhål når maximalt cirka 300 meters djup och ger ingen kärna, men går mycket snabbare att utföra och är avsevärt billigare än kärnborrhålen. De är lämpliga bland annat för att för undersöka betydelsen av tolkade lineament och för att undersöka ytnära, flacka



Figur 2-18. Befintliga kärnborrhål samt planerad kärnborrning under återstoden av platsundersökningen, se tabell 2-2 för förklaringar.

sprickzoner. Preliminärt beräknas 10–15 hammarborrhål behövas, med koncentration till den prioriterade platsen och de hydrauliska ränderna. De flesta kommer sannolikt att borras för att undersöka betydelsen av tolkade lineament. På samma sätt som hittills används också hammarborrhål som brunnar för spolvatten till kärnborrningen. Var hammarborrhålen ska placeras är inte bestämt. Förutom återkoppling från analyser och platsbeskrivning version 1.2 kommer data från pågående seismiska mätningar att bidra med viktigt underlag för borrhålens placering.

Tabell 2-2. Program för återstående kärnborrning i Forsmark.

Benämning (se figur 2-18)	Planerad insats
Komplettera kartläggningen av den prioriterade platsens geologiska gränser och egenskaper	
7A	En borrhålsplats (BP 7) etableras vid bostadsområdet. Ett djupt borrhål (7A) planeras i västlig riktning, mot den tolkade geologiska gränsen i denna del av området. Hålet utformas för fullständig kemikaraktärisering.
8A, 8B, 8C	Ytterligare en borrhålsplats (BP 8) etableras vid inloppet till intagskanalen. Ett djupt hål (8A) borras i nordvästlig riktning med huvudsyfte att kartlägga den veckomböjning som finns i detta område, därtill ett kompletterande kort hål (8B). Ytterligare ett djupt hål planeras (8C), preliminärt i nordöstlig riktning för att karaktärisera bergvolym, undersöka lineament och eventuellt bestämma geologisk gräns mot nordost. 8A och 8C utformas för fullständig kemikaraktärisering.
6C	På befintliga borrhålsplats 6 färdigställs ett djupt hål i nordvästlig riktning (6A) samt ett kompletterande kort hål (6B). Ytterligare ett djupt hål planeras (6C), i nordöstlig riktning och med samma motiv som 8C. 6A och 6C utformas för fullständig kemikaraktärisering.
S Bol	Informationen om geologin på djupet i det södra "hörnet" av den prioriterade platsen är ofullständig. Bland annat behöver kunskapen om den större flacka sprickzon (A2) som åtskiljer kandidatområdet delar förbättras. En ny borrhålsplats med ett djupt borrhål (S Bol) planeras därför i området söder om Bolundsfjärden. Läget är ännu inte bestämt, känsliga naturskyddsintressen måste beaktas. Preliminärt antas bergspänningsmätningar med överborrning genomföras i detta hål.
Ta fram underlag för placering/utformning av nedfarter och centralområde	
7B	Det djupa borrhålet 7A kommer att gå igenom den bergvolym som preliminärt prioriteras för ett eventuellt djupförvars centralområde. Därefter planeras ett medeldjupt, vertikalt hål (7B). Huvudmotivet är bergspänningsmätningar och annan ingenjörsgelogisk karaktärisering.
Nedfarter	I ett senare skede krävs ytterligare borrhålsborrning som underlag för mera preciserad utformning av nedfarter och centralområde. Preliminärt planeras två eller tre medeldjupa hål (max 500 m). Lägen och riktningar bestäms utifrån det underlag och den kunskap om bergförhållanden och skisserade anläggningar som finns tillgänglig vid varje tidpunkt. Ytterligare hål från borrhålsplats 7 är en möjlighet, men troligen krävs en borrhålsplats till inom industriområdet. Mätprogram för hålen styrs av projekterings behov.
Karaktärisera den prioriterade platsens hydrauliska randområden	
NO A, NO B	Singöförkastningen bedöms utgöra den prioriterade platsens randområde mot nordost. Detaljplanering av borrhålsborrning för att karaktärisera Singöförkastningen återstår. Preliminärt planeras två medeldjupa hål (NO A, NO B), från platser i anslutning till SFR-området. Ett av dessa kan borras från SFR-förvaret förutsatt att det inte påverkar driften av SFR och att tillstånd kan erhållas. Båda borrhålen utformas för fullständig kemikaraktärisering, möjlighet finns även för bergspänningsmätning med överborrning i hålet under SFR-förvaret.
SV A, SV B	För undersökning av randområdet mot sydväst finns två alternativ: Eckarfjärdszonen från en plats väster om borrhålsplats 4, eller Forsmarkszonen från en plats nära väg 76 öster om Forsmarks Bruk. På någon av dessa platser planeras preliminärt två medeldjupa hål. En annan möjlighet, som illustreras i figur 2-18, är ett hål i anslutning till vardera zonen (SV A respektive SV B). Innan undersökningsstrategin fastslås kommer resultat från reflektionsseismik och hammarborrning att beaktas. Båda borrhålen utformas för fullständig kemikaraktärisering.

3 Undersökningar

Utifrån den strategi och det borrprogram som redovisas i kapitel 2 har ett program för fortsätta undersökningar av geosfär och biosfär i Forsmark tagits fram. Programmet redovisas ämnesvis även om undersökningarna i praktiken ofta genomförs i samverkan mellan flera ämnesområden. För varje ämnesområde redovisas först syfte och mål för undersökningarna, därefter viktiga resultat från genomförda undersökningar samt frågor som återstår att besvara. Sist presenteras undersökningsprogrammet för återstoden av platsundersökningen. Programmet ska ses som en bästa bedömning utifrån den kunskap SKB har idag. Allteftersom programmet genomförs tillkommer ny kunskap som kan motivera ändringar i undersökningsprogrammet.

3.1 Ytnära ekosystem

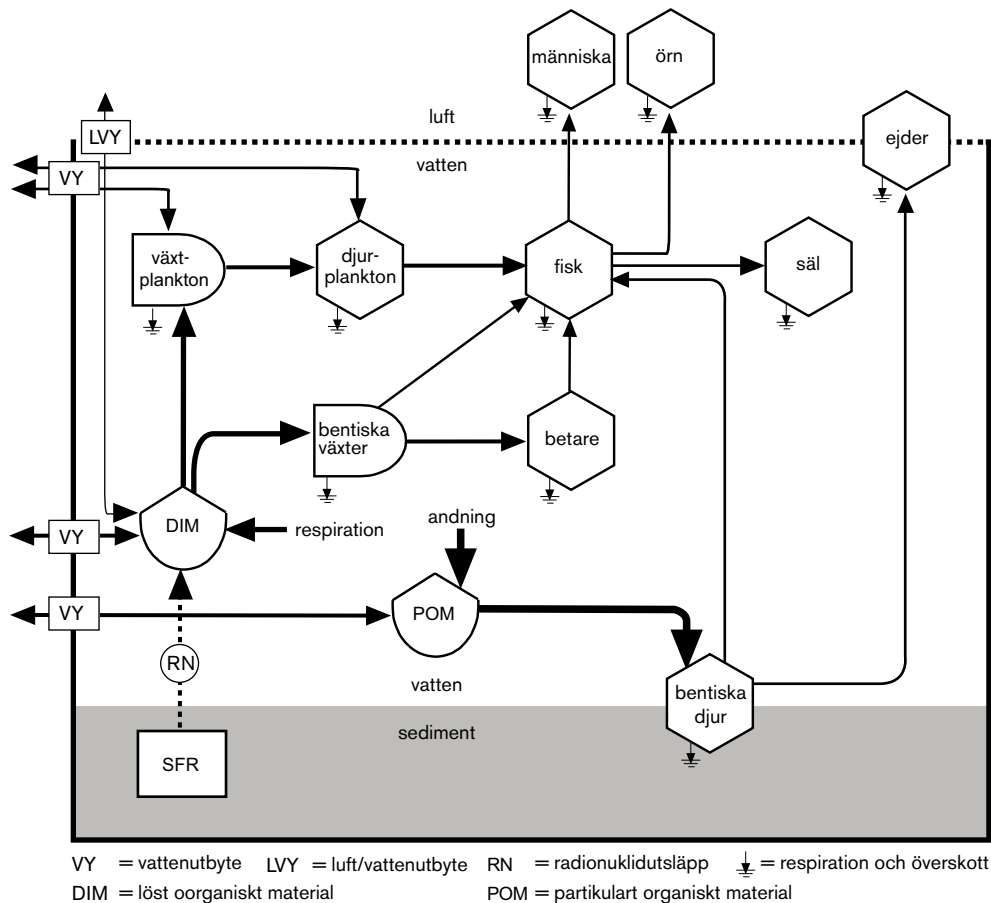
3.1.1 Syfte och mål

De ytekologiska undersökningarna har flera avnämare och syften. För att påverkan av platsundersökningen ska kunna beskrivas och eventuella effekter minimeras behövs kunskap om var känsliga arter och biotoper finns. Denna kunskap, tillsammans med uppgifter om pågående och planerad markanvändning samt skyddade och värdefulla områden, behövs också för miljöutredningar och bedömning av konsekvenser för miljö och hälsa vid byggande och drift av djupförvaret. För säkerhetsanalysen behövs betydligt mer ingående information om de olika ekosystemens uppbyggnad och funktioner. Vilka frågeställningar och parametrar som är särskilt viktiga skiljer sig åt mellan avnämarna. Enligt de beräkningar som redovisas i interimrapporten för säkerhetsanalysen SR-Can /SKB, 2004d/ är framför allt lågpunkter i terrängen (dvs våtmarker, sjöar, havet) av stort intresse. Sådana områden kan utgöra utströmningsområden, det vill säga de är potentiella utsläppspunkter för radionuklider. För miljöutredningar och bedömning av konsekvenser för miljö och hälsa, till exempel för att bedöma effekter av ökad trafik, kan man behöva studera ett större regionalt område. Intresseområdenas storlek varierar också beroende på vad man studerar, exempelvis olika djurarter. För arter som rör sig över relativt små områden (smågnagare m fl) blir fokusområdet relativt begränsat medan avgränsningen för de arter som rör sig över större områden (älg m fl) blir annorlunda.

Data från platsundersökningen kommer att användas som indata i de systemekologiska modellerna som kommer att ligga till grund för säkerhetsanalysen. Systemekologiska modeller behöver data i form av mängd biomassa och utbredning av de dominerande funktionella grupperna (växtätare, rovdjur, filterare, nedbrytare) i varje ekosystemtyp. Flödet mellan de funktionella grupperna via processer som produktion, konsumtion och nedbrytning måste också beskrivas. Likaså behöver modellerna data om icke-levande material, exempelvis jordarter, samt flöden av vatten och materia. Figur 3-1 visar ett exempel på en systemekologisk modell.

3.1.2 Viktiga resultat från genomförda undersökningar

Under den inledande etappen av platsundersökningen koncentrerades undersökningarna till att ta fram underlag till kartor och rumsliga modeller över ekosystemen i, framför allt, det regionala modellområdet. En stor del av kartläggningen av ekosystemen är nu



Figur 3-1. Exempel på systemekologisk modell: kolbudget och flöden i ett område i Öregrundsgrepen /Kumblad, 2004/.

genomförd. Alla undersökningar och deras resultat redovisas i rapporter, i första hand i SKB:s P-rapportserie.

Kartläggning har genomförts inom följande områden:

- Flora och fauna på land:
 - Vegetationskarta /Boresjö Bronge och Wester, 2002/.
 - Dominerande växtarter samt deras biomassa /Abrahamsson, 2003; Fridriksson och Öhr, 2003/.
 - Mängden död ved /Andersson, 2004/.
 - Nyckelbiotoper.
 - Vilt /Cederlund et al. 2003, 2004/.
 - Smågnagare (sorkar och möss).
 - Fåglar /Green, 2003, 2004/.
 - Grod- och kräldjur /Andrén, 2004/.
- Ekosystem i vatten:
 - Avgränsning av avrinningsområden /Brunberg et al. 2004/.
 - Områdets sjöar och habitat i dessa /Brunberg et al. 2004/.
 - Kemiska och fysikaliska parametrar i ytvatten /Nilsson et al. 2003; Andersson et al. 2003/.

3.1.3 Viktiga frågor som återstår att besvara

Återstoden av platsundersökningen kommer främst att fokusera på processmätningar, det vill säga kvantifiering av de viktigaste ekosystemfunktionerna. Processmätningarna omfattar kartläggning av primärproduktion, konsumtion och nedbrytning som mäts genom respiration, transport av vatten eller andra ämnen, till exempel via växternas transpiration samt fastläggning av ämnen genom till exempel sedimentation. Kvantifiering av ekosystemens funktioner är lika viktigt som karaktäriseringen av de olika delkomponenterna biomassa och utbredning.

Av stor betydelse för förståelsen av hur det djupa respektive ytliga grundvattnet interagerar är funktionen i gränsområdet mellan biosfär och geosfär. Flera viktiga processer som styr vad som händer med radionuklider i denna zon återstår att kartlägga. Hit hör grundvattensytans fluktuationer liksom vattengenomsläppligheten och sorptionsegenskapernas variation med djupet.

En annan kunskapslucka som identifierats är hur våtmarkerna i Forsmarksområdet fungerar hydrologiskt. Dessa ekosystem kan komma att bli viktiga recipienter vid ett eventuellt läckage av radionuklider från djupförvaret. De kan också komma att påverkas av en eventuell grundvattensänkning.

3.1.4 Undersökningsprogram⁴

Kompletterande kartläggningar på land

Avlagringsprofiler

Under hösten 2004 genomförs inom ämnesområdet geologi grävningar för att definiera och karaktärisera lineament. Detta ger möjligheter även för andra ämnesområden att utföra undersökningar i de diken som grävs. Exempelvis har, inom ämnesområdet yt nära ekosystem, typiska jordmånens utsträckning, olika övergångar samt rot djup dokumenterats. För att karaktärisera jordmånens kemiskt har prover, som är representativa för de viktigaste jordtyperna i området, inhämtats.

Våtmarker

Våtmarker är troliga recipienter för radionuklider. Därför planeras kompletterande undersökningar, som troligen genomförs i kampanjform. Vad som behöver klargöras är vilka våtmarkstyper som finns i området och hur dessa bildats. Även våtmarkernas hydrologi (vattenomsättning) och hur elementflödet fungerar behöver undersökas.

Finrötter

Idag finns en omfattande rikstäckande datamängd som beskriver de grövre fraktionerna av trädrötter. Utifrån detta dataunderlag har matematiska verktyg utvecklats som kan kvantifiera innehållet av biomassa i de grövre rotfraktionerna. Motsvarande kunskap saknas till stora delar om finrötterna, det vill säga de mindre fraktionerna. Kunskap om finrötternas kvantitet och utbredning i jordprofilen är nödvändig om man ska kunna förstå och kvantifiera ämnens kretslopp och ackumulation i ekosystem. Dessa faktorer är betydelsefulla vid modellering och analys av radionuklidtransport.

⁴ Se även avsnitten 3.2 (kvartärgeologi), 3.5.4 (hydrologi) och 3.6 (hydrogeokemi).

Under 2005 planerar vi att, på samma platser som vi genomfört inventering och bestämning av växtbiomassa på land, genomföra studier av finrötternas biomassa och primärproduktion.

Vegetation

En mindre vegetationskartering kan komma att genomföras för att få aktuell kunskap om nuvarande förhållanden inför tillståndsgivning och övervakningsprogram.

Fauna

Under den inledande platsundersökningen kartlades förekomst och utbredning av de större djuren i området, däremot inte förekomsten av ryggradslösa djur. Ur naturvårdssynpunkt är det tillräckligt att kartlägga och följa de livsmiljöer som känsliga ryggradslösa djur, framförallt insekter, finns i. Detta har skett genom de inventeringar av biotoper och substrat, framför allt nyckelbiotopsinventeringen som Skogsvårdsstyrelsen utfört. Vilken slags data som ytterligare skulle behövas för att ta hänsyn till de olika ryggradslösa djurens funktion i ekosystemen (det vill säga hur stor betydelse de har i termer av flöden, pooler av materia etc) kommer att klargöras i samband med platsmodellen version 1.2.

Kompletterande kartläggningar i vatten

Flora och fauna

En stor del av vegetationen i vatten utgörs av vass. Den kvantitativa kunskapen om vass och den fauna som lever på och omkring vassen i modellområdet är inte tillfredsställande. Data är troligen av stor vikt vid platsmodellering och säkerhetsanalys, eftersom detta underlag behövs om man ska kunna förstå och kvantifiera ämnens kretslopp och ackumulation i aktuella ekosystem. En pilotstudie har genomförts i Oskarshamn under 2004. Omfattningen i Forsmarksområdet kommer att bestämmas utifrån resultaten från denna studie där sammanställning pågår. Fältarbetet planeras bli utfört under sommaren 2005.

Fisk

Data om fiskfaunan kan behöva kompletteras för att få aktuell kunskap om nuvarande förhållanden inför tillståndsgivning och övervakningsprogram. Man kan i så fall tänka sig att Fiskeriverket lägger till någon eller några punkter i de fiskeundersökningar som de genomför för Forsmarksverkets räkning. Detta planeras som en engångsinsats.

Oceanografiska mätningar

I dagsläget mäts strömhastighet och riktning samt konduktivitets- och temperaturprofiler på ett antal platser i Öregrundsgrepen. Mätserien ska pågå under ett år och kommer att användas för att kalibrera den oceanografiska modell som SKB nu tar fram som underlag till säkerhetsanalysen. Modellen bygger bl a på Forsmarksverkets mycket omfattande mätprogram med unikt långa mätserier. Modellen kan även komma att användas vid bedömningen av miljökonsekvenser på grund av utsläpp av dräneringsvatten från tunnlar och berggrum. I Kallrigafjärden sker ett relativt stort utflöde av sötvatten via de två åarna Forsmarksån och Olandsån. Om utströmning av grundvatten i denna del av undersökningsområdet skulle visa sig vara ett rimligt scenario, är det möjligt att man behöver förfinas den oceanografiska modellen så att utströmning till Kallrigafjärden beskrivs mer detaljerat. I så fall behövs kompletterande mätningar men behovet och omfattningen av dessa bestäms först när den pågående mätserien avslutats och utvärderats samt ytterligare modellberäkningar genomförts.

Gifter, radionuklider och spårämnen

Arbete pågår med att ta fram ett program för val av material samt provtagning och analys av gifter, radionuklider och spårämnen. Programmet beräknas vara klart under första halvåret 2005. Jord-, torv- och sedimentprover samt biologiskt material, bland annat fisk och smågnagare har sparats och finns tillgängligt för analys.

Processmätningar – produktions- och respirationsmätningar

Data från processmätningar tas i första hand fram för de systemekologiska modellerna som ska ligga till grund för säkerhetsanalysen.

Landmiljö

Under 2004 har produktion och respiration på land mätts i Oskarshamnsområdet. Sådana mätningar ska utföras även i Forsmark under 2005. Mätningarnas omfattning har inte fastslagits ännu. Förslaget är att produktions- och respirationsmätningar ska göras i biotoperna skog, öppen mark och våtmark på sammanlagt 8–10 platser. Mätningarna görs antingen en gång i månaden eller fyra gånger per år för att täcka in årstidsbundna variationer.

Mätningarna utförs med den utrustning som visas i figur 3-3. Den består av en glashuv från vilken det leder en slang till en mätare som registrerar koldioxidhalten. Mätning i solljus resulterar i summan av produktionen och respirationen i undersökningsytan. För att skilja dessa två processer åt görs också en mätning där en mörk huva sätts över glashuven. Resultaten som då erhålls representerar enbart respirationen och produktionsandelen kan räknas fram.



Figur 3-3. Mätning av terrester produktion och respiration.

För att få kunskap om vattenbalansen kommer ett mätsystem för uppskattning av evapotranspirationen att införskaffas och placeras på lämplig plats inom området. Utrustningen mäter vindstyrka, luftfuktighet och koldioxidhalt. Mätningarna görs på beståndsnivå. Ju högre mätarna placeras, desto större område täcks in. Evapotranspirationsdata används för beräkning av områdets vattenbalans, vilket är mycket viktigt både för den hydrogeologiska modellering som ingår i säkerhetsanalysen och för bedömning av miljöpåverkan. Dock skiljer sig antagligen de två avnämarnas noggrannhetskrav. Enligt planerna kommer SKB att under 2005 anskaffa och montera upp en mätare i Forsmark. Mätningar pågår där under ett år varefter utrustningen flyttas till och tas i bruk i Oskarshamn.

Vattenmiljö

Direkta produktions- och respirationsmätningar för växter och djur i sjöar och i havet ska göras på sammanlagt 6–8 platser i fyra olika biotoper (marin bental, marin pelagial, limnisk bental och limnisk pelagial). Mätningar görs fyra gånger per år för att täcka in variationer under året.

Undersökningsuppställningen kan ses i figur 3-4. Plexiglasburkar med ett hål som sätts igen med en kork ställs ned på botten i respektive habitat. Man mäter syre i respektive burk vid varje mätningstillfälle.

Utöver direkta processmätningar ska även mätningar göras där nettotillväxten bestäms, i likhet med vad som gjorts som pilotundersökning för blåstång (*Fucus vesiculosus*) i Oskarshamn under 2004. Ett antal blåstångplantor märktes (med hjälp av håltagare) innan tillväxtsäsongen startade, se figur 3-5. När växtsäsongen var över, togs plantorna upp och tillväxten mättes. I Forsmarksområdet är fintrådiga alger viktiga primärproducenter och deras årscykel ska därför kartläggas. Även andra arter kan bli aktuella men i dagsläget är val av arter och omfattningen av studien inte bestämd.



Figur 3-4. Undersökningsuppställning vid produktions- och respirationsuppskattning i vattenmiljöer.



Figur 3-5. Blåstångplanta som märkts i början av tillväxtsäsongen. Hålen sitter 3 cm från skottets topp. Den årliga tillväxten erhålls genom att skottets längd mäts på nytt efter tillväxtsäsongens slut.

3.2 Geologi

3.2.1 Syfte och mål

Syftet med de geologiska undersökningarna under den inledande fasen av platsundersökningen i Forsmark har varit dels att nå en konceptuell förståelse i regional skala av både den kristallina berggrunden och de kvartära avlagringarna inom undersökningsområdet, dels att få ett tillförlitligt underlag för en fokusering av undersökningarna. Arbetet har bedrivits efter två huvudlinjer: 1) detaljerad undersökning av bergarternas och jordlagrens utbredning på ytan och 2) karaktärisering av bergvolymen ner till cirka 1 000 m djup genom stickprovskontroller med hjälp av kärn- och hammarborrhål. Fem strategiskt placerade kärnborrhål (s k teleskopborrhål) till cirka 1 000 meters djup, ett kärnborrhål till cirka 500 meters djup och 19 hammarborrhål med djup till cirka 250 meter har borrats för att undersöka egenskaperna hos bergvolymen inom kandidatområdet samt dokumentera förekomsten av deformationszoner. Spröda deformationszoner är en nyckelfråga för platsbeskrivningen eftersom de kan leda grundvatten och ha avgörande betydelse för hur ett eventuellt djupförvar på platsen kan utformas.

De kvartära avlagringarna utgör en central del av gränsskiktet mellan geosfär och biosfär, det så kallade geosfär-biosfärinterfacet, och behandlas även inom ämnesprogrammet för ytnära ekosystem, se avsnitt 3.1. Genom de kvartära avlagringarna transporteras en stor del av det ytliga grundvattnet, och kunskapen om den tredimensionella utbredningen av de olika jordarterna är därför väsentlig för den ydrologiska modelleringen. Utbredningen och egenskaperna hos jordarterna har även stor betydelse för retentionstiden för radionuklider.

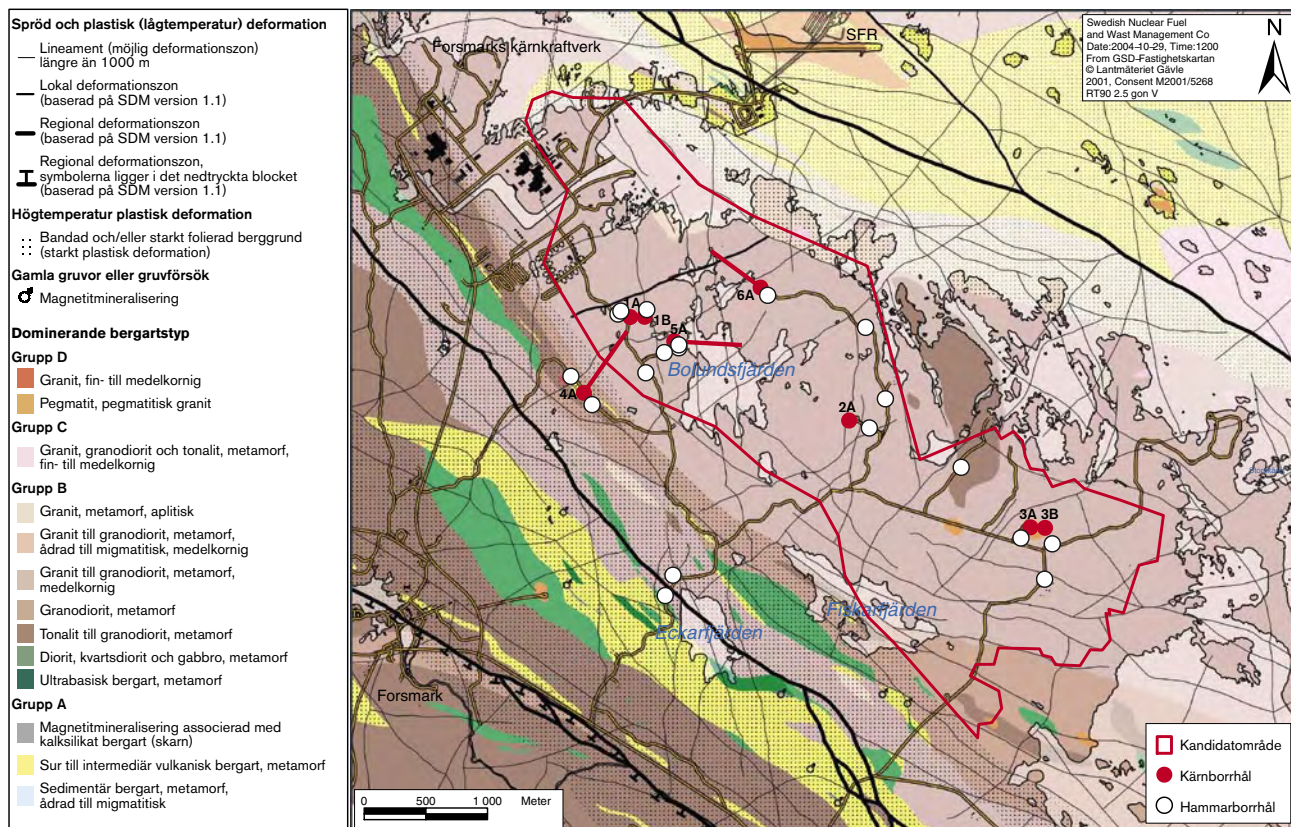
Alla geologiska data som har samlats in har analyserats eller befinner sig under analys. Analyserade och bearbetade data utgör underlag för de konceptuella platsbeskrivande modellerna. Modellversion 1.1 är färdigställd /SKB, 2004c/ och version 1.2 är under framställning. De geologiska platsmodellerna ligger till grund för bergmekanisk, hydrologisk, hydrogeologisk och hydrogeokemisk modellering, liksom för modellering av bergets transportegenskaper. Därmed utgör de geologiska platsmodellerna även fundamentet för analysen av den långsiktiga säkerheten och för utformningen av djupförvarets berganläggningar.

3.2.2 Viktiga resultat från genomförda undersökningar

Berggrundsgeologi

En berggrundskarta levererades i början av maj 2004, i god tid före datafrys 1.2, se figur 3-6. Kartan har sammanställts med hjälp av en stor mängd fältobservationer /Stephens et al. 2003a; Bergman et al. 2004/ jämte analysdata från prover som främst har insamlats under fältaktiviteterna. Vid sammanställningen har tolkningen av flygmätta geofysikdata integrerats med berggrundsgeologiska fältdata. Förutom att i detalj fastställa bergartsgränser har ett viktigt resultat varit att storskalig veckning har påvisats inom den tektoniska lins som utgör kandidatområdet, liksom förekomsten av kraftig plastisk deformation på båda sidor om denna lins.

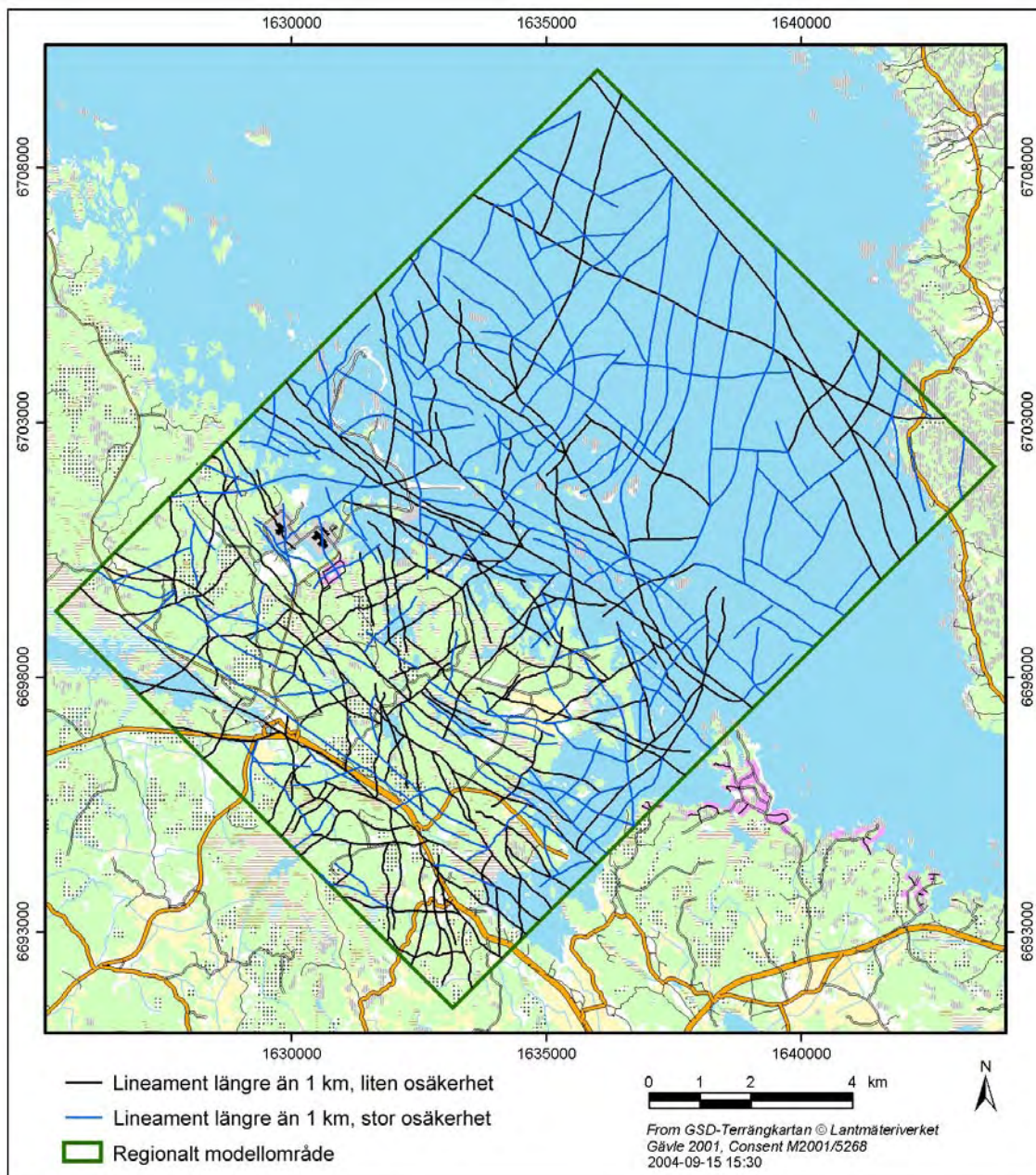
Det dataunderlag som beskriver de olika bergarternas egenskaper inom det karterade området härrör huvudsakligen från mineralogiska, geokemiska, petrofysiska och geokronologiska analyser /Stephens et al. 2003b; Isaksson et al. 2004a; Page et al. 2004/. Ett viktigt resultat är att alla intrusiva bergarter inom kandidatområdet har hög kvartshalt, vilket ger



Figur 3-6. Geologisk karta, version 1.2, över undersökningsområdet i Forsmark.

berget en hög värmeledningsförmåga. Den geokronologiska studien ger tydliga tidsavgränsningar för den geologiska utvecklingen i Forsmarksområdet. Data visar att avkyllningen av berggrunden till en temperatur under 300°C, skedde för cirka 1 630 till 1 700 miljoner år sedan. Resultaten från dateringar med $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ - och (U-Th)/He-teknik ger olika avkyllningsåldrar för olika block, vilket kan indikera den äldsta tidpunkten för rörelserna och den relativa rörelseriktningen längs deformationszonerna mellan blocken.

I ett integrerat arbete med ämnesområdet Geofysik har en tvådimensionell modell av lineamentförekomsten /Isaksson et al. 2004b/ i undersökningsområdet skapats genom att utnyttja flyggeofysiska, topografiska och batymetriska data samt resultat från äldre refraktionsseismiska mätningar, se figur 3-7.



Figur 3-7. Lineamentskarta över undersökningsområdet i Forsmark.

Detaljerad sprickkartering har utförts på fyra borrhåll: BP2, BP3, BP4, BP5 samt vid en kustlokal på Klubbudden. Platserna representerar tre olika bergdomäner. Alla borrhåll och hammarborrhåll har karterats i detalj med avseende på bergarter, omvandlingar och sprickor. Resultaten från sprickkarteringen, tillsammans med sprickdata från ytan, används för att bygga upp en spricknätverksmodell för hela bergvolymen (DFN-modell).

Geologisk enhållstolkning har utförts av varje enskilt kärnborrhåll /t ex Carlsten et al. 2004a/, med data från kärnkartering /t ex Petersson et al. 2003a/, geofysisk borrhållsloggning /t ex Nielsen och Ringgaard, 2004/ inklusive BIPS- (borrhållsvideo) och radarloggning /t ex Gustafsson och Gustafsson, 2004/ som underlag. Syftet med enhållstolkningen är att genom att integrera befintliga mätdata fastställa läget i djupled av litologiska huvudenheter och deformationszoner, se figur 3-8. Enhållstolkningarna bildar underlag för den tredimensionella modelleringen av bergdomäner och deformationszoner i undersökningsområdet.

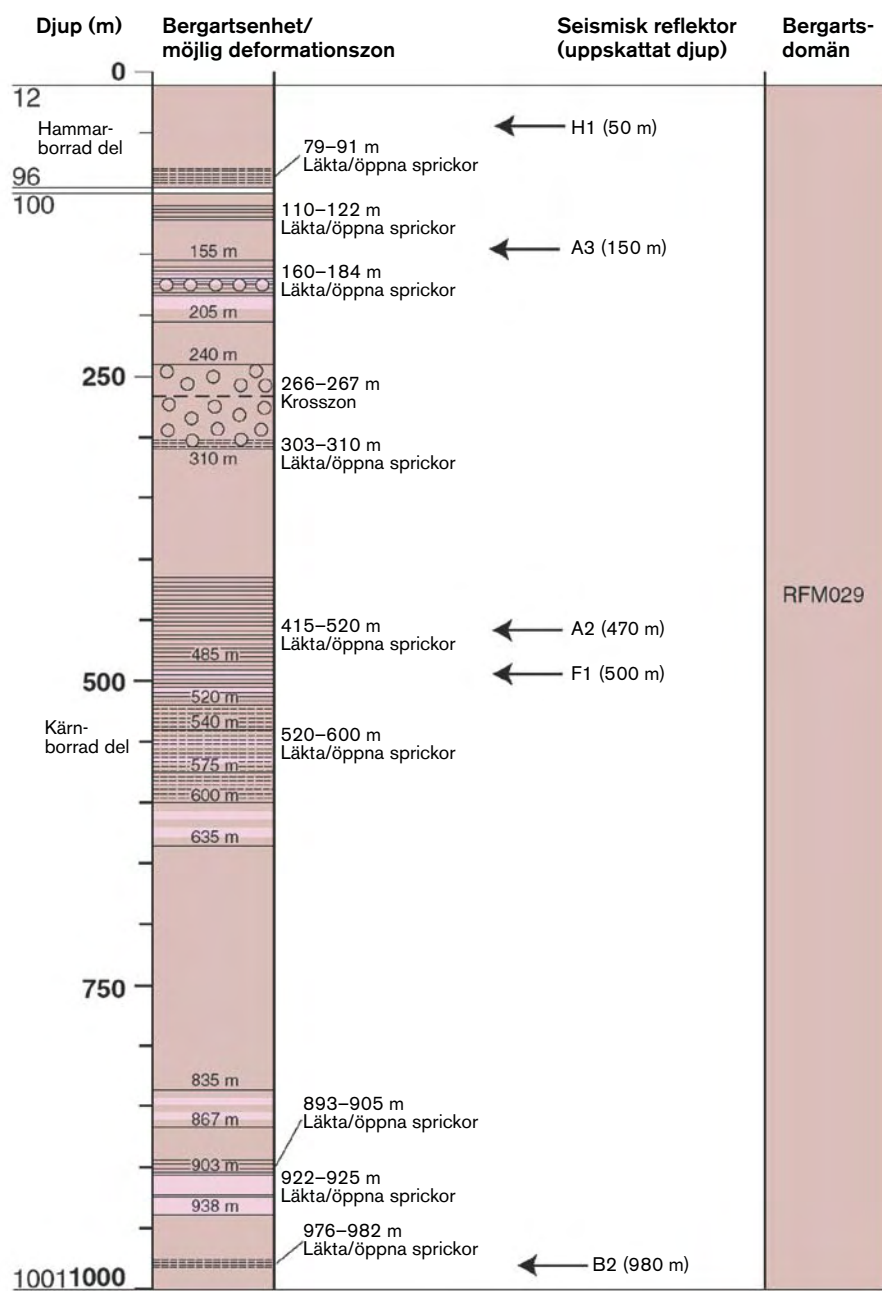
Borringarna har verifierat att berggrundens karaktär på 1 000 meters djup motsvarar det vi ser på ytan. De har också verifierat att många av de reflektorer som påvisades i kandidatområdet vid de tidigt utförda reflektionsseismiska mätningarna (se avsnitt 3.3) motsvaras av spröda deformationszoner. Dessa stupar (lutar) svagt åt sydost och är mest framträdande i borrhåll KFM03A i kandidatvolymens sydöstra del. Inom den nordvästra delen av bergvolymen minskar antalet reflektorer, vilket tolkas som att flackt liggande, spröda deformationszoner inte förekommer i samma utsträckning som i sydost. Däremot är sprickfrekvensen i de övre delarna (ner till ett maximum djup av cirka 300 m) relativt hög i de nordvästligt belägna kärnborrhållen KFM01A, KFM01B och KFM05A. Sprickorna är i huvudsak subhorisontella eller stupar flackt mot sydost, det vill säga uppvisar ungefär samma geometriska mönster som de spröda, flackt liggande deformationszonerna i områdets sydöstra del. En av dessa zoner (A2) har troligen sitt utgående i eller i närheten av de tre nämnda borrhållen.

Mineralogiska, geokemiska och petrofysiska data, liknande dem som erhöles från den geologiska ytundersökningen, finns för närvarande tillgängliga från de fyra kärnborrhållen KFM01A, KFM02A, KFM03A och KFM03B /Petersson et al. 2004/. Resultaten beträffande bergarternas egenskaper stämmer väl överens med data från ytundersökningen. Prover för geokronologiska undersökningar har tagits från ett av borrhållen och visar på yngre avkylningsålder med djupet. Vidare har en specialstudie på sprickmineral i borrhåll gjorts. Sex separata generationer av sprickmineral, bildade under olika tidsperioder och i samband med skilda geologiska händelser, har konstaterats.

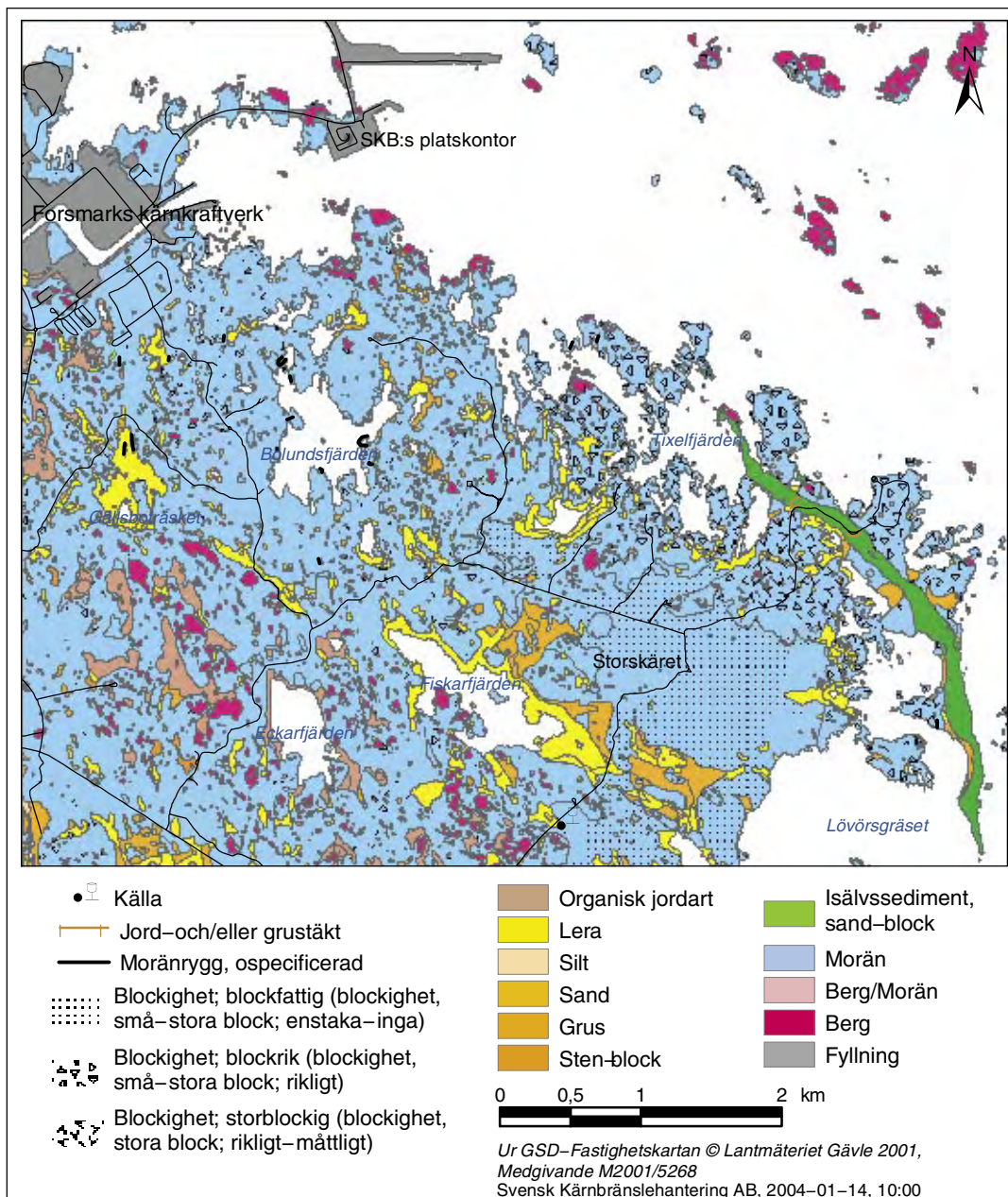
Kvartärgeologi

De kvartärgeologiska undersökningarna har inriktats på kartläggning av jordarternas utbredning på land och i sjöar. Karteringen har resulterat i en detaljerad jordartskarta som täcker den centrala delen av Forsmarks regionala modellområde /Sohlenius et al. 2004/, se figur 3-9. Den minsta ytan som kartlagts är så liten som 10×10 meter, varför kartan ger en detaljerad bild av den rumsliga fördelningen av olika jordarter. Morän är den dominerande jordarten i området och täcker cirka 75 % av ytan.

KFM02A



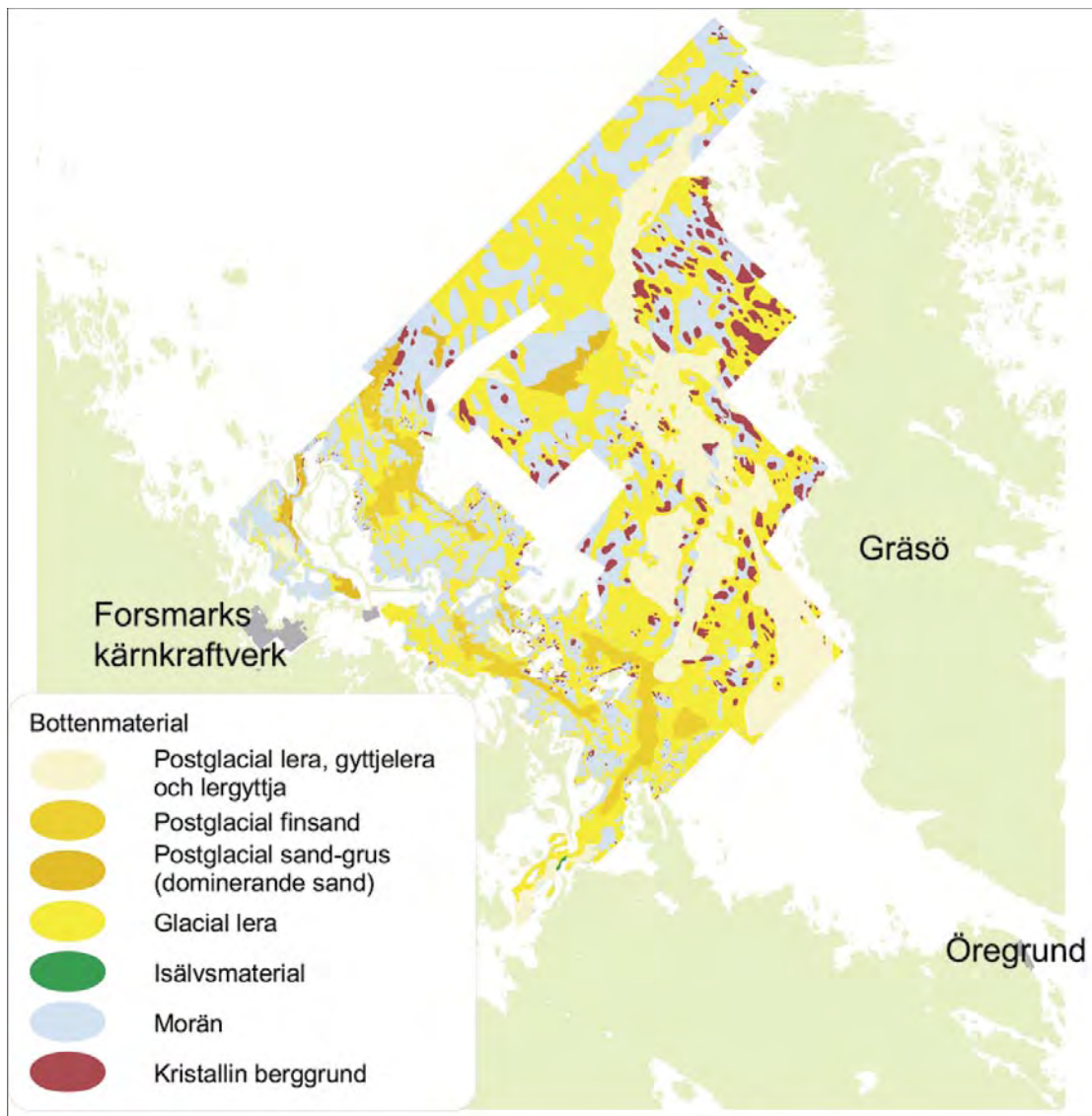
Figur 3-8. Exempel på enhålstolkning av borrhål.



Figur 3-9. Förenklad version av kvartärgeologiska kartan över undersökningsområdet i Forsmark. Morän, som är den vanligaste jordarten, markeras med blå färg.

Maringeologiska undersökningar har resulterat i en karta som visar jordarternas utbredning på havsbotten /Elhamre och Sandkvist, 2004/, se figur 3-10. Dessutom har en jordartsundersökning gjorts av Kallrigafjärdens botten /Bergkvist et al. 2003/. Vid en jämförelse mellan jordartskartorna syns det tydligt att havsbotten täcks av en betydligt större andel lera och sand än de områden som har höjt sig ur havet. Detta kan bero på att erosion äger rum på havsbotten och att sedimenten har transporterats och avsatts i lågpunkter.

Kemiska analyser har visat att moränen och den glaciala leran innehåller rikligt med kalciumkarbonat (CaCO_3) /t ex Hedenström et al. 2004/. Detta har sitt ursprung i paleozoisk kalksten, som bygger upp delar av havsbotten norr om undersökningsområdet, i Gävlebukten och vidare norrut. Den höga kalkhalten i marken är en viktig förutsättning för den speciella floran i området.



Figur 3-10. Maringeologisk karta för delar av botten mellan Gräsö och fastlandet baserad på de undersökningar som gjordes 2002.

Information om jordarternas utbredning på djupet har erhållits från olika typer av borrhningar (jordborring, hammarborringar och ryssborring i sediment och torv) samt från schaktgrävning /t ex Hedenström, 2003; 2004; Johansson, 2003; Fredriksson, 2004/. Den omfattande dokumentationen har resulterat i ett klarläggande av den komplexa areella utbredningen av olika moräntyper inom området och av de olika moränvarianternas sammansättning. I nordväst dominerar en sandig-siltig morän medan de sydöstra delarna, kring Storskäret, är täckta av lerig morän och moränlera. Resultaten har även visat att bergöverytan är betydligt mer kuperad än vad jordlagren på ytan antyder. Moränstratigrafiska studier med bland annat riktninganalyser har utförts i djupa grävda schakt /Sundh et al. 2004/. Dessa undersökningar har visat att moränens rumsliga utbredning även på djupet är komplex. Bland annat har en mycket hård lerig morän påträffats under en porös sandig morän på två platser.

Undersökningar av sjösediment har gett god kunskap om utbredningen av de vattenavsatta sedimenten och visar också att sedimenten i området har en enhetlig sammansättning /Hedenström, 2004/. Även två torvmarker har undersökts /Fredriksson, 2004/. Ett av resultaten är att de befintliga torvslagen är mycket unga och därmed har ringa mäktighet.

Mot bakgrund av nutida krav är ingen av de undersökta lokalerna lämplig för utvinning av bränsle.

Vidare har en specialstudie av polleninnehåll i glaciala sediment utförts, bland annat på material från de sedimentfyllda sprickor som påträffats vid borrhålsplats 5 /Robertsson, 2004/. Pollenspektrat indikerar att den ursprungliga avsättningen av den omlagrade pollenfloran troligen har ägt rum under Eem-interglacialen för cirka 120 000 år sedan. Det innebär att moränen har avsatts under något skede av den senaste nedisningen.

I en annan specialstudie har den kemiska sammansättningen i moränmaterial undersökts. Undersökningen har konfirmerat att sannolikheten för malmförekomster inom kandidatområdet är låg /Nilsson, 2003c/.

Slutligen har undersökningar av indikationer på eventuell postglacial tektonik pågått under två fältsäsonger och kommer att avslutas under 2004/2005. Hittills har inte några säkra spår av sena jordskalv påträffats, men störda sedimentlagerföljder har kunnat identifieras vid flera lokaler. Sen- eller postglacial förkastningstektonik kan ännu inte uteslutas /Lagerbäck et al. 2004/.

3.2.3 Viktiga frågor som återstår att besvara

Berggrundsgeologi

Huvudsyftet med det planerade borrhoprogrammet är att geologiskt definiera och karaktärisera bergvolymen på den prioriterade platsen samt omgivande hydrauliska randområden, se avsnitt 2.4 och 3.8. Därutöver har de undersökningar som gjorts väckt frågor som motiverar ett antal specialstudier.

Förståelsen för bildningen av de spröda deformationszonerna i Forsmark och deras rörelsemönster behöver förbättras, för att kunna utveckla geometriska modeller med högre konfians. Kinematisk analys av representativa spröda deformationszoner som verifierats både på ytan och på djupet i borrhål behöver därför göras. I detta sammanhang är det viktigt att studier av sprickmineral görs samordnat med den strukturella karaktäriseringen av sprickor, särskilt avseende olika sprickgruppers orientering.

Tolkade lineament behöver undersökas med avseende på deras representativitet som indikatorer på deformationszoner. Studier av kinematik och andra egenskaper kommer att utföras på valda deformationszoner. Under hösten 2004 planeras därför en lineamentsstudie där avsikten är att gräva schakt tvärs ett antal representativa och tydliga lineament för detaljerad undersökning av bergytan. Dessutom kommer en hammarborrningskampanj att utföras under hösten 2005. Troligen kommer då också fler schakt att grävas.

En kompletterande geokronologisk undersökning med $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ - och (U-Th)/He-teknik planeras med syftet att uppnå en bättre tidsmässig avgränsning av Forsmarks geologiska utveckling under de temperaturförhållanden då de spröda deformationszonerna bildades. Detta kommer att ge ett viktigt underlag för att fastställa tidsperspektivet för de äldsta rörelserna och den relativa rörelseriktningen längs deformationszonerna mellan blocken. I anslutning till studien av sprickmineraliseringar och deras relation till olika sprickgrupper planeras även en geokronologisk undersökning. Syftet är att fastställa den kronologiska serien av mineraltillväxten för olika sprickgrupper.

Kompletterande berggrundsgeologisk kartering i området sydost om Kallrigafjärden och i den nordvästra delen av Forsmarks tektoniska lins behövs för att bekräfta och öka förståelsen för geometrin hos den storskaliga veckningen i denna del av området. Denna studie är av betydelse för den tredimensionella modelleringen av bergdomänerna inom Forsmarksområdet.

Vidare planeras, om möjligt, en detaljerad sprickkartering att utföras i området nordväst om A2-reflektorns utgående. Anledningen till detta är att den sprickkartering som gjordes vid borrhållsplatserna 2, 3, 4 och 5 samt vid Klubbudden inte är representativ för den bergvolym där undersökningarna nu kommer att fokuseras. Detaljkarteringen kommer att ligga till grund för spricknätverksmodellen (DFN).

Data rörande utsträckningen av den porösa granit som påträffades i borrhål KFM02A kommer förmodligen att erhållas från de VSP-mätningar som planeras (se avsnitt 3.3). Möjligen kan resultatet medföra insatser som i dagsläget inte går att förutse.

Det finns slutligen ett behov av en specialstudie av den pretektoniska omvandling som har påverkat både graniten i nordvästra delen av kandidatvolymen och de finkorniga granitiska bergarterna i den angränsande bergdomänen i nordväst.

Kvartärgeologi⁵

Huvuddelen av det kvartärgeologiska arbetet inom platsundersökningen är utfört. Det som återstår är dels att komplettera geografiska luckor samt att inför modellering av de ytliga ekosystemen besvara vissa nyckelfrågor som har betydelse för ingångsdata och randvillkor.

Utbredningen av jordarter på botten av havsområden med vattendjup mindre än 3 m är ännu inte kartlagd, men en kartering planeras. Därmed fås en komplett jordartskarta som inkluderar både land och havsområden, och som kommer att utgöra ett viktigt underlag för modellering av det framtida landskapet.

Arbetet med att konstruera en första version av en tredimensionell jordlagermodell som återger både djupet till berg och de olika jordlagren har inletts. Resultatet kommer att utgöra ett viktigt underlag för den ythydrologiska modelleringen samt för modelleringen av spridningsvägar för radionuklider. Jordlagermodellen kommer att baseras på såväl data från borrhållsplatser och grävningar som på resultat från markradarmätningar, seismiska och andra geofysiska undersökningar. För att modellen ska fylla sitt syfte måste de olika lagren tilldelas egenskaper. Detta kräver analyser av parametrar hos jordarterna som är viktiga för deras transportegenskaper, till exempel mineralogisk sammansättning och katjonbyteskapacitet (CEC). Det återstår att i detalj planera vilka och hur många sådana analyser som ska genomföras.

En kunskapslucka som har identifierats är hur de många våtmarkerna i Forsmarksområdet är uppbyggda geologiskt, och hur de fungerar hydrologiskt. En viktig fråga är vilka egenskaper jordarterna i botten har, det vill säga om de är täta (lera) eller består av grovkornigt material. Detta kommer att undersökas i en brett upplagd kampanj som planeras tillsammans med andra berörda ämnesområden, bland annat ytekologi och ythydrologi (se avsnitt 3.1 respektive 3.5).

De centrala frågorna kring områdets postglaciala geologiska utveckling, på land och till havs, rör bland annat klimat- och vegetationsutveckling samt sedimentations- och erosionsförlopp. Detta kan studeras i sediment- och torvkärnor. För att beskriva det regionala områdets postglaciala vegetationsutveckling kan pollenanalyser av sjösediment och/eller torvprofiler utföras. Eftersom Forsmarksområdet inte har några torvmarker äldre än cirka 1 500 år kan två torvprofiler ifrån områden längre in i landet, men ändå så nära Forsmark som möjligt, studeras. Resultaten kan ge information om klimatvariationer och vegetationsutveckling under en längre tid.

⁵ Se även avsnitten 3.1 (yt nära ekosystem), 3.4.4 (hydrologi) och 3.6 (hydrogeokemi).

Även sedimentationshastigheter för de olika jordarterna kommer att studeras och de erosiva faserna i havs- och sjösediment samt torvsekvenser dateras. Den marina miljön kan studeras i en sedimentkärna som provtogs vid de maringeologiska undersökningarna under 2002. En nyckelfråga som då kan besvaras är huruvida Yoldiahavet var påverkat av brackvatten i Forsmarksområdet. Detta är viktig information för att sätta randvillkoren i den hydrogeologiska och hydrogeokemiska modelleringen.

Frågor om den glaciala transporten av bergartsmaterial (lång- respektive korttransporterat) och isens dynamik är viktiga för den konceptuella förståelsen av platsen. Kartering av bergarter i de stora blocken som påträffas nära Börstilåsen kan ge information om transportvägar. Även bergartsbestämning av grusfraktionen kan ge information om hur långt moränmaterialet transporterats.

3.2.4 Undersökningsprogram

Arbetet kommer främst att fokusera på insamling och bearbetning av data från de planerade borrhningarna. Borrhprogrammen för 2005 kommer huvudsakligen att koncentreras på undersökning av bergvolymen i den prioriterade nordvästra delen av kandidatområdet. Under 2006 kommer borrhning att ske mot de nordöstra respektive sydvästra begränsande randzonerna, se avsnitt 2.4.

Nedan sammanfattas de viktigaste planerade undersökningarna inom ämnesområdena berggrundsgeologi och kvartärgeologi.

Berggrundsgeologi

- Borrhålskarteringen (s k Boremapkartering där borrhkärnan karteras tillsammans med videobilder av borrhålsväggen (BIPS), alternativt för hammarborrhål – borrhkax och BIPS-bilder) utgör tillsammans med enhålstolkningen de mest tids- och resurskrävande aktiviteterna inom det berggrundsgeologiska programmet.
- Kinematisk analys av strukturer i representativa spröda deformationszoner, från borrhål och på ytan. Tillsammans med geokronologisk undersökning bidrar detta till den konceptuella modellen och förståelsen av den sprödtektoniska utvecklingen inom området.
- Lineamentstudier i grävda diken för att avgöra representativiteten av lineament såsom deformationszoner och om så är fallet genomföra studier av kinematik och egenskaper.
- Undersökning av storskaliga veckstrukturer i den tektoniska linsen i Forsmark (bergdomän 29). Syftet är att öka förståelsen av geometrin hos bergdomän 29.
- Detaljerad sprickkartering på berghäll i området nordväst om A2-reflektorns utgående. Syftet är att förbättra det statistiska underlaget för den tredimensionella platsmodellen.
- Studier av tidig omvandling i den nordvästra delen av graniten inom bergdomän 29. Syftet är att få förståelse bergartssammansättningens uppträdande och variation inom den kritiska delen av kandidatvolymen.

Kvartärgeologi

- Kompletterande kvartärgeologisk undersökning av havsbotten inom områden med vattendjup mindre än tre meter. Syftet med undersökningen är att få en komplett bild av jordarternas utbredning inom Forsmarksområdet.

- Kompletterande undersökningar av jorddjup och stratigrafi i Forsmarksområdet. I den platsbeskrivande modellen 1.2 presenteras en jordlagermodell som kan ge en uppfattning om var och hur mycket nya data som behövs.
- Analys av jordartsegenskaper som är viktiga för att modellering av transportegenskaper, till exempel mineralogisk sammansättning och katjonbyteskapacitet (CEC). Det finns i nuläget ingen plan för exakt vilka och hur många sådana analyser som bör genomföras.
- Undersökningar av utbredningen av, och egenskaperna hos, organiska sediment i och under våtmarker ingår i en kampanj som planeras i samråd med bland annat ytekologi och ythydrologi. Dateringar av insamlat material för att bestämma sedimentationshastigheter och även för att beskriva erosionsfaserna i Forsmarksområdet. Pollenanalyser av havs- och sjösediment samt torvsekvenser för att beskriva områdets postglaciala vegetationsutveckling och klimatvariationer.
- Biostratigrafiska analyser av marin sedimentkärna från Forsmark för att beskriva utvecklingshistorien sedan den senaste deglaciationen. En viktig fråga som kan besvaras är om Forsmarksområdet över huvud taget påverkats av brackvatten under Yoldiahavets fas.

Kartering av bergarter i de stora moränblocken för att få information om istransportvägar. Bergartsbestämning av grusfraktionen kan också ge information om hur långt moränmaterialet transporterats. Konceptuell förståelse av platsens kvartära utveckling.

3.3 Geofysik

3.3.1 Syfte och mål

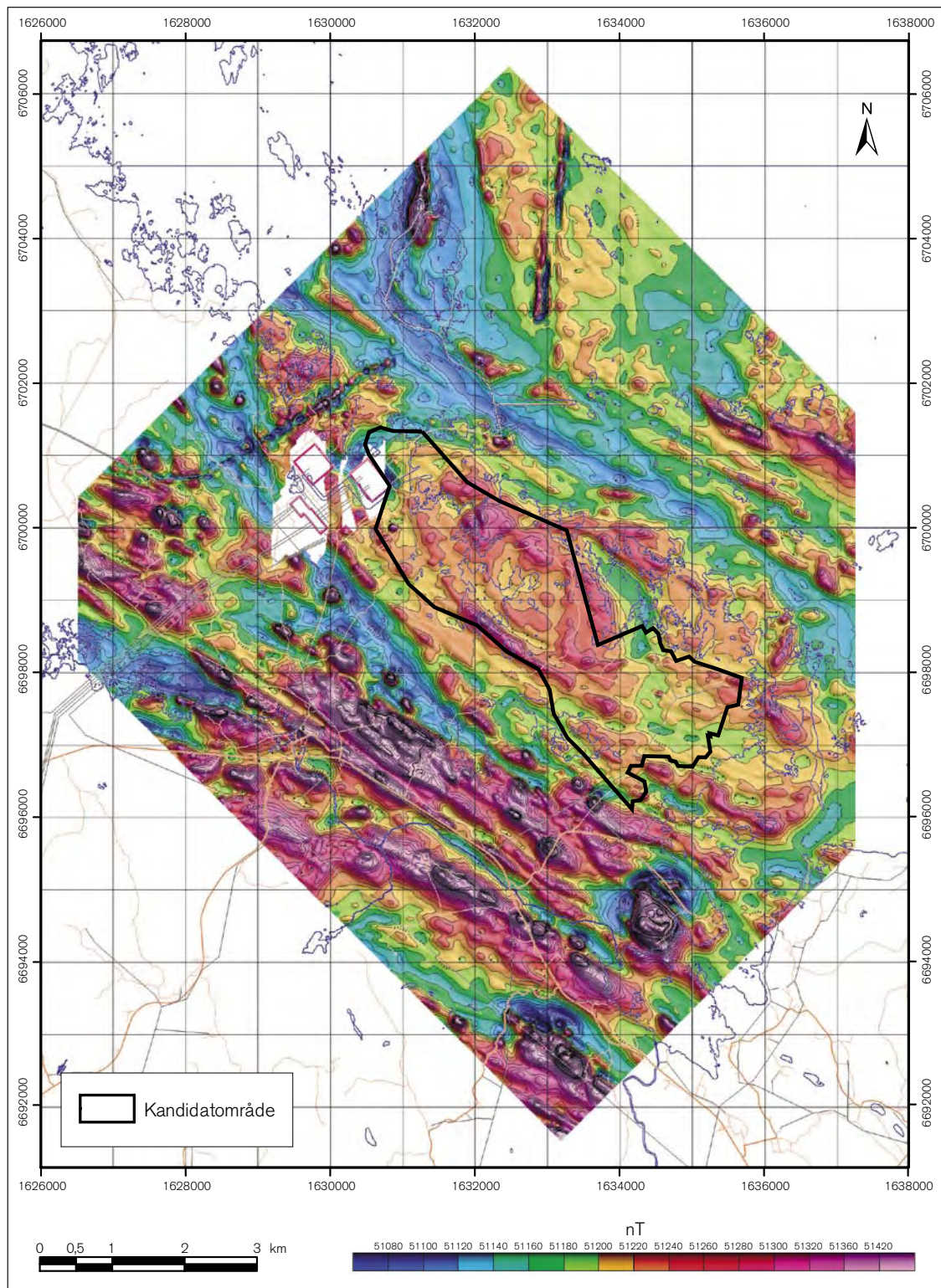
Geofysiken är en ”hjälpvetenskap” till berggrunds- och jordartsgeologin, varför syfte och mål med de geofysiska undersökningarna sammanfaller med geologins. I redovisningen av undersökningsmetoder inför platsundersökningen /SKB, 2001b/ beskrivs olika typer av ytgeofysiska och borrhålsgeofysiska metoder med avseende på utförande och potential. Ur platsundersökningens perspektiv är viktiga syften med de geofysiska undersökningarna att indikera fördelningen av sprickor och sprickzoner respektive av mellanliggande potentiellt lågsprickigt berg, att påvisa eventuella mineraliseringar, fastställa jorddjup, mäta salthaltsfördelning i borrhål, karaktärisera bergegenskaperna i den formation som omger borrhål samt att mäta borrhålsgeometriska egenskaper.

3.3.2 Viktiga resultat från genomförda undersökningar

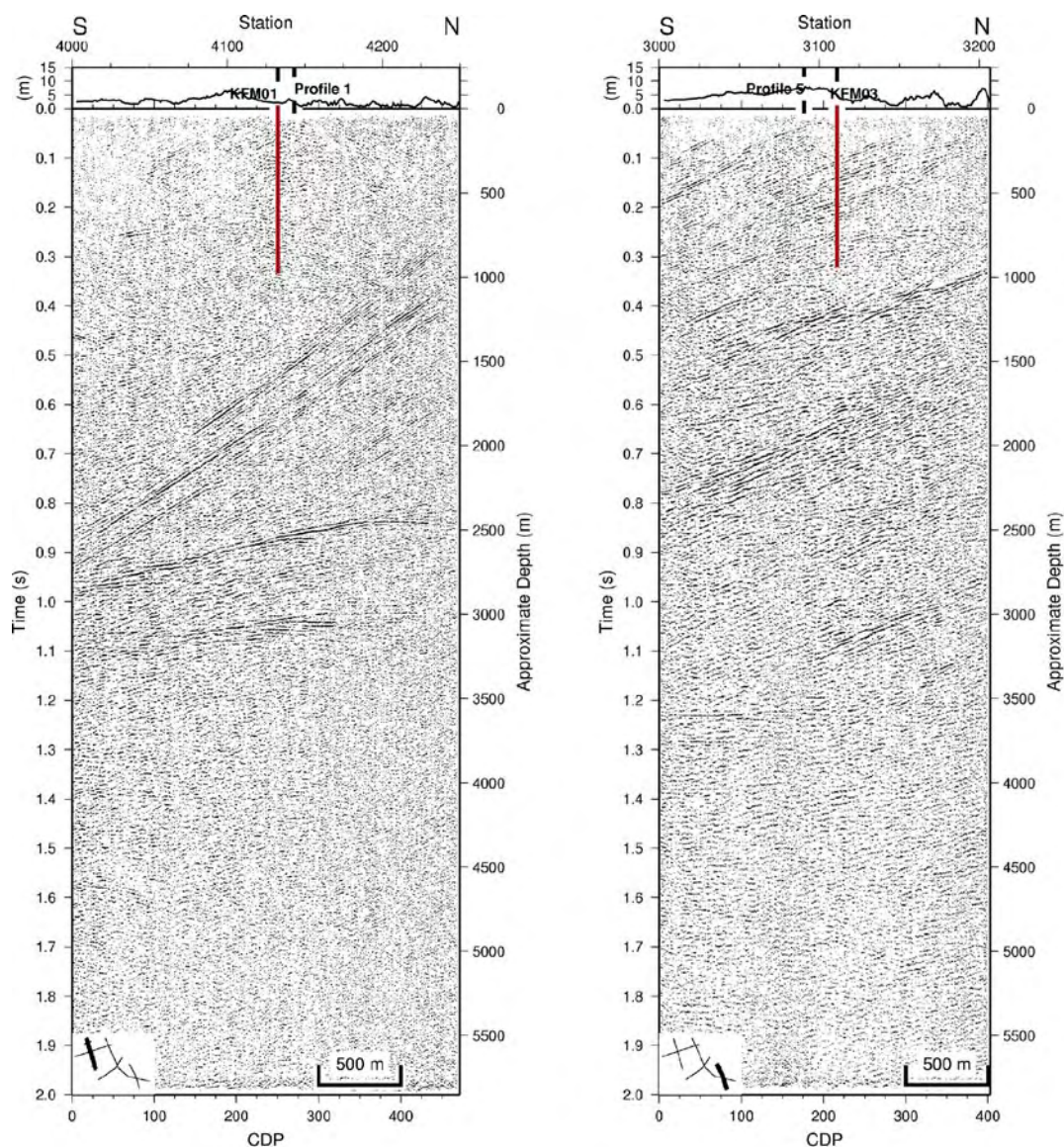
I platsundersökningens startskede utfördes tre omfattande och viktiga geofysiska undersökningar, vilkas resultat har legat till grund för den fortsatta platsundersökningen:

- Flyggeofysiska mätningar över kandidatområdet och ett omgivande regionalt område, sammanlagt cirka 100 km², se figur 3-11.
- Reflektionsseismiska undersökningar, cirka 16 profilkilometer i kandidatområdet, se figur 3-12.
- Maringeofysiska (och geologiska) undersökningar mellan Gräsö och fastlandet.

De flyggeofysiska mätningarna har gett viktigt underlag för de lineamentstolkningar som utförts, liksom för storskaliga bergartsbedömningar /Isaksson et al. 2004b/. Lineamentskartan har delvis styrt vilka bergvolymmer som har undersökts med borrhål. I figur 3-11 visas den karta över det magnetiska anomalifältet som blev ett resultat av de flyggeofysiska mätningarna.



Figur 3-11. Magnetisk anomalikarta över Forsmarksområdet från helikoptermätningar genomförda under 2002.



Figur 3-12. Reflektionsseismisk profil från den nordvästra delen av kandidatområdet med borrhål KFM01A, samt motsvarande profil från den sydöstra delen med borrhål KFM03A.

Med hjälp av de reflektionsseismiska undersökningarna har berggrunden kunnat ”genomlysas” ner till cirka 5 km djup /Juhlin et al. 2002/. Resultaten har indikerat flacka sprickzoner i kandidatområdets sydöstra del som sedan kunnat verifieras med borrhning. Reflektionsseismiken predikterade också det sprickfattiga berget i kandidatområdets nordvästra del, liksom mellan de flacka sprickzonerna i övriga delar av kandidatområdet. I figur 3-12 visas en reflektionsseismisk profil från den nordvästra delen av kandidatområdet samt en profil från den sydöstra delen av kandidatområdet. Det framgår att det i den nordvästra delen av kandidatområdet finns det betydligt färre reflektorer ned till cirka 1 000 m djup än i den sydöstra.

De maringeofysiska undersökningarna har främst bidragit med bottenpografi och bergytans topografi, vilket har legat till grund för lineamentstolkningar. I övrigt har de geofysiska undersökningarna i huvudsak haft fokus på själva kandidatområdet, det vill säga den tektoniska linsen. På de hittillsvarande borrhplatserna har traditionell geofysisk loggning utförts i alla kärnborrhål och i flera hammarborrhål. Detsamma gäller BIPS- (videofotografering av borrhållsväggen) och borrhållsradarloggning med dipolantenn och

riktantenn för bestämning av sprickzoners och andra bergartskontakters riktning och läge i borrhålet. De geofysiska borrhålsmätningarna har bidragit med underlag för enhålstolkning av borrhål. Speciellt resistivitets-, densitets-, susceptibilitets- och gammaloggarna har visat sig värdefulla.

Ett flertal markgeofysiska undersökningar har gjorts. Förutom de nämnda reflektionsseismiska mätningarna har magnetometer- och slingramsmätningar utförts för indikering av sprickzoners lägen inför borrhålsutsättningar, markradarmätningar för bestämning av jorddjup samt CVES-mätningar (Continuous Vertical Electrical Sounding) för att fastställa jorddjup och svaghetszoner i berget /t ex Marek, 2004/.

3.3.3 Viktiga frågor som återstår att besvara

Liksom tidigare kommer de geofysiska undersökningarna att fungera som stöd för den geologiska platsbeskrivningen. Frågor där geofysiken förväntas ge viktiga bidrag är:

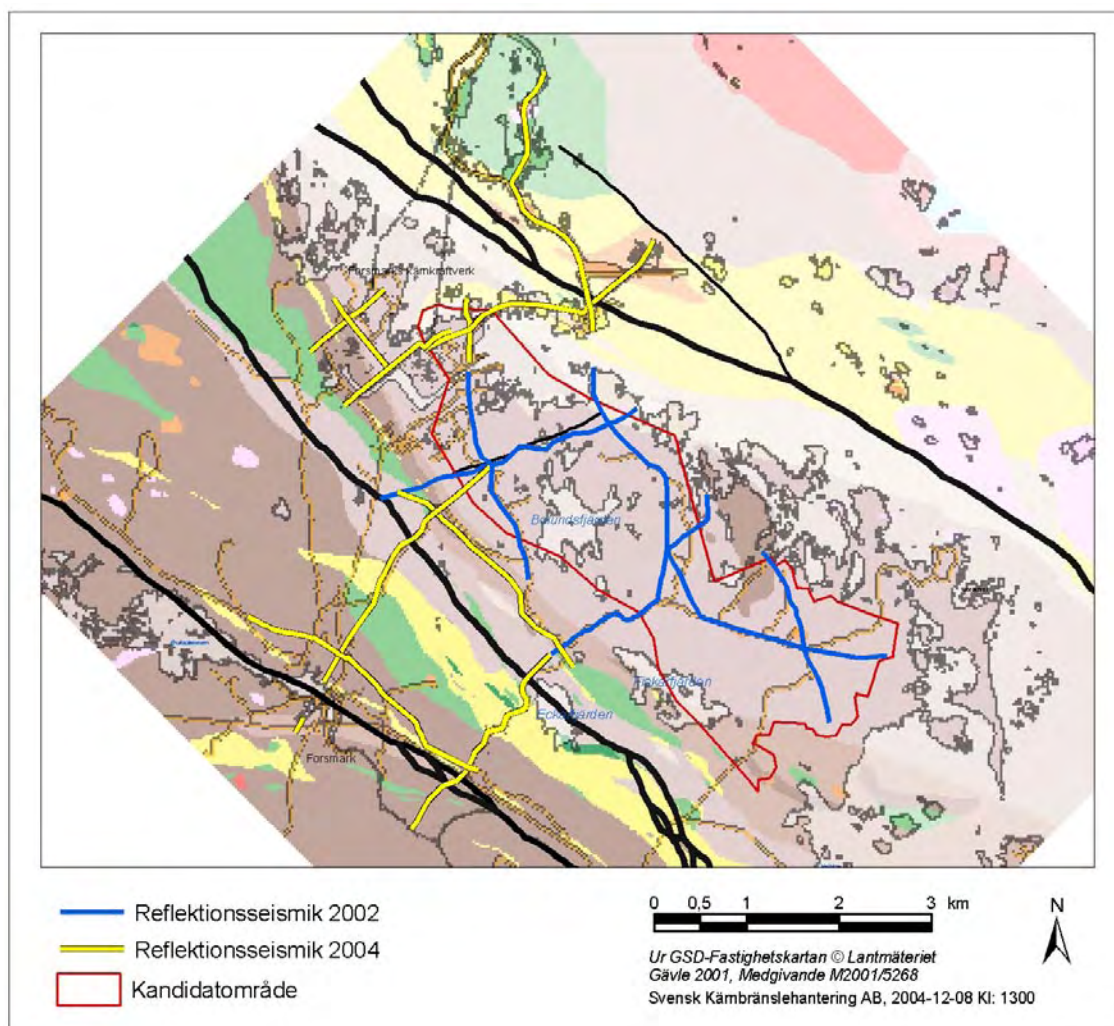
- Verifiering av lineament, särskilt huruvida dessa kan kopplas till branta sprickzoner.
- Jorddjupsbestämningar.
- Bestämningar av sprickzoners lägen och geometri.
- Utbredning av kvartsfattiga bergarter mot djupet.

3.3.4 Undersökningsprogram

I fortsättningen kommer platsundersökningen att inriktas mot den nordvästra delen av kandidatområdet samt mot randområdena nordost respektive nordväst om den tektoniska linsen. För den prioriterade platsen planeras följande insatser inom ämnesområdet geofysik:

- Konventionell borrhålsgeofysisk loggning samt BIPS- och borrhålsradarloggning på samma sätt som hittills i de nya borrhålen.
- Analyser av det omfattande materialet från tidigare utförda markgeofysiska mätningar, främst refraktionsseismiska mätningar från bostadsområdet och utifrån detta bedöma vilka kompletterande markgeofysiska mätningar som bör göras, till exempel för projekterings behov.
- Kompletterande markgeofysiska mätningar på den prioriterade platsen, i första hand refraktionsseismik och markradar. Detta möjliggör bland annat bestämningar av jorddjupsbestämningar och P-vågs hastighet i berg.
- Vertikal seismisk profilering (VSP-mätningar), där även borrhål utnyttjas, för en mer detaljerad bestämning av sprickzoners tredimensionella geometri och orientering.
- Undersöka möjligheterna att utifrån gravimetriska data modellera bergvolymen, eftersom gravimetri/mikrogravimetri kan tillföra värdefull kunskap om de kvartsfattiga bergarterna väster och söder om den prioriterade platsen. Dessa bergarter har tillräckligt hög kontrast i densitet, jämfört med omgivande bergarter med granitisk-tonalitisk sammansättning, för att deras geometri och utbredning mot djupet ska kunna modelleras.

Förutom undersökningarna ovan, som i huvudsak avser den prioriterade platsen, planeras kompletterande reflektionsseismiska mätningar som även innefattar platsens omgivningar och tolkade randzoner. Mätningar är viktiga bland annat för den tredimensionella modelleringen av deformationszoner och som underlag för grundvattenflödesmodeller. I figur 3-13 visas de kompletterande seismiska profiler som utförs under 2004. Mätningarna kommer där så är möjligt att göras med en seismisk vibrator (bilhammare) som källa. Jämfört med att använda sprängningar som källa ger detta bättre datakvalitet samtidigt som omgivningspåverkan blir mindre.



Figur 3-13. Genomförda och planerade reflektionsseismiska profiler över den tektoniska linsens hydrauliska randområden.

3.4 Bergmekanik och termiska egenskaper

3.4.1 Syfte och mål

De bergmekaniska förhållandena påverkar både djupförvarets isolerande och fördröjande funktioner och har dessutom stor betydelse för hur förvaret kan utformas och byggas. Förhållandena styrs av de rådande belastningarna – bergspänningarna – och bergets mekaniska egenskaper. Vilka mekaniska egenskaper en bergvolym har beror dels på egenskaperna hos det intakta bergmaterialet, dels på förekomsten av sprickor (frekvens, längd, orientering) och deras mekaniska egenskaper. Olika bergarter har olika hållfasthets- och deformationsegenskaper. Hållfasthets- och deformationsparametrar hos intakta bergprover och i viss mån även sprickor kan bestämmas genom laborietester, men det finns skal-effekter som måste beaktas innan data nyttjas för analyser som involverar större bergmassor. I sista hand är det den geometriska fördelningen av sprickzoner, sprickor och bergarter som avgör egenskaperna i större skala.

Vad avser bergspänningarnas storlek och orientering i en bergmassa finns erfarenhetsmässigt en betydande regional och lokal variation. Bestämningar måste därför göras genom mätningar in situ.

Det bergmekaniska ämnesområdet omfattar dels mätning och analys av bergets hållfasthets-, deformations- och termiska egenskaper, dels mätning och analys av spänningstillståndet i berggrunden. Med stöd av dessa data görs prognoser för stabilitetsförhållanden som underlag för både anläggningsutformning och säkerhetsanalys.

Målet för de bergmekaniska undersökningarna är att:

- Bestämma och bedöma fördelning av initiala bergspänningar inom prioriterat område.
- Bestämma mekaniska egenskaper hos intakt berg och sprickor inom olika litologiska enheter.
- Avgöra om den utvalda platsen, ur bergmekanisk synvinkel, är tillräckligt stor att hysa ett förvar.
- Identifiera risken för omfattande smällbergsproblem eller andra stabilitetsproblem i djupförvarets bergutrymmen.
- Identifiera eventuella problem där tunnlar måste passera sprickzoner.

Bergets termiska egenskaper har betydelse för värmetransporten från ett djupförvar. Detta styr de minsta avstånd som kan tillåtas mellan deponerade kapslar, och därmed areabehovet för hela förvaret. Bergets värmeledningsförmåga är den avgörande parametern i sammanhanget. Denna kan bestämmas genom laborietester, men skalberoende variationer och anisotropi kan behöva beaktas. För att kunna beräkna termomekaniska effekter (inducerade termospänningar och deformationer) krävs därutöver data om bergets temperaturutvidgningsegenskaper, vanligen uttryckt med parametern termisk längdutvidgningskoefficient.

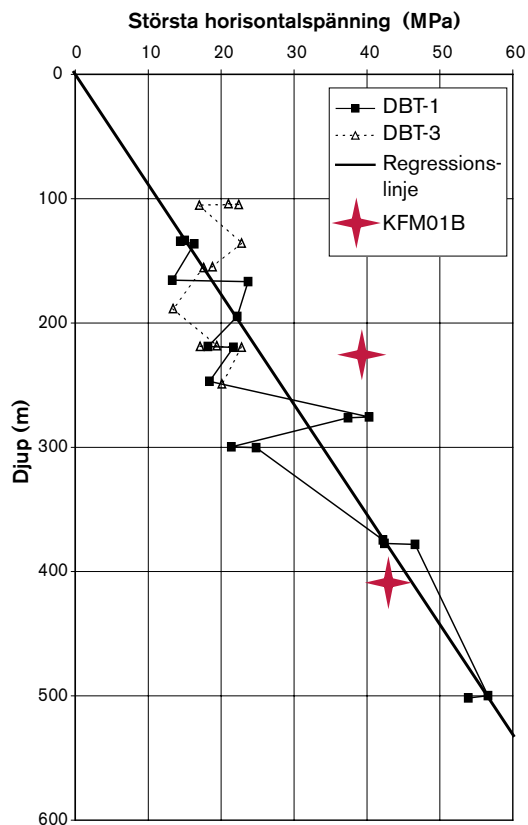
3.4.2 Viktiga resultat från genomförda undersökningar

Bergspänningar

Kunskap om bergspänningar är nödvändig för utformningen av djupförvaret (anläggningsdjup, orientering och utformning av tunnlar, bergförstärkning), och för prognoser avseende eventuella spänningsrelaterade stabilitetsproblem.

För Forsmark finns data om bergspänningar från undersökningar i samband med utbyggnaden av Forsmarksverket och SFR på 1970- och 1980-talen /Carlsson och Christiansson, 1987/. Då gjordes bland annat mätningar ner till som mest cirka 500 meters djup i borrhålen DBT-1 och DBT-3, båda belägna nära Block F3. Resultaten visade på för svenska förhållanden relativt höga bergspänningar. Vidare konstaterades att spänningsfältet lokalt påverkades av en förmodat flack sprickzon som korsade borrhålet på cirka 320 meters djup. Påverkan ledde bland annat till en oregelbunden spänningsgradient mot djupet.

De mätningar som nu gjorts inom kandidatområdet har verifierat förekomsten av höga spänningar. Mätningarna har gjorts med två olika metoder – överborrningsmätning i kärnborrhål KFM01B och hydrauliska metoder i borrhålen KFM01A, KFM01B, KFM02A och KFM04A. Figur 3-14 visar en tidig tolkning av data från överborrningsmätningarna i KFM01B, tillsammans med resultat från de äldre borrhålen DBT-1 och DBT-3.



Figur 3-14. Data från bergspänningsmätningar: Till vänster preliminära resultat från överborrning på två nivåer i KFM01B (röda symboler). Som jämförelse visas resultat från mätningar utförda under 1970-talet i borrhålen DBT-1 och DBT-3 vid Block F3 vid Forsmarksverket (svarta symboler). Till höger en borkärna från KFM01B som uppvisar tendenser till uppskivning i samband med borrning – så kallad core diskning. Uppskivningen indikerar spänningsnivåer på eller ovanför gränsen för mätmetodens kapacitet.

Spänningsbeloppen på djupen mellan 230–475 m ligger delvis omkring eller över de tekniska begränsningarna för mätmetoderna, vilket skapar metodrelaterad osäkerhet i tolkningarna. Resultaten indikerar preliminärt att största spänningen kan vara mellan 45–55 MPa, vilket är relativt högt för aktuellt djupintervall. Speciellt mätningarna i borrhålet KFM01B visar oväntat höga spänningsmagnituder ganska nära ytan (240 m), vilket medför att spänningsgradienten mot djupet förefaller vara relativt flack. Detta styrks av att kärnorna från de djupa borrhålen (ner till 1 000 m) med få undantag saknar tecken den uppskivning (core-diskning), som är pålitlig indikator på mycket höga belastningar. Det är också värt att notera att vissa mätningar med hydrauliska metoder på större djup åtminstone lokalt indikerar mer normala spänningar.

Vad gäller riktningar bekräftar mätningarna bilden från tidigare undersökningar, att den dominerande belastningen har en orientering som i stort sammanfaller med den tektoniska linsens längsriktning, det vill säga nordväst – sydost.

Analys av spänningsdata pågår med avseende på tilltro till mätresultat, heterogenitet i spänningsfältet samt magnituder. Resultatet kommer att redovisas i version 1.2 av platsbeskrivningen. Som ett komplement till bergspänningsmätningarna har laboratoriebestämningar av P-vågshastigheter gjorts på prover från samtliga kärnborrhål. Metoden

ger en grov bild av vid vilket djup spänningsnivåerna blir så höga att borrhälan påverkas av mikrosprickbildning när den tas upp från det inspända berget. Resultaten indikerar att detta inträffar på 400–450 meters djup.

Mekaniska och termiska egenskaper – laborietester

Arbetet med laboriebestämning av bergmekaniska och termiska egenskaper har gett följande erfarenheter:

- Draghållfastheten (indirekt provning) är mycket konsistent i graniten inom den tektoniska linsen.
- Den enaxliga tryckhållfastheten är relativt konsistent, men mätningarna är begränsade till kärnor från tämligen vertikala borrhål. Hållfastheten i olika riktningar, det vill säga eventuell anisotropi, har ännu inte studerats.
- Den treaxliga tryckhållfastheten som ovan, men underlaget är begränsat till relativt få prover.
- Försök med normal- och skjuvbelastning av sprickor har hittills utförts i begränsad omfattning, på grund av det mycket begränsade antalet naturliga sprickor i de huvudsakligen vertikala borrhälanerna.
- Graniten uppvisar god värmeledningsförmåga, vilket är att förvänta med hänsyn till dess mineralogiska sammansättning (hög kvartshalt). Data är konsistenta, men har påvisat oväntat stor anisotropi i värmeledningsförmågan, kopplat till foliation/stänglighet.
- Hittills utförda tester indikerar att den termiska längdutvidgningskoefficienten varierar inom ett ungefärligt intervall $5 \cdot 10^{-6}$ till $9 \cdot 10^{-6}$, vilket är normala värden för granit.

3.4.3 Viktiga frågor som återstår att besvara

I den geologiska miljö som kännetecknar den undersökta formationen i Forsmark, med relativt höga bergspänningar och sprickfattigt berg, är det viktigt att kunna göra tillförlitliga prognoser av stabilitetsförhållandena i ett eventuellt djupförvar. Det gäller särskilt om det finns risk för uppspjälkning av intakt berg närmast deponeringstunnlar eller deponeringshål. Grunden för dessa prognoser är kunskap om rådande bergspänningar och bergets hållfasthetsegenskaper. Underlaget om dessa parametrar behöver därför preciseras.

Bergspänningarna och deras möjliga konsekvenser för stabilitet och förstärkningsbehov är den viktigaste frågan. Fördjupad och mer detaljerad kunskap behövs om framförallt spänningarnas belopp, inklusive fördelning i djup- och sidled. Detta kräver ytterligare mätningar, med koncentration till den del av området som prioriteras för fortsatta undersökningar det vill säga den nordvästra delen av den tektoniska linsen.

Ytterligare kunskap om bergets hållfasthet, inom det prioriterade området och på troligt anläggningsdjup, behövs för att bekräfta den nuvarande generella bilden och precisera dataunderlaget för prognosarbetet. Den sprickfattiga graniten har i kombination med den vertikala orienteringen på de första, djupa kärnborrhälanerna begränsat möjligheterna att bestämma naturliga sprickors mekaniska egenskaper. Förutsättningarna för provning bedöms bli bättre när det ges möjlighet att ta prover ur hål som borrar lutande i olika riktningar. Dessa data behövs för att bestämma bergmassans storskaliga hållfasthets- och deformationsegenskaper.

Vad gäller termiska egenskaper ger mätningar på borrkärnor på det sätt som gjorts hittills förväntade och konsistenta data. Frågetecknen gäller hur dessa data ska extrapoleras till en skala som är relevant för djupförvarets del, och med beaktande av det riktningsberoende som konstaterats för värmeledningsförmågan. På denna punkt behöver kunskapen förbättras.

3.4.4 Undersökningsprogram

Bergspänningar

Strategin för att förbättra kunskapen om bergspänningsförhållandena är att utföra ytterligare bergspänningsmätningar, koncentrerade till den prioriterade nordvästra delen av den tektoniska linsen. Om det råder höga spänningsnivåer även här finns dock risk för att mätningarna även fortsättningsvis blir behäftade med osäkerheter, mot bakgrund av de begränsningar som tillgängliga metoder har. För att minimera osäkerheten mot djupet är även kunskap om de struktureologiska förhållandena i anslutning till mätplatserna viktig. Modellering av platsens spänningstillstånd kan då göras som komplement till direkta mätningar /Hakami et al. 2002/.

Närmast planeras mätningar i ett vertikalt hål vid borrplats 7 vid bostadsområdet (hål 7B, se figur 2-18 och tabell 2-2). Syftet med mätningarna där är att öka kunskapen om spänningsprofilen i nordvästra delen av den tektoniska linsen. Denna del av den prioriterade platsen är dessutom förstahandsalternativ för etablering av djupförvarets ovanmarksdel liksom tillfarter till undermarksdelen. Mätresultaten förväntas därför ge direkt underlag till utformningsförslag för dessa anläggningsdelar.

I samband med att hålet borrar görs mätningar med överborrningsmetoden, med start relativt nära ytan, cirka 50–100 meters djup. Det exakta läget får bestämmas av data från hål 7A, som borrar tidigare. Styrande för val av första mätnivå är förekomst och frekvens av flacka sprickor eller sprickzoner. Åtminstone två ytterligare mätnivåer utförs ner till cirka 200 m djup, dels för att bestämma spänningsgradienten, dels för att säkerställa bra mätresultat innan metoden riskerar att tangera sin begränsning. Därunder görs mätningar på ungefär var 50:e meter ner till cirka 500 meters djup, alternativt intill dess att spänningarna är så höga att mätningar inte längre är meningsfulla. Efter avslutade överborrningsmätningar färdigställs borrhålet ner till cirka 500 meters djup. Därefter görs bergspänningsmätningar även med hydrauliska metoder, på motsvarande djup som överborrningarna.

Bergspänningsmätningar ingår även i mätprogrammet för det djupa borrhål som planeras från en ännu inte fastställd plats strax söder om Bolundsfjärden (S Bol), se figur 2-18. Huvudsyftet är att få kunskap om spänningsprofilen genom den dominerande flacka sprickzon A2 som avgränsar den prioriterade platsen mot sydost. Detta är viktigt för att kunna modellera spänningsfältet och som underlag för anläggningsutformning. Detaljer vad gäller borrhålsplacering och mätprogram bestäms på basis av platsbeskrivning version 1.2, och resultat från planerade mätningar i 7B. Preliminärt antas även fortsättningsvis att både överborrnings och hydrauliska metoder nyttjas.

Under 2006 är avsikten att koncentrera undersökningarna på att karaktärisera den prioriterade platsens randområden, huvudsakligen ur hydrogeologisk och hydrogeokemisk synvinkel. Även bergspänningsmätningar kan komma att övervägas i samband med dessa undersökningar. Kunskap om spänningsprofilen i randområden till den tektoniska linsen kan eventuellt underbygga de modeller av spänningsfördelningen som tas fram.

Mekaniska egenskaper

Kunskapen om indirekt draghållfasthet i graniten i den tektoniska linsen bedöms vara tillräcklig. Fortsatt mätning begränsas till kärnor från borrning i angränsande bergdomän (om denna nås med borrhål 7A) och någon mätnivå på cirka 400–500 m djup i norra delen av den tektoniska linsen.

Ökad kunskap om en- och treaxlig tryckhållfasthet i olika riktningar, även vid högre inspänningsgrad, behövs för bergmekanisk modellering och stabilitetsanalyser. Preliminärt halveras frekvensen av enaxliga försök, medan treaxliga försök får samma omfattning som hittills. Prover tas främst inom djupintervallet 300–500 m.

Bestämningar av sprickors normal- och skjuvstyvheter planeras. Prover tas från meta-graniten inom det prioriterade området och eventuellt även från omgivande, plastiskt deformerad berggrund. Syftet är att få kunskap om egenskaperna hos sprickor som är representativa för de sprickgrupper som finns, och bedöms ha betydelse ur anläggningssynpunkt. Omfattningen och valet av prover bestäms av spricksituationen i de hål som borras, och de behov som växer fram i samband med att lägen för djupförvarets olika delar skisseras.

Resultaten från de sk tilt-tester som utförts, som ger en empirisk skattning av sprickors friktionsegenskaper, har visat sig ha relativt stor spridning. Fortsatt mätning begränsas därför till ytterligare ett par borkärnor från hål inom den prioriterade platsen (preliminärt 7A och 7B) samt från något av de borrhål som planeras utanför den tektoniska linsen

Mätning av P-vågshastigheten, för indikering av mikrouppsprickning i samband med spänningsavlastning, planeras även fortsättningsvis för samtliga borrhål.

Termiska egenskaper – borrhålstester

Det är svårt att bedöma konsekvenserna i djupförvarsskala (minst några meter) av den i borkärneskala observerade anisotropi i värmeledningsförmåga hos den folierade/stängliga graniten. Därför planeras fältmätningar i ett tiotal punkter med den sk flersondsmetoden /Sundberg, 2003/. Metoden bygger på att en central värmare placeras i ett krent borrhål och temperaturgivare placeras i olika riktningar på cirka 30–50 cm avstånd från värmaren. Genom att mäta temperaturutvecklingen i olika riktningar när värmebelastningen påförs i det centrala hålet kan den riktningensberoende värmeledningsförmågan i större skala bestämmas. Som försöksplatser väljs hållar som är representativa för området. Möjligen kan även denna skala ge för stor spridning i anisotropa egenskaper. Därför planeras också ett fältförsök i större skala med syfte att bestämma värmeledningsförmågan i olika riktningar. Som försöksplats väljs en av hållarna ovan, där en 5–10 m djup sektion, fri från större jordfyllda eller vattenförande sprickor, kan påvisas. Där borras ett centralt hål för en värmare. Runt om, på någon eller några meters avstånd, borras ett antal hål för temperaturmätning.

Resultat från de olika fältförsöken stäms av mot varandra och mot laboratedata. Det är också möjligt att teknik för mera storskalig bestämning av värmeledningsförmåga genom mätningar i undersökningsborrhål blir tillgänglig under de närmaste åren. I så fall kommer även sådana mätningar att övervägas.

Termiska egenskaper – laborietester

För den dominerande bergarten inom kandidatområdet finns relativt mycket data om termiska egenskaper. För vissa underordnade bergarter är underlaget däremot begränsat. Kompletterande bestämningar av värmeledningsförmågan hos dessa bergarter kommer därför att göras.

Laboratorietester av värmledningsförmåga och termisk expansion görs idag på obelastade prover. Detta kan ge värden som är systematiskt lägre än vad som är fallet under belastningar som motsvarar förhållanden in situ. Skillnaden kan vara av mindre betydelse, men effekten av tryckberoendet bör ändå undersökas för några prover. För termisk expansion planeras försök i triaxialcell med temperaturregleringsutrustning. För värmeledningsförmågan övervägs TPS-mätningar av trycksatta prov.

3.5 Hydrogeologi

Det hydrogeologiska programmet omfattar meteorologi, hydrologi och hydrogeologi i jordlager och berggrund. De meteorologiska mätningarna liksom de hydrologiska mätningarna kopplade till vattenkvantitet, vattenföring och vattenstånd, nyttjas också inom programmen för ytnära ekosystem och hydrogeokemi. På motsvarande sätt används mätningar kopplade till yt- och grundvattnets sammansättning, vilka utförs inom ytnära ekosystem och hydrogeokemi, inom hydrogeologiprogrammet som ett hjälpmedel för att klarlägga områdets vattenbalans och vattnets flödesvägar.

3.5.1 Syfte och mål

De fortsatta hydrogeologiska undersökningarna syftar främst till att säkerställa en tillförlitlig och tillräckligt omfattande hydrogeologisk datamängd. Data ska utgöra underlag för en detaljerad hydrogeologisk beskrivning av undersökningsområdet. För att underlätta beskrivningen upprättas en tredimensionell hydrogeologisk modell över området. Denna består av tre hydrauliska domäner: jordlager, deformationszoner och bergmassan mellan deformationszonerna. Alla tre domänerna måste karaktäriseras.

Dataunderlaget ska omfatta såväl geometriska som fysikaliska egenskaper, och ämnesområdet hydrogeologi är här beroende av data från andra discipliner. Exempel på geometriska egenskaper är topografi, sjödjup samt jordlagrens och sprickors läge och utbredning. Exempel på fysikaliska egenskaper är dels initial- och randvillkor för tryck och salthalt, vilka i Forsmark är starkt kopplade till den så kallade strandförskjutningsprocessen, dels materialegenskaper som porositet och permeabilitet.

Numerisk modellering används som ett hjälpmedel för att öka förståelsen av områdets hydrogeologi. Genom numerisk simulering, med syfte att beskriva grundvattenflödet till storlek och flödesvägar, kommer antaganden gjorda i den konceptuella hydrogeologiska modellen att kunna demonstreras och prövas. Vilken betydelse har till exempel de osäkerheter i parametervärden som utgör den hydrogeologiska beskrivningen? Kan simulerade resultat, exempelvis avseende pumptester, verifieras av uppmätta data? Resultaten från simuleringen förväntas kunna visa om kompletterande fältundersökningar krävs eller om redan insamlat dataunderlag är tillräckligt. Modellering är dessutom ett viktigt hjälpmedel för att ta fram underlag till försvarsutformning, säkerhetsanalys och miljökonsekvensbeskrivning.

Hydrogeologisk modellering sker i olika skalor, dels i lokal skala i nära anslutning till ett tänkt djupförvar, dels i regional skala inom ett större område. Merparten av de planerade undersökningarna kommer under de fortsatta undersökningarna att koncentreras till den nordvästra delen av kandidatområdet, men även de hydrauliska randområdena kommer att undersökas. Detta innebär att dataunderlaget till den lokala hydrogeologiska modellen för den nordvästra delen av kandidatområdet kommer att förbättras avsevärt, medan dataunderlaget i den sydöstra delen inte kommer att förändras i samma utsträckning.

Den regionala hydrogeologiska modellen utanför det lokala området kommer att tillföras data från bergmassan i och vid sidan av randområdena. Den geologiska tolkningen av de pågående reflektionsseismiska undersökningarna inom den sydvästra delen av det regionala området förväntas visa om kompletterande hydrogeologiska fältundersökningar inom detta område krävs, eller om gjorda antaganden i modell 1.2 och insamlat dataunderlag är tillräckligt för en trovärdig osäkerhetsbeskrivning. Data från tidigare undersökningar i exempelvis Finnsjöområdet förväntas kunna nyttjas i den regionala hydrogeologiska modellen. Som underlag till säkerhetsanalysen används både den lokala och den regionala hydrogeologiska modellen.

3.5.2 Viktiga resultat från genomförda undersökningar

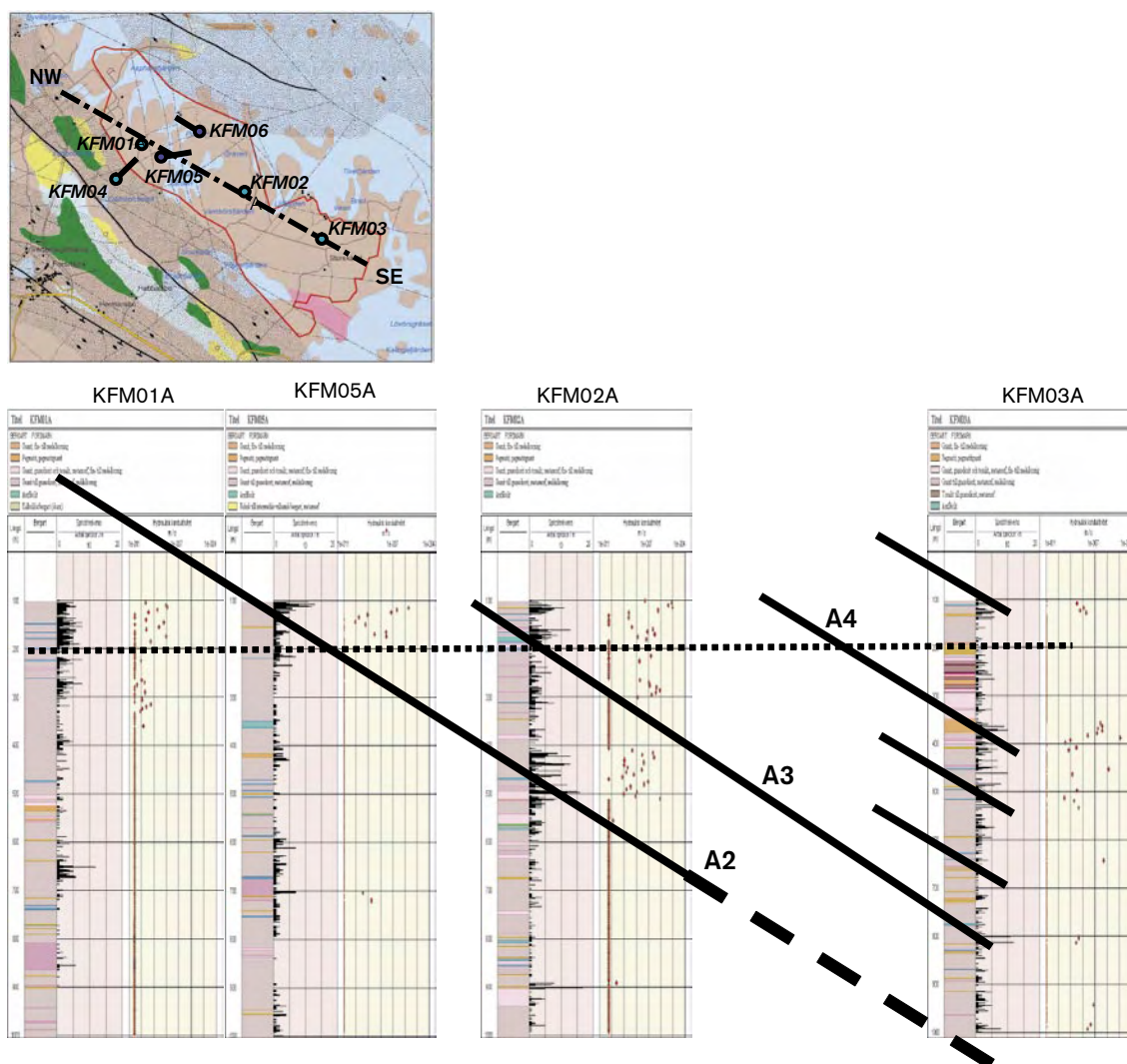
Generellt sett har det varit en god samstämmighet i resultat från olika typer av hydrotester. Detta stärker tilltron till undersökningsmetodikerna och metodvalen inför de fortsatta undersökningarna.

De viktigaste hydrogeologiska resultaten som ingår i datafrys 1.2 är den hydrauliska karaktäriseringen av jordlagren och berggrunden ner till cirka 1 000 m djup. Dessa kan sammanfattas i fyra punkter:

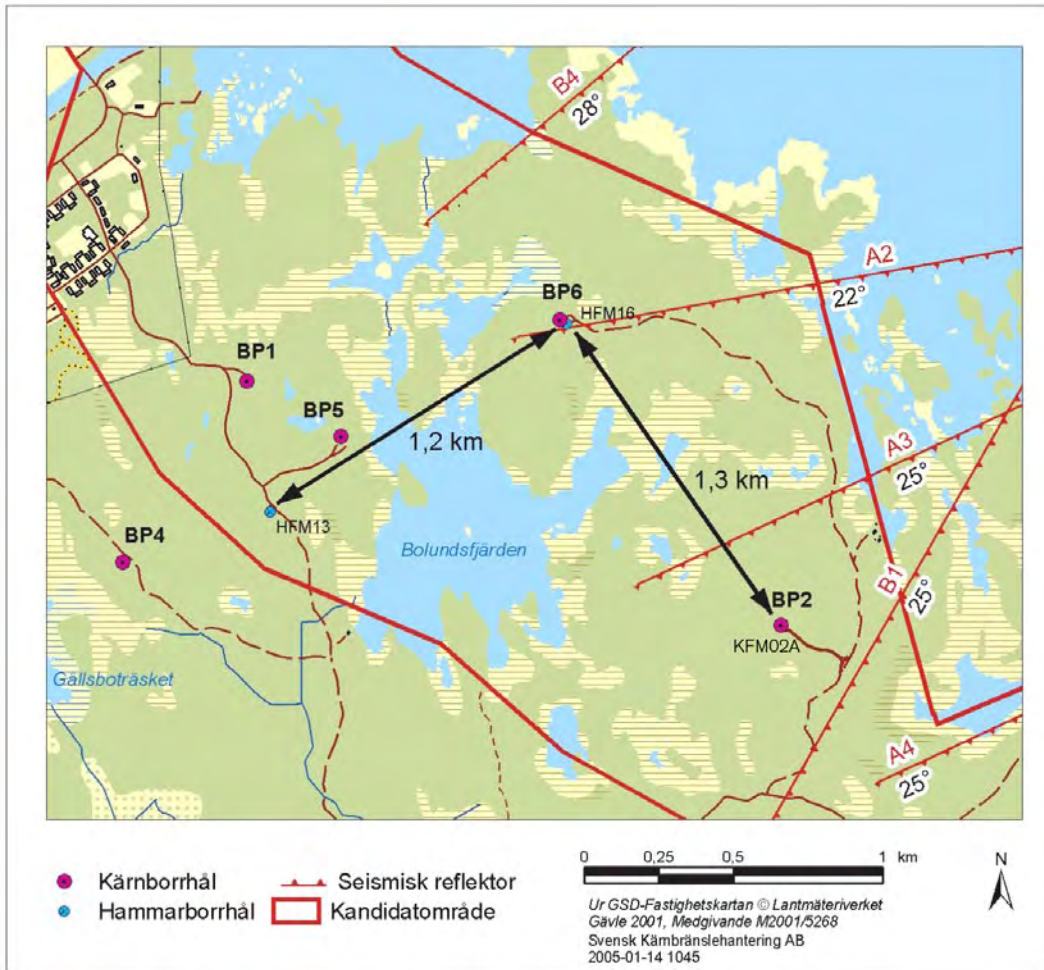
1. Kvartärgeologiska undersökningarna har visat att jordlagrens mäktighet varierar från berg i dagen till ett djup av cirka 17 m. Morän är den helt dominerande jordarten (jämför avsnitt 3.1). Ställvis överlagras den av relativt tunna lager av svallsand och i topografiska lågpunkter av lera och organiska jordarter. I de sydöstra delarna av kandidatområdet, särskilt vid Storskäret, är moränen lerig /Johansson, 2003; Werner et al. 2004; Werner och Lundholm, 2004/. Grundvattenytan i jordlagret har ett mycket marknära läge under stora delar av året. Artesiska förhållanden råder under vissa perioder i några av grundvattenrören. När det gäller jordlagrens vattengenomsläpplighet överensstämmer resultaten från de kompletterande slugtesterna med den i modellversion 1.1 presenterade generella bilden med ett ytlager med hög vattengenomsläpplighet underlagrat av tätare morän följt av en högre vattengenomsläpplighet i kontaktzonen mellan jord och berg /Werner och Johansson, 2003; Werner, 2004/. Det är inte klarlagt i vilken utsträckning den relativt höga vattengenomsläppligheten i kontaktzonen är knuten till själva moränen närmast berget eller om den åtminstone delvis betingas av sprickigt ytberg. Det ska dock betonas att variationerna i vattengenomsläpplighet är stora mellan olika mätpunkter.
2. Berget ner till cirka 200 m djup (dock oftast ovan 100 m) innehåller ett flertal sprickor med hög eller mycket hög vattenföring. Sprickorna är flacka och har förbindelse med varandra /Ludvigson och Jönsson, 2003/. Mellan dessa vattenförande sprickor, uppvisar berget en normal sprickfrekvens och en relativt låg vattenföring.
3. Berget under cirka 200 m djup har visat sig vara mycket sprickfattigt och ha låg vattenföring. Ett antal vattenförande sprickzoner har dock konstaterats på större djup inom kandidatområdets mellersta till sydöstra del /Carlsten et al. 2004b/. Figur 3-15 visar schematiskt en nordväst-sydöstlig profil, med data från fyra kärnborrhål belägna mer eller mindre längs profilen, samt en tolkning av sprickzonernas lägen. Zonerna förefaller ha stor utbredning och vara svagt lutande mot sydost (20–25° från horisontalplanet).

4. Hydraulisk kontakt mellan olika borrhål, över stora avstånd, har påvisats i flera tester. Den hydrauliska kontakten demonstreras genom pumpning i ett borrhål och samtidig registrering av tryckförändringar i annat borrhål. Ett exempel visas i figurerna 3-16 och 3-17: Under borringen av hammarborrhålet HFM16 vid borrhållsplats 6 observerades tryckförändringar i såväl HFM13 nära borrhållsplats 5 som KFM02A vid borrhållsplats 2. Avstånden är i båda fallen mer än en kilometer. Data indikerar att de hydrauliska kopplingarna förmedlas via deformationszonen A2.

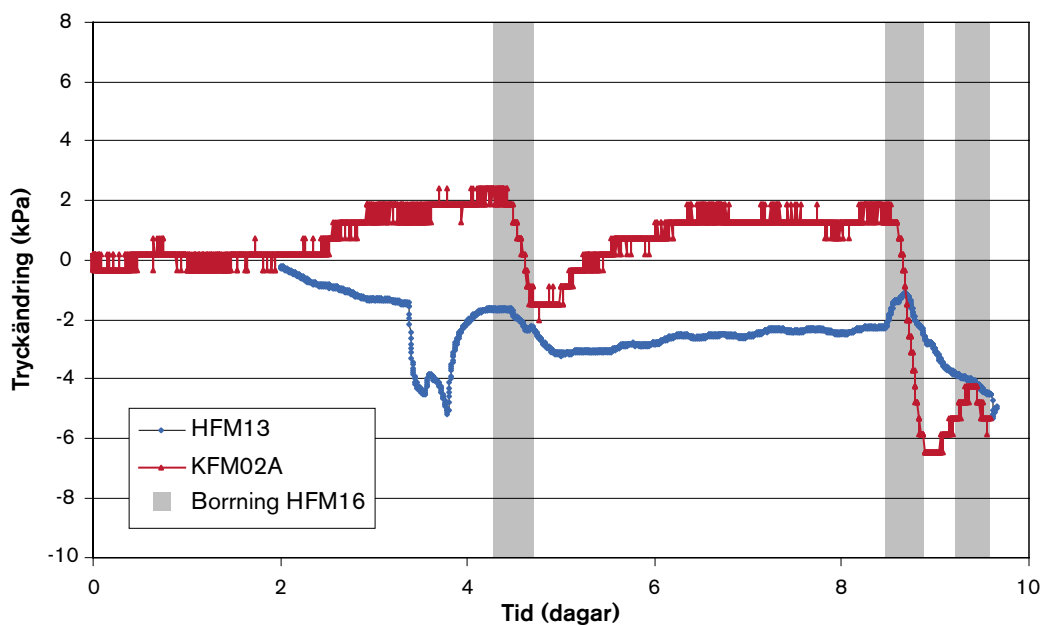
Bortsett från de platsspecifika resultat som tagits fram har också viktiga metodrelaterade resultat framkommit, framförallt när det gäller hydrauliska detaljundersökningar av kärnborrhål. De två standardmetoder som har använts för detaljundersökningarna är sektionsvisa injektionstester (PSS, Pipe String System) samt differensflödesloggning (PFL, Posiva Flow Log).



Figur 3-15. Schematisk profil, med data från fyra kärnborrhål, samt deformationszonen A2 och ytterligare tolkade zoner längre mot sydost. Deformationszonerna bedöms stupa 20–25° mot sydost (längdskalan har komprimerats i figuren).



Figur 3-16. Exempel på observerade hydrauliska kopplingar mellan borrhål. När hammarborrhålet HFM16 borrades noterades tryckförändringar i HFM13 och KFM02A (se figur 3-17).



Figur 3-17. Uppmätta ändringar av vattentryck (tryckresponser) i HFM13 och KFM02A (se figur 3-16) under den period när HFM16 borrades. Trots störningar av andra aktiviteter i området redan före borrstart är det tydligt att borrningen ger tryckresponser.

Erfarenheterna från undersökningar av de tre första kärnborrhålen (KFM01A, KFM02A och KFM03A) tyder på att de två undersökningsmetoderna i viss mån överlappar varandra men ger olika typer av data. Datauppsättningarna från båda metoderna är viktiga för utvärderingen av vattengenomsläpplighet i analysarbetet. Som ett exempel kan nämnas att PSS har ett större mätområde avseende vattengenomsläpplighet (hydraulisk transmissivitet) än PFL. Framför allt kan låga transmissiviteter kvantifieras bättre med PSS än med PFL.

Nackdelen med PSS är att minimilängden på en mätsektion i borrhålet är fem meter med nuvarande utformning av utrustningen. Följaktligen mäts med PSS en transmissivitet med en högsta geometrisk upplösning på fem meter. Upplösningen vid mätningar med PFL är däremot så hög som 0,1 m. Med PFL kan därför spricktransmissiviteter mätas. Dessa ger tillsammans med kartering av borrhärna, Boremapdata, och digitaliserad TV-loggning av borrhålsväggen, BIPS, värdefull och användbar information för arbetet med sprickmodellen av området (DFN-modellen). PFL har även möjlighet att mäta elektrisk konduktivitet i specifika sprickor vilket bidrar till förståelsen av de hydrogeologiska och hydrogeokemiska modellerna.

3.5.3 Viktiga frågor som återstår att besvara

En av de viktigaste uppgifterna som återstår är att ytterligare klargöra de hydrauliska kontakterna mellan ytvatten, jordgrundvatten och berggrundvatten i undersökningsområdet. Beskrivningen av den hydrauliska kontakten mellan yt- och grundvatten är viktig. Sjöar och våtmarker kan principiellt antas utgöra utströmningsområden. De hittills genomförda mätningarna indikerar dock att vissa sjöar kan utgöra inströmningsområden under delar av året. Det är också viktigt att klarlägga i vilken utsträckning våtmarkerna är utströmningsområden med god grundvattenkontakt och i vilken utsträckning de är mer eller mindre isolerade system avskilda genom täta bottensediment. Vilka egenskaper kontakten mellan jord och berg har liksom hur de stora sprickzonerna hänger samman hydrauliskt är andra frågor. Det finns vattenförande sprickor på stort djup och frågan är hur dessa hydrauliskt kopplar till närliggande sprickzoner.

Ett fåtal djupt liggande, vattenförande sprickor har detekterats i några av kärnborrhålen (KFM02A ~ 900 m, KFM05A, ~ 720 m borrhålslängd). Dessa sprickor har inte en extremt hög vattenföring (transmissiviteter i storleksordningen 10^{-9} – 10^{-8} m²/s) men tillräckligt hög för att de kan anses vara avvikande från den gängse bilden och därmed särskilt intressanta. Enskilda vattenförande sprickor skulle kunna utgöra en del av ett i övrigt glest vattenförande spricknätverk. Hur spricknätverket ser ut och om det har kontakt med det vattenförande ytberget är en av de viktiga frågor som kommer att studeras under de fortsatta undersökningarna.

De flacka sprickzonerna bör karakteriseras ytterligare. Den zon som ur förvarsperspektiv är viktigast att undersöka, bland annat med avseende på hydrauliska egenskaper och lateral utbredning, benämns A2. Figur 3-15 visar data från borrhål genom zonen och figur 3-18 dess skärning med markytan tolkad från reflektionsseismiska mätningar. Det är väsentligt att kartägga vattengenomsläppligheten och dess eventuella avtagande mot djupet liksom det naturliga vattenflödet i zonen. Det bör också klarläggas om A2-zonen ger upphov till hydraulisk kontakt mellan de borrhål som skär zonen (t ex mellan KFM02A och KFM04A). Det bör också undersökas om de flacka sprickzonerna (däribland A2) begränsas av randzonerna Singö-, Eckarfjärds- och Forsmarkszonerna, eller fortsätter de även på andra sidan om dessa. Ett nytt kärnborrhål (S Bol, se figur 2-15 och 2-18) kommer troligen att penetrera A2-zonen på mellan 300–600 meters djup. Det förväntas bidra till kunskapen om de hydrauliska egenskaperna hos zonen och det omgivande berget, liksom de hydrauliska sambanden längs zonen och kopplingarna till det omgivande spricknätverket.



Figur 3-18. Från reflektionsseismiska mätningar tolkade reflektorers skärning med markytan. Dessa reflektorer som sannolikt representerar sprickzoner, har troligen en avgörande betydelse för vattentransporten genom speciellt den sydöstra delen av undersökningsområdet.

Dataunderlaget för att beskriva vattengenomsläppligheten hos bergmassan mellan sprickzonerna måste likaså förbättras. Det är av stor vikt för säkerhetsanalysen att kvantifiera antalet sprickor med låg vattengenomsläpplighet och deras egenskaper. Detta gäller speciellt i Forsmark där berget mellan sprickzonerna har mycket låg vattenföring.

3.5.4 Undersökningsprogram

Hydraulisk kontakt mellan ytvatten, jordgrundvatten och berggrundvatten⁶

För att öka kunskapen om vattenomsättningen i området och förfina den hydrologiska modellen som utgör grunden för de numeriska simuleringarna är det viktigt att ytterligare studera den hydrauliska kontakten mellan ytvatten, jordgrundvatten och berggrundvatten. Ett antal jordschakt för att frilägga berget planeras där man observerat lineament. Dessa undersökningar kan ge viktig information om hur övergången mellan jord och berg ser ut, och därmed belysa förutsättningarna för hydraulisk kontakt mellan jord- och berggrundvatten. Våtmarkerna kommer att studeras för att belysa i vilken utsträckning de utgör utströmningsområden respektive i huvudsak separata hydrologiska system.

Den omfattande monitoreringen som genomförs i Forsmark gällande bland annat meteorologiska data, vattenflöden i vattendrag samt yt- och grundvattennivåer ger möjlighet att studera effekter av såväl naturliga förändringar som mänskliga aktiviteter. Exempel på frågor som kan belysas är exempelvis hur jord- och berggrundvattennivåer i olika delar av området förändras vid kraftig nederbörd och vid variationer i havsnivå, hur grundvatten-

⁶ Se även avsnitten 3.1 (yt nära ekosystem) och 3.6 (hydrogeokemi).

nivån i jord och berg samvarierar, om områdets sjöar alltid utgör utströmningsområden, hur vattennivån i närliggande jordborrhål förändras vid pumpningar för interferenstester i borrhål i berget etc.

Analysen enligt ovan, som till största delen nyttjar information från redan existerande borrhål och observations- och mätsystem, förväntas tillsammans med den numeriska modelleringen visa på behov av kompletterande undersökningar i form av ytterligare borrhål för mätning av grundvattennivåer och för hydrauliska tester. Nya kärn- och hammarborrhål planeras i enlighet med beskrivningen i avsnitt 3.8, medan strategin för utsättning av nya jordborrhål, som antas bli relativt få, i första hand styrs av behov inom ämnesområdet Hydrogeologi.

För att studera grundvatten- och avrinningsbildningen planeras förutom vattenföringsmätningar och vattenkemiska analyser också specialundersökningar med provtagning och analys av syre-18 och eventuellt även andra naturliga spårämnen i form av mätkampanjer.

Undersökning av kärn- och hammarborrhål

Vattenförande sprickors egenskaper och positioner är en grundläggande och mycket viktig information som tas fram för i princip alla borrhål i platsundersökningen. Den hydrogeologiska detaljundersökningen av djupa kärnborrhål planeras att omfatta både injektionstester (PSS) och differensflödesloggning (PFL). Även vissa korta kärnborrhål kommer att karakteriseras med injektionstester. Att undersökningsmetodikerna innefattar båda metoderna motiveras av att båda ger information som är betydelsefull för analysarbetet. Möjligen kan fokuserade undersökningsprogram för de respektive metoderna tillämpas i vissa kärnborrhål framöver.

Motsvarande information från hammarborrhål erhålls genom flödesloggning med SKB:s utrustning för hydrotester i hammarborrhål. I de fall då flödesloggningen inte kan ge fullständig information, kompletteras denna med injektionstester i övre delen av hålet, där flödesloggning inte är möjlig att genomföra av praktiska skäl. Vattenprover tas för kemisk analys under det långa pumpstest som sammanfaller med flödesloggningen. Resultat från undersökningarna kommer för de flesta borrhål inom linsen att presenteras till datafrys 2.2. Vid denna tidpunkt finns förmodligen också data från ytterligare ett borrhål strax söder om Bolundsfjärden (S Bol) som skär den hydrauliskt ledande flacka sprickzonen A2. Information för borrhålen i randzonerna presenteras till datafrys 2.3.

Interferenstester

Interferenstester används för att ”knyta ihop säcken”, avseende förståelsen för den hydrauliska kontakten inom undersökningsområdet. Information om hur sprickzoner och spricknätverk sitter ihop används bland annat som stöd för den hydrogeologiska modellen. Storskaliga interferenstester i kombination med spårförsök kommer att bli en viktig del av undersökningarna i slutskedet. En förutsättning för att dessa ska kunna genomföras är att det inte pågår någon övrig störande aktivitet i närområdet, till exempel borring eller rensugning. Utöver dessa kommer troligen ett antal riktade interferenstester att genomföras för att klargöra lokala hydrauliska samband i anslutning till kommande kärnborrhål, även interferenstester inom borrhål kan förekomma. Inom kandidatområdet planeras interferenstester göras under semestern 2005 och vintern/våren 2006. I de hydrauliska randområdena kan de göras under slutet av 2006. Dessa tidpunkter är valda med hänsyn till att övriga störande aktiviteter då är minimerade. Resultat från interferenstesterna kommer att presenteras till datafrys 2.2 och 2.3.

3.6 Hydrogeokemi⁷

3.6.1 Syfte och mål

Ämnesområdet hydrogeokemi omfattar undersökningar av kemiska förhållanden i ytvatten och i grundvatten ner till cirka 1 000 meters djup i berggrunden. De två huvudsakliga syftena med de hydrogeokemiska undersökningarna är /SKB, 2001b/:

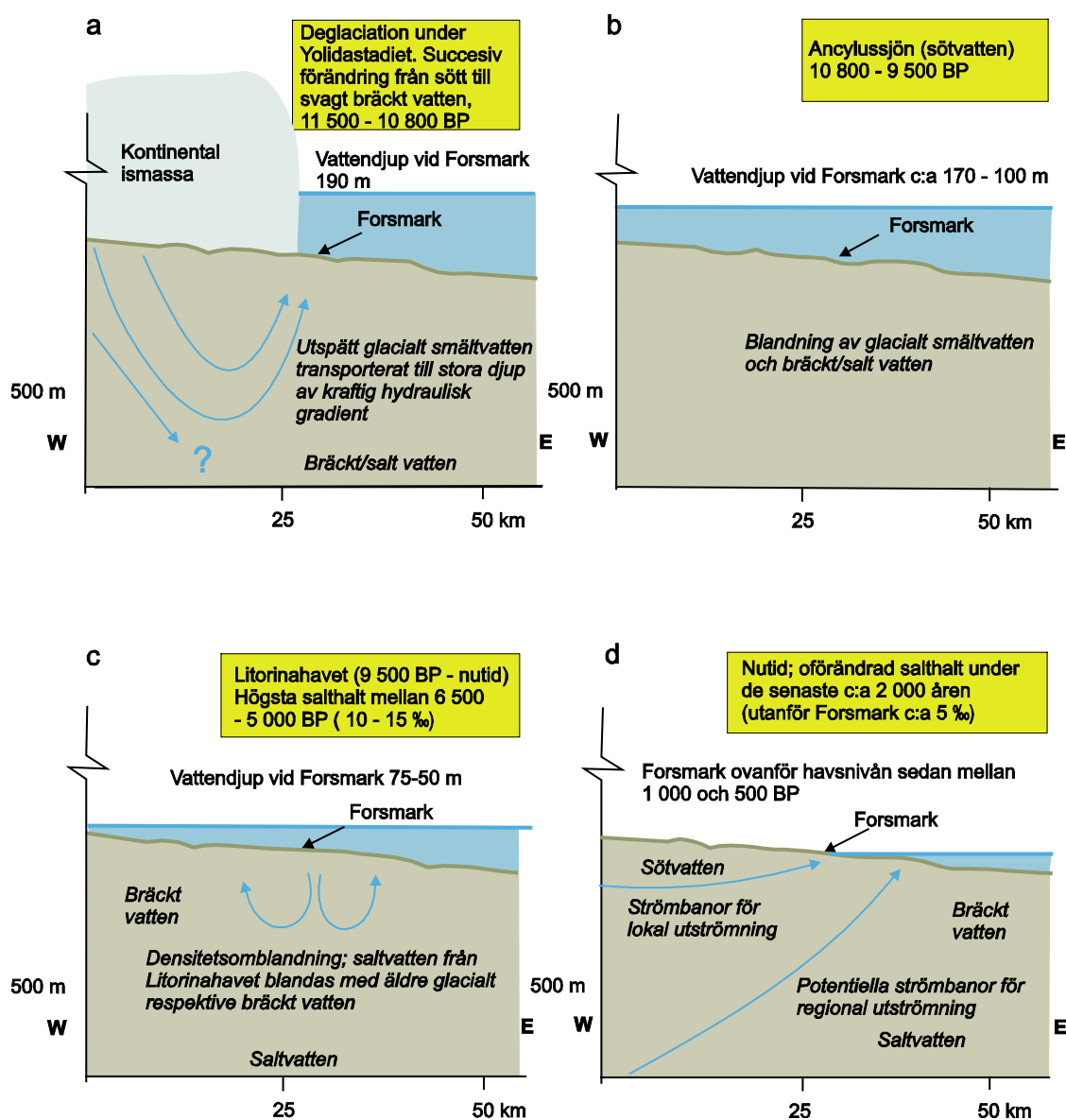
1. Att karaktärisera och beskriva grundvattnet med avseende på kemisk sammansättning, ursprung, utveckling, huvudsakliga flödesvägar och uppehållstider samt att identifiera de kemiska reaktioner och processer som påverkat grundvattnets utveckling fram till idag för att därigenom kunna förutsäga grundvattnets framtida utveckling.
2. Att erhålla representativa och tillförlitliga värden på vissa kemiska komponenter som är viktiga för att projektera ett djupförvar och för att göra analyser av den långsiktiga säkerheten hos förvaret. De komponenter som avses är bland annat sådana som i höga eller i vissa fall för låga koncentrationer kan underlätta korrosionen av kopparkapslarna i djupförvaret, försvaga barriären av bentonitlera, ha betydelse för återfyllnadsmaterialet i tunnarna eller medverka till att radionuklider kan transporteras i vattnet om en kopparkapsel skulle bli otät.

Det primära syftet med de planerade hydrogeokemiska undersökningarna är att åstadkomma en mer fullständig bild av grundvattensituationen i området genom att komplettera, verifiera och öka datamängden, framför allt när det gäller djupa grundvatten. Kemidata som erhållits hittills har använts bland annat för att beskriva grundvattenkemins djupberoende. Mer data från fler borrhål ska ge bättre möjlighet att interpolera resultaten till en tredimensionell fördelning i de identifierade konduktiva strukturerna inom kandidatområdet.

En betydande mängd hydrokemiska data krävs för det fortsatta utvärderings- och analysarbetet. Fördelningar av lösta komponenter liksom isotopkvoter används för att beskriva grundvattnets ursprung och historia. Denna information, kopplad till en grundvattenflödesmodell som beskriver flödet bakåt i tiden för Forsmarksområdet, se figur 3-19, ger stöd vid valet av de olika typvatten (ursprungliga vatten), som meteoriskt vatten, Östersjövatten, vatten från Litorinahavet, glacialt smältvatten etc, som bör ingå vid blandningsberäkningar. Sådana beräkningar görs i syfte att återskapa vattensammansättningar i verkliga vattenprov med hjälp av olika portioner av typvattnen. Skillnader mellan beräknade och uppmätta halter visar i vilken omfattning kemiska reaktioner och biologiska processer har förekommit. Jämviktsberäkningar mellan kemiskt aktiva bergmineral och i grundvattnet lösta kemiska komponenter visar i vilken omfattning det hydrogeokemiska systemet är stabilt eller dynamiskt. Beräkningarna har betydelse för tolkningen av grundvattnets omsättnings-tider. Den relativt begränsade datamängden som erhållits under genomförda undersökningar kommer att kompletteras med nya data för att en högre upplösning ska uppnås och så att beräkningarna/modelleringen kan förfinas.

Vissa kemiska komponenter är viktiga ur projekterings- och säkerhetsanalysaspekter och det finns önskemål eller till och med krav på halterna i grundvattnet för att platsen ska vara lämplig för ett djupförvar. Det är till exempel viktigt att visa att det råder syrefria förhållanden i grundvattnet eftersom förekomst av syre påverkar dels kopparkapselns korrosionsbenägenhet, dels radionuklidens löslighet. Vidare är totala salthalten samt halter av tvåvärda katjoner viktiga för bentonitens funktion. Innehållet av kolloider och mikrober samt pH-värde har stor betydelse för nuklidernas möjligheter att transporteras med grundvattnet. Kolloider och mikrober kan fungera som bärare av radionukliderna. För samtliga dessa parametrar behövs relativt få data med hög kvalitet men som kommer från förvarsdjup och från tilltänkt förvarsplats.

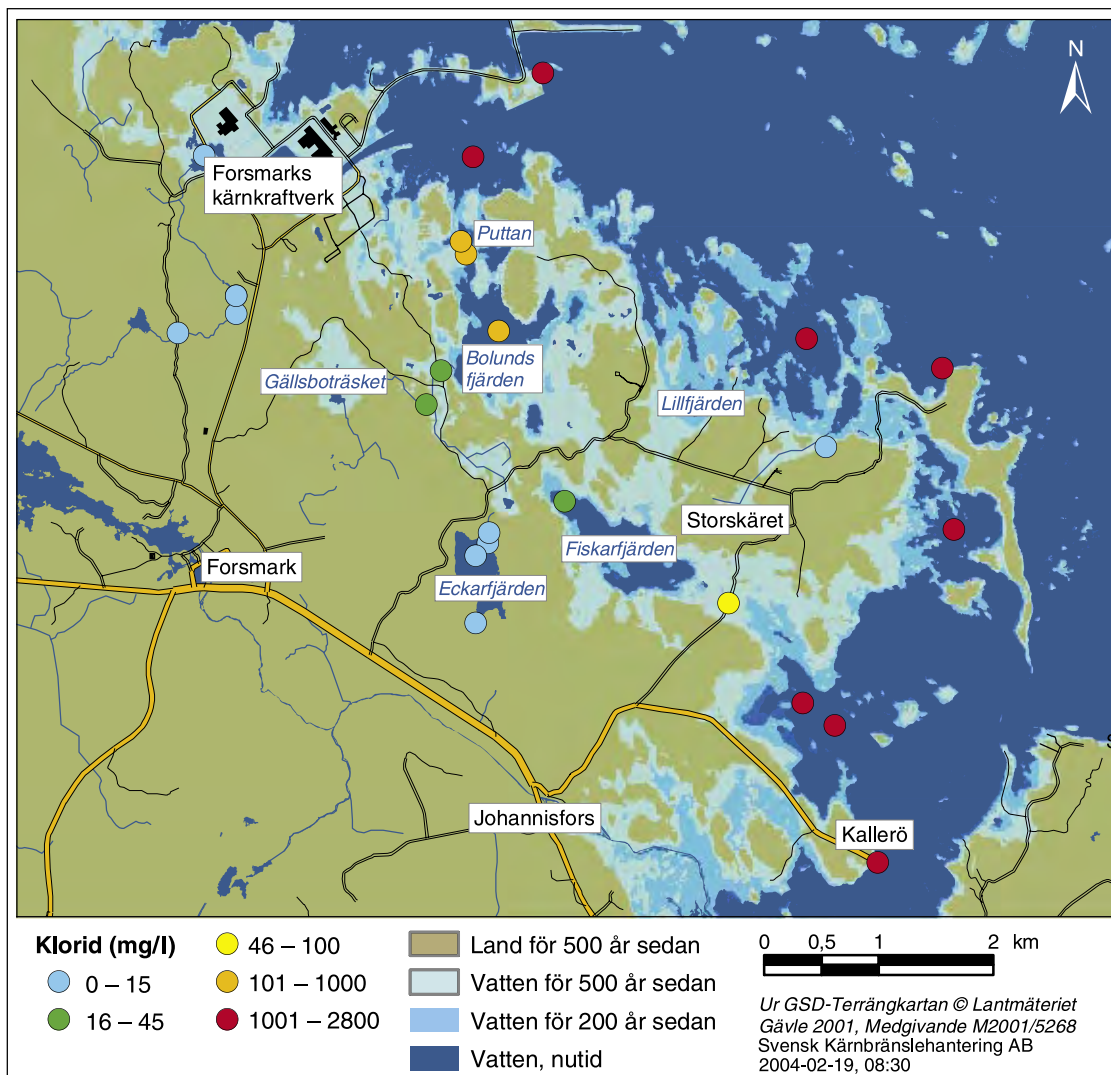
⁷ Se även avsnitten 3.1 (ytnära ekosystem) och 3.5.4 (hydrologi).



Figur 3-19. Olika stadier i Östersjöns historia vid Forsmark efter senaste istiden a) Istid-Yoldiahavet, b) Ancylussjön, c) Littorinahavet, d) nuvarande Östersjön. Dessa stadier med ömsom sött, ömsom salt vatten, liksom landhöjningen, har påverkat grundvattnets utveckling och resulterat i dagens grundvattensammansättning /Laaksoharju et al. 2004/.

3.6.2 Viktiga resultat från genomförda undersökningar

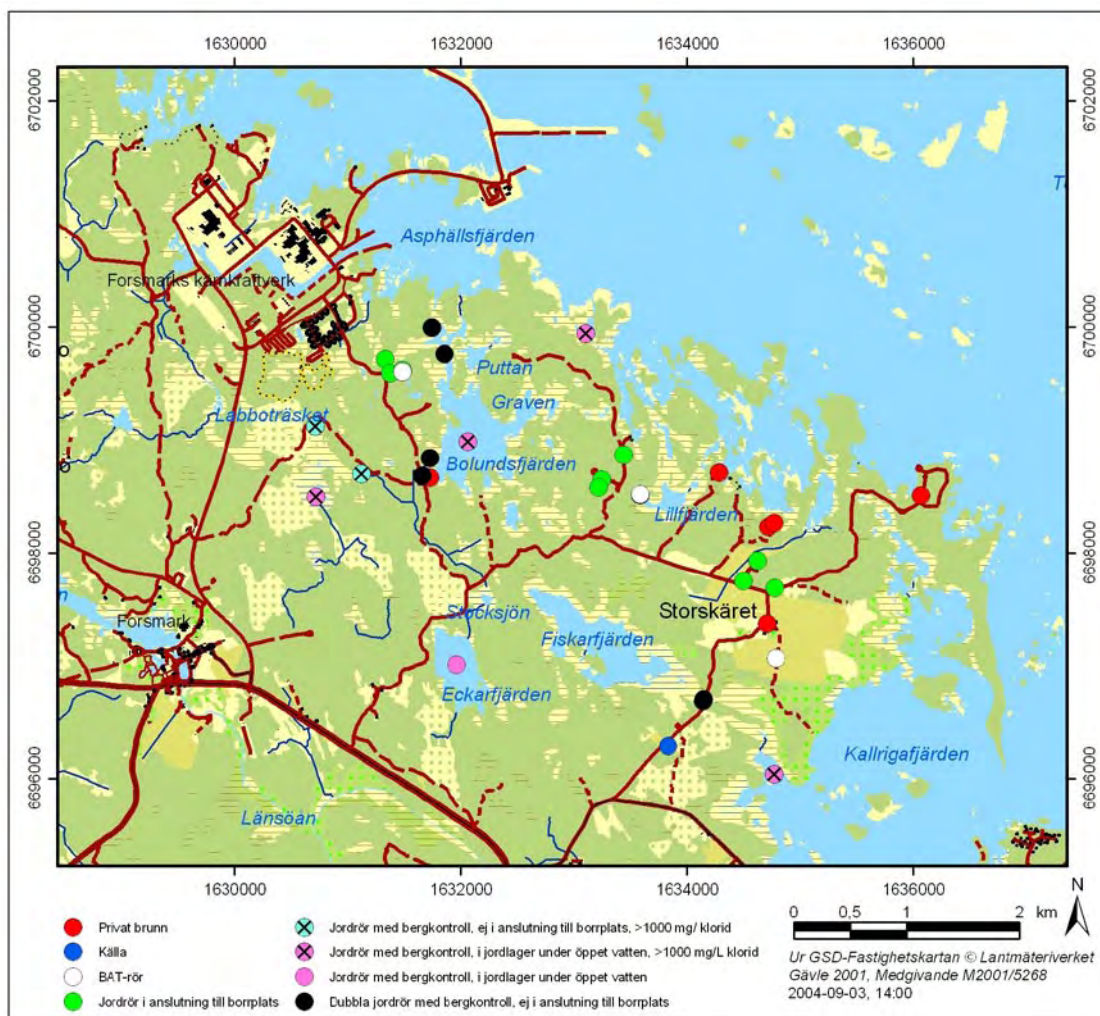
En två år lång provtagningskampanj för ytvatten i havsvikar, sjöar och vattendrag är avslutad och data från ett 20-tal provtagningspunkter och 40 provtagningsstillfällen har samlats in. Av resultaten framgår att ytvattnet i Forsmark har hög alkalinitet (ofta över 200 mg/l som vätekarbonat, värden över 400 mg/l förekommer), högt pH (värden över 8,0 är vanliga) och höga kalciumhalter (i storleksordningen 40–140 mg/l). Kalciumhalten och den höga alkaliniteten beror på vittring av den kalkhaltiga moränen som i relativt mäktiga lager täcker större delen av kandidatområdet. Dessutom är tidsspannet sedan kustområdet steg upp ur havet kort, och de provpunkter som nyligen påverkats av bräckt Östersjövatten visar höga halter av natrium och klorid, se figur 3-20. Norr om Bolundsfjärden är tröskeln mot havet låg, och från tid till annan kan saltare vatten fortfarande tränga in i det vattensystem som utgörs av en avsnörd före detta havsvik.



Figur 3-20. Karta med provpunkter för ytvatten. Vattentypen indikeras med hjälp av en färgskala från blått till rött för låg respektive hög kloridkoncentration. Även kustlinjens läge vid olika tidpunkter är angiven.

Resultaten från provtagningen av ytnära grundvatten inkluderar analyser av vattenprover från 20 jordrör, tre s k BAT-rör (speciella provtagningsrör där provvattnet sugas in i evakuerade glasampuller vid provtagningsstillfället), sex privata brunnar samt en källa. Den två år långa provtagningskampanjen för ytnära grundvatten kommer att avslutas under våren 2005. Provtagningspunkterna presenteras i figur 3-21. Några av dessa uppvisar höga salthalter vilket kan tyda på att djupare grundvatten tränger uppåt eller att vatten med marint ursprung (eventuellt Littorinahavet) blivit kvar i fickor. Exempelvis uppvisar provpunkten under Bolundsfjärden högre salthalt än dagens Östersjövatten.

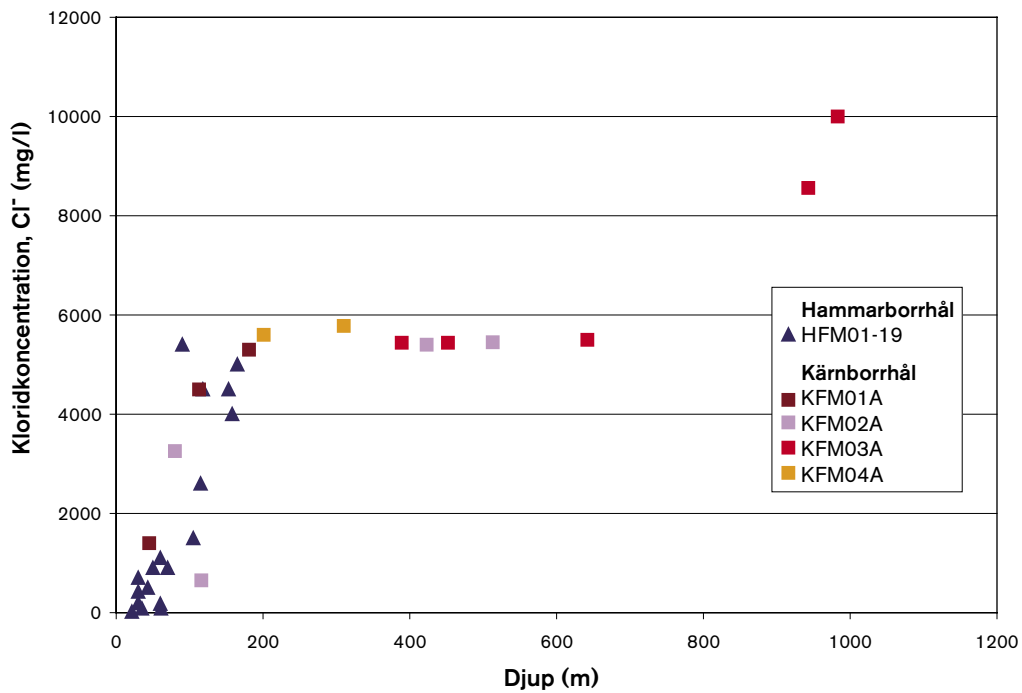
Hydrokemiska data har också erhållits från 19 hammarborrhål (HFM01 till HFM19) och fyra kärnborrhål (KFM01A till KFM04A), se figur 2-10. Proven från hammarborrhålen representerar i regel hela borrhålet medan kärnborrhålen är undersökta i ett antal avgränsade sektioner /Nilsson, 2004; Wacker et al. 2004a,b,c/.



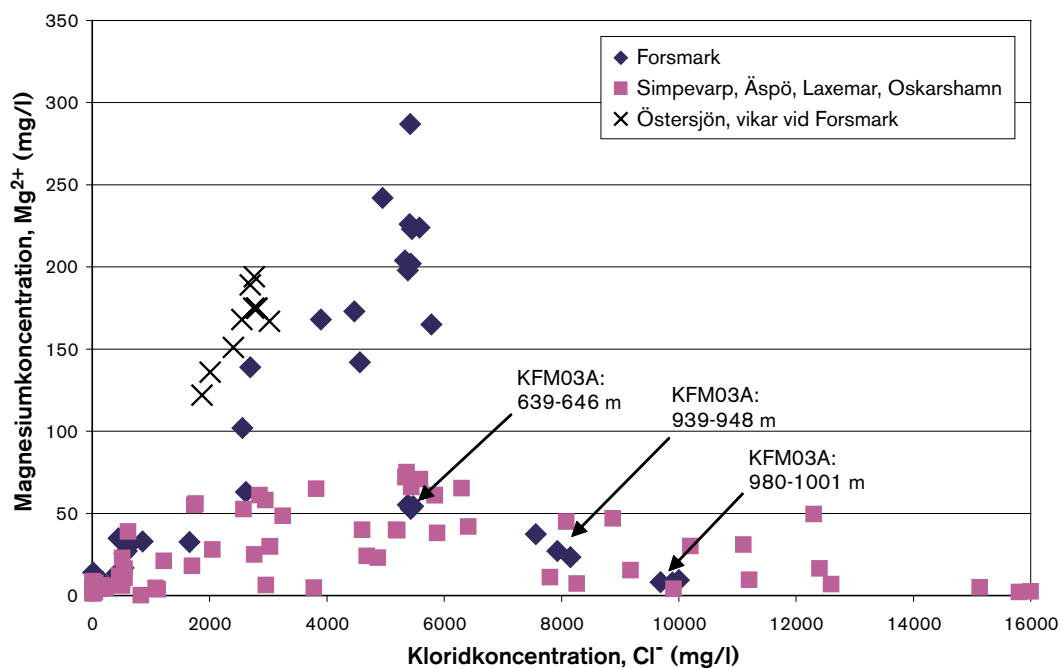
Figur 3-21. Provtagningspunkter för ytnära grundvatten under den första två år långa kartläggande kampanjen. Färgkoden anger typ av provtagningspunkt. Provpunkter som uppvisar kloridhalter ständigt över 1 000 mg/l är markerade med kryss.

En djupprofil med kloridhalterna från hammarborrhål samt undersökta sektioner i kärnborrhålen avsatta mot djupet presenteras i figur 3-22. För hammarborrhålen är det djupet på den mest vattenförande zonen som avses. Diagrammet visar tydligt hur kloridhalten ökar kraftigt med djupet för att plana ut vid dryga 5 000 mg/l i djupintervallet mellan 150 och 600 meter. På större djup ökar kloridhalten igen.

I Olkiluoto cirka 200 km från Forsmark på den finländska sidan av Bottenhavet, görs motsvarande undersökningar för det finska förvaret för använt kärnbränsle. En liknande koncentrationstrend med konstant kloridhalt i ett djupintervall från cirka 150 m har iakttagits även där. Dock ökar kloridhalten på nytt redan vid 500 m mot vid 600 m i Forsmark. Liksom Forsmark är Olkiluoto beläget i ett flackt, kustnära landskap på ungefär samma breddgrad som Forsmark, och det är rimligt att anta att grundvattnet där har en liknande historia som grundvattnet i Forsmark. De pågående utvärderingarna av Forsmarksdata tyder på att plattån vid 5 000 mg/l skapas av två vatten med samma kloridhalt men med olika ursprung, dels vatten med marint inslag från Litorinahavet (kloridhalt mellan 5 000 och 8 000 mg/l), dels ett mycket salt vatten från djupet som späts ut med glacialt smältvatten, se figur 3-23. Litorinahavet upptog Östersjösänkan för cirka 7 000 år sedan och kan ses som ett förstadium till den nuvarande Östersjön. Det flacka landskapet vid Forsmark innebär låg hydraulisk drivkraft, vilket har medfört att äldre grundvatten inte har kunnat omsättas i samma grad som i mer kuperade områden.



Figur 3-22. Kloridhalter vid olika djup i Forsmark. Röda kvadrater innebär vattenprov från 1 000 m långa kärnborrhål medan blå trianglar motsvarar prov från hammarborrhål ner till cirka 250 meter. För hammarborrhålen har punkterna avsatts vid djupet för den mest vattenförande zonen.



Figur 3-23. Magnesiumhalter plottade mot kloridhalter för vattenprov från borrhål i Forsmark och i Oskarshamnsområdet. Värderna för vattenprov från havsvikar nära Forsmark är givna som jämförelse. Diagrammet visar att det finns två typer av djupa grundvatten i Forsmarks borrhål med olika ursprung. Trots olika ursprung kan vattnen ha samma kloridhalt. Vattnen med marin signatur (*Litorina*) ligger nära dagens Östersjövatten medan de djupa vattnen liknar många grundvatten i Oskarshamnsområdet.

För att påvisa att det råder reducerande (syrefria) förhållanden i grundvattnet har redoxpotentialmätningar utförts i tre kärnborrhål och totalt sju borrhålssektioner vid olika djup. Redoxmätningarna i Forsmark är stabila och samstämmiga och erhållna värden ligger mellan -140 mV och -250 mV. De negativa värdena bekräftar att det inte förekommer syre i grundvattnet på dessa djup. Figur 3-24 visar ett exempel på redoxmätningar där värdet stabiliserar sig på cirka -190 mV.

I det hydrogeokemiska ämnesområdet ingår även mikrobiologiska undersökningar i grundvatten och de hittills erhållna resultaten omfattar borrhålssektioner i kärnborrhålen KFM01A, KFM02A och KFM03A. Aktiva mikroorganismer påverkar grundvattnets sammansättning och redoxpotential. Diagrammet i figur 3-25 visar hur olika typer av mikroorganismer dominerar inom olika redoxintervall.

3.6.3 Viktiga frågor som återstår att besvara

Den nordvästra delen av kandidatområdet har prioriterats för fortsatta undersökningar. Från detta område finns hittills inga kemidata från större djup än 200 m. Erfarenheter från tidigare borrhål i området tyder på att det kommer att vara mycket sparsamt med vattenförande sprickzoner på förvarsdjup och därunder, även i kommande borrhål. Varje möjlighet att göra kemiundersökningar på större djup måste därför tillvaratas.

Sedimentporvatten återstår att analysera. Skälet är att vatten som transporterats genom sedimentlager innehåller höga halter av restprodukter från organisk nedbrytning och därmed har en avvikande sammansättning jämfört med övriga vattentyper. Sedimentporvattnet kan därför eventuellt utgöra ett typvatten som bör ingå i blandningsberäkningar.

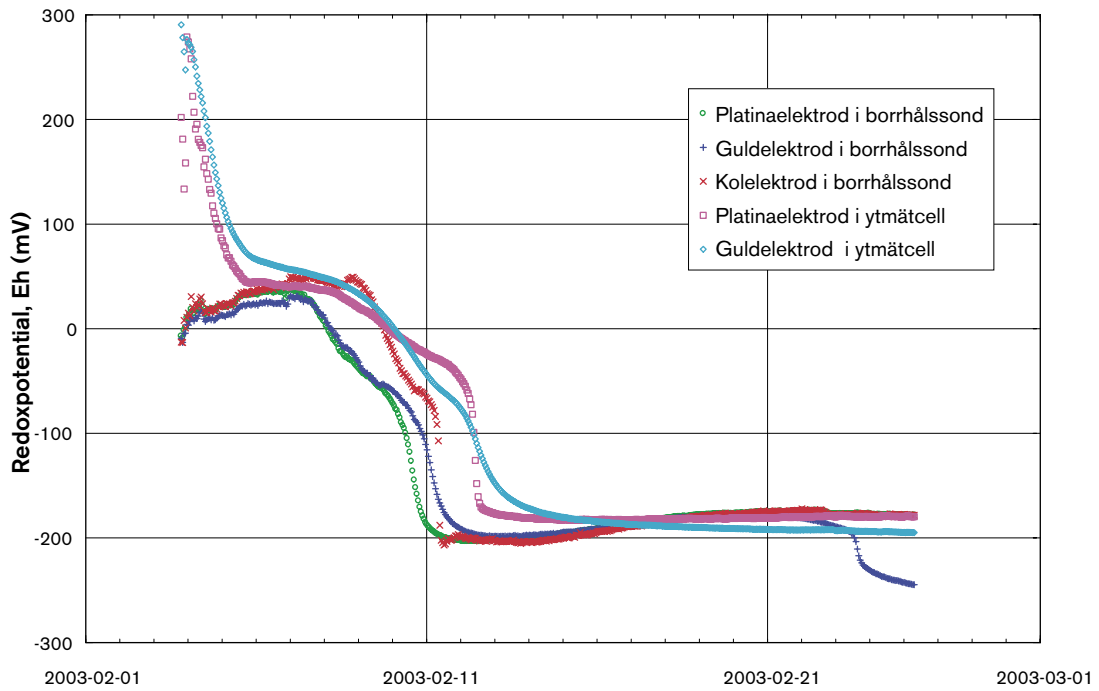
Eftersom det i stora delar av den bergvolym som undersöks finns så få vattenförande sprickor kan bergmatrisens porvatten få stor betydelse. Porvattnets sammansättning är därför en viktig fråga.

Vattnets innehåll av kolloider kan ha betydelse för nuklidtransport eftersom kolloider kan fungera som bärare av radionuklider. Det är svårt att bestämma kolloidinnehållet i grundvatten eftersom halten kan påverkas av i stort sett varje förändring av exempelvis tryck, pH, koncentration och temperatur i grundvattnet. Två metoder för kolloidbestämning används för närvarande, 1) fraktionering genom två cylindriska membranfilter med olika genomsläpplighet, det vill säga molekyler upp till en viss storlek passerar och 2) filtrering genom en serie filter med minskande porstorlek. Hittills har ingen kolloidförekomst kunnat påvisas i grundvattnet. För att säkerställa att kolloidhalten i grundvattnet är mycket låg eller icke existerande kommer en tredje metod för bestämning att testas som bygger på laserteknik.

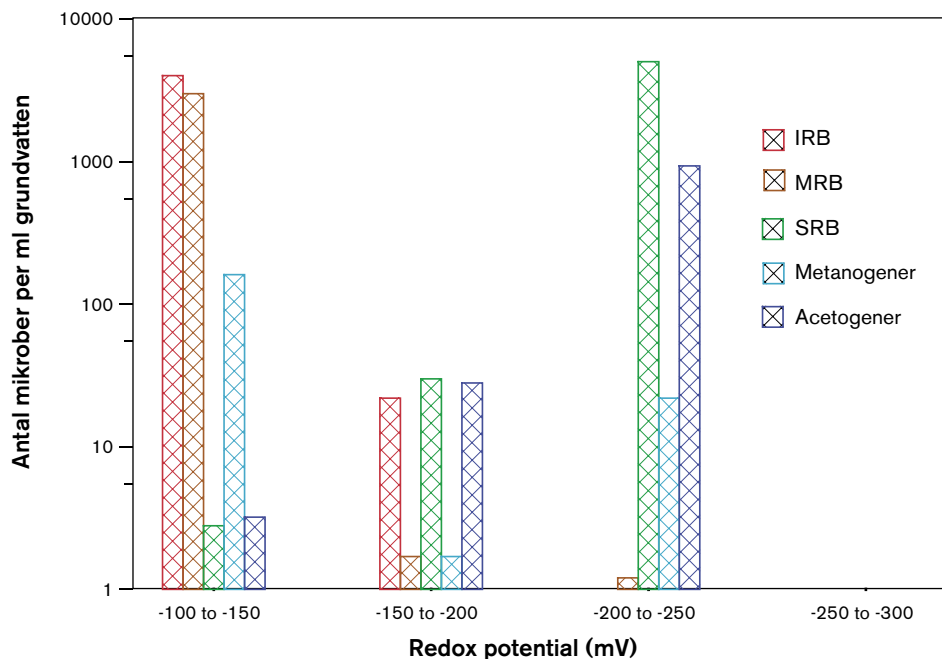
Utvärderingen av kemidata från datafrys 1.2 har knappt påbörjats vid skrivningen av detta program. Därför kan ytterligare frågeställningar komma fram och andra krav på prioriteringar bli nödvändiga när analysarbetet avancerat ytterligare.

3.6.4 Undersökningsprogram

Fortsättningsvis planeras undersökningar av främst djupa grundvatten. De två år långa kemiska kartläggningarna av ytvatten, nederbörd och ytnära grundvatten i kandidatområdet är så gott som avklarade med undantag av provtagning av nederbörd och ytnära grundvatten som kommer att pågå en bit in på år 2005. Vattenprovtagning i ett fåtal utvalda provpunkter övergår därefter i programmet för långtidsobservationer, se avsnitt 3.9.



Figur 3-24. Mätningar av redoxpotential (Eh) i kärnborrhål KFM01A, sektion 110–117 m. Kurvorna representerar olika mätelektroder. Den första perioden i mätningen med en skarpt nedåtgående trend representerar den process då det syre som följer med utrustningen ner i borrhålet förbrukas.



Figur 3-25. Resultat från mikrobundersökningar i olika sektioner av kärnborrhålen KFM01A, KFM02A och KFM03A i Forsmark som visar vilka mikrober som dominerar i olika redoxintervall. Förkortningar IRB (Iron Reducing Bacteria eller järnreducerare), MRB (Manganese Reducing Bacteria eller manganreducerare), SRB (Sulphate Reducing Bacteria eller sulfatreducerare).

Planerade hydrokemiska undersökningar omfattar kärnborrhål, hammarborrhål samt återstående aktiviteter avseende ytvatten och ytnära grundvatten. Undersökningarna presenteras nedan.

Hydrogeokemiska undersökningar i kärnborrhål

De hydrogeokemiska undersökningar som planeras i kärnborrhål, listade i kronologisk ordning från borringstillfället och framåt i tiden, är:

1. Uttag av vattenprov under borring med Wireline-sond eller annan teknik planeras i samtliga nya kärnborrhål. Dessa s k first strike prov är viktiga för att karakterisera grundvattnet innan borrhålets kortslutande effekt har verkat under alltför lång tid. Stora ansträngningar bör göras för att erhålla prov av god kvalitet, speciellt med tanke på tidigare problem med utrustning och vissa svårigheter att identifiera vattenförande sprickzoner när de passeras under borring.
2. Hydrokemisk loggning (eller slangprovtagning) strax efter färdigställandet av kärnborrhålet utförs efter en bedömning av spolvattensituationen i hålet. Spolvattnet används under borring av kärnborrhål för att kyla borrkronan och kommer från ett näraliggande hammarborrhål. I många av de djupa borrhålen i Forsmark finns de dominerande vattenförande sprickzonerna på mindre än 200 meters djup, och därunder är berget mer eller mindre tätt. Detta medför att vattenpelaren i djupare avsnitt av nyborrade borrhål ofta till största delen består av spolvatten. När detta befaras får den hydrokemiska loggningen utgå ur undersökningsprogrammet. Hydrokemisk loggning planeras i cirka fem kärnborrhål.
3. Alla längre kärnborrhål bör betraktas som kemiprioriterade (med undantag för det planerade hålet söder om Bolundsfjärden) tills det visar sig om de har lämpliga vattenförande sprickzoner eller inte. Planeringsmässigt antas att fullständig kemikarakterisering genomförs i tre borrhål och totalt nio borrhålssektioner. I den så kallade fullständiga kemikarakteriseringen ingår bakterieprovtagning som en delaktivitet. Sprickmineralanalyser utförs i samma borrhålssektioner som kemikarakteriseringen av grundvattnet.
4. Kompletterande undersökningar av vattenkemin i kärnborrhål kan göras under pump-tester och utspädningsmätningar. Det kan gälla kärnborrhål med en eller få vattenförande sprickzoner i djupintervall av mer begränsat intresse till exempel därför att det redan finns en hel del data från djupet ifråga i andra borrhål. Undersökningarna görs då främst för att komplettera den tredimensionella modellen. Här finns inget behov av avancerade provtagningsmetoder och komplicerade analyser på specialiserade laboratorier.
5. Porvatten från kärnprover från borrhål KFM06A kommer att analyseras. Beroende på utfallet av den första provomgången kan det bli aktuellt med liknande tester på prover från andra kärnborrhål.

Hydrogeokemiska undersökningar i hammarborrhål

I de omkring tio hammarborrhål som planeras ska flödesloggning utföras med utrustning för hydrotester. Dessa tester ger goda möjligheter att provta grundvatten för kemiska analyser med små extra arbetsinsatser. Borrhålen kommer att vara upp till 300 m långa. De mest dominerande vattenförande sprickzonerna i Forsmark finns ovanför 200 meters djup. Proven ger kemidata med god spridning över kandidatområdet i det mest vattenförande djupintervallet, speciellt inom den prioriterade platsen, och av tillräckligt hög kvalitet för den tredimensionella modellen samt för blandningsberäkningar.

Hydrogeokemiska undersökningar av ytvatten och ytnära grundvatten

De hydrogeokemiska undersökningar av ytvatten och ytnära grundvattnen som planeras utgörs av:

1. Den två år långa provtagningskampanjen för nederbörd liksom för ytnära grundvatten i jordrör, BAT-rör, privata brunnar och en naturlig källa kommer att upphöra under våren 2005. Därefter övergår provtagning av ytnära grundvatten i långtidsobservationerna, se avsnitt 3.9. Ett antal jordrör är placerade i sedimenten i sjöar och havsvikar. Ett par nya rör kommer att placeras i våtmarker och provtas i en särskild kampanj.
2. Uppföljning av vattensammansättning i näraliggande jordrör under kärnborrning. Vattensammansättningen behöver följas upp i eventuella nya jordrör liksom i gamla rätt placerade jordrör före, under och efter kärnborrningar, dels med avseende på miljöpåverkan, till exempel från drivmedel och smörjmedel, dels för att övervaka eventuella förändringar i vattensammansättning orsakade av hydraulisk påverkan under borringen.
3. Provtagning och analys av sedimentporvatten kommer att ske under vårvintern 2005 i cirka fyra provtagningspunkter, en i havet och tre i sjöar.

3.7 Transportegenskaper

3.7.1 Syfte och mål

Programmets huvudsyfte är att lämna underlag för beräkningar av transport av radionuklider till säkerhetsanalysen. De viktigaste transportegenskaperna i detta sammanhang är bergets förmåga att fördröja radionuklider genom:

- Sorption (fastläggning på sprickytor och i bergets porer).
- Diffusion (inträngning i mikrosprickor och i porer).

För reaktiva (sorberande) ämnen är några av de viktigaste parametrarna matrisdiffusivitet (ett mått på hur snabbt ett ämne kan tränga igenom, diffundera genom, bergmatrisen), matrisporositet och sorptionskoefficienter (mått som anger bergarters förmåga att fastlägga olika ämnen på sprickytor och i porer). Matrisdiffusiviteten kan även beräknas utifrån bestämningar av formationsfaktorn (mått som anger förhållandet mellan diffusion i bergmatrisen och i fritt vatten).

För icke-reaktiva (vattentrogna) ämnen är de viktigaste parametrarna flödesporositet, dispersivitet (mått på spridning av flödes hastigheter mellan sprickor eller i enskilda sprickor), sprickapertur (spricköppning) och gångtid.

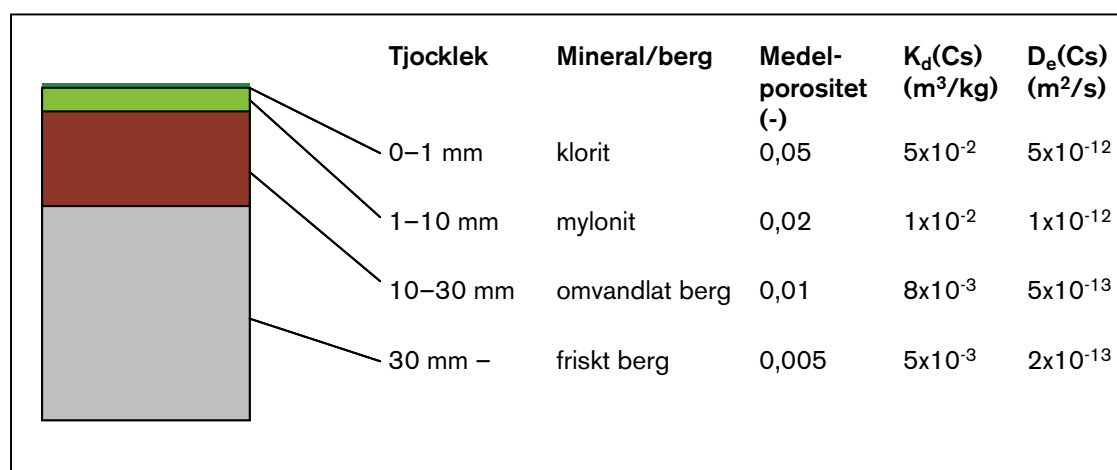
Dessa parametrar bestäms främst genom laboratoriemätningar på bitar av borrhärdar, men också indirekt genom spårämnesförsök och tolkning av bergets resistivitet. En annan väsentlig parameter att bestämma är grundvattenflödet som påverkar transporten av radionuklider.

Laboratoriemätningar har fördelen att de kan utföras under kontrollerade förhållanden men nackdelen att de utförs i en störd miljö, där proverna har blivit tryckavlastade och där kemin är annorlunda än i den naturliga miljön. Genom att tillämpa en kombination av laboratoriemätningar och fältmetoder (till exempel flerhållspårförsök och enhållspårförsök) försöker man övervinna problemet och åstadkomma en bättre förståelse för dessa processer.

Den strategi som leder fram till den platsbeskrivande transportmodellen består dels av en strategi för laboratoriemätningar och tolkningen av dessa /Widestrand et al. 2003/, och dels en modelleringsstrategi /Berglund och Selroos, 2003/. I den förra specificeras mängden prover och urvalet av typiska bergarter och spricktyper som ska undersökas. Strategin omfattar även ett tillvägagångssätt för hur prover som ska genomgå mer omfattande analyser av porositetsfördelning och sorptionsegenskaper ska väljas, och den anger, tillsammans med metodbeskrivningarna, hur data ska utvärderas.

Modelleringsstrategins fundament är att kombinera de tredimensionella flödesmodellerna över området med de uppmätta transportparametrarna. De förra ger en statistisk beskrivning av flödesvägarnas rumsliga fördelning, av de tillhörande gångtiderna för grundvattnet samt av transportmotstånden. Transportparametrarna utnyttjas för att upprätta en platsbeskrivande retardationsmodell som beskriver fördröjningen av radionuklider i flödesystemet. Flödesmodellerna i kombination med retardationsmodellen utgör underlag för en reaktiv transportmodellering, vars resultat, den platsbeskrivande transportmodellen, utgörs av bland annat genombrottskurvor för spårämnen vid spårförsök och av doskurvor vid säkerhetsanalysmodellering. Med andra ord kan man med hjälp av transportmodellen beskriva transporten av såväl sorberande som icke-sorberande ämnen på förvarsplatsen.

Ett exempel på hur en beskrivning av en spricktyp kan se ut finns i figur 3-26. Samtolkning mellan geologi, mineralogi, hydrogeokemi och transportegenskaper utgör en viktig del i den platspecifika retardationsmodellen.



Figur 3-26. Exempel på beskrivning av berget nära en sprickyta med typiska retentionsparametrar, K_d (sorptionkoefficient) och D_e (matrisdiffusivitet) /Widestrand et al. 2003/.

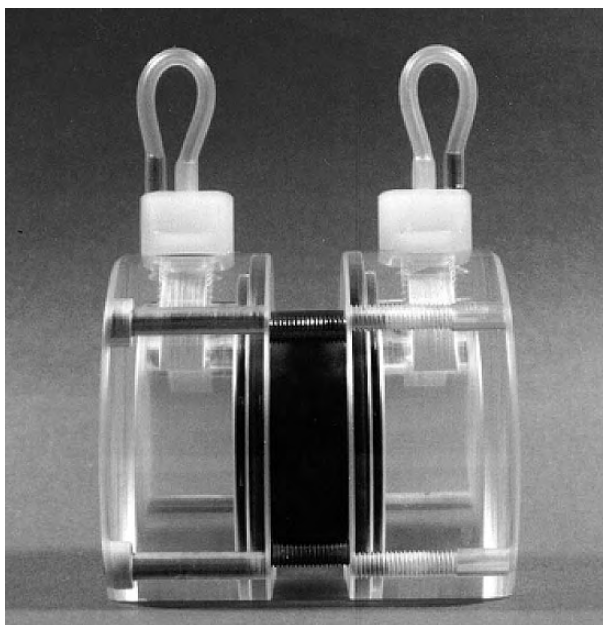
3.7.2 Viktiga resultat från genomförda undersökningar

Målet hittills har varit att inleda tidskrävande laboriemätningar på kärnbitar samt att genomföra grundvattenflödesmätningar i något av de första djupa kärnborrhålen /SKB, 2001b/. Detta mål har uppnåtts i och med att batchsorptionsmätningar startas hösten 2004 samt att grundvattenflödesmätningar och enhålsspårförsök (s k SWIW-tester av typen ”push and pull”) genomförs i KFM01A, KFM02A och KFM03A/3B under hösten 2004.

Genomdiffusionsmätningar (figur 3-27) har pågått sedan våren 2004 och bestämningar av bergets diffusionsegenskaper (porositet och formationsfaktorn) har genomförts på ett 100-tal kärnprover från KFM01A och KFM02A. Porositetsmätningarna indikerar låga porositeter, 0,1–0,3 %, med undantag för ett kort avsnitt i KFM02A med kraftigt omvandlad granit, se avsnitt 2.3.2, där porositeten är förhöjd, upp till 20 %. Data för diffusiviteter och formationsfaktorer levereras under hösten 2004. Baserat på den låga porositeten förväntas även formationsfaktorer vara låga, sannolikt i spannet 10^{-4} – 10^{-6} . Tidsplanen för samtliga genomdiffusionsmätningar har förskjutits cirka ett halvt år beroende på att i stort sett ingen av de mätmetoder som används inom ämnesprogrammet är att betrakta som standardmetoder. Ett stort arbete har därför ägnats åt att bestämma exakt hur metoden ska genomföras och vilken strategi som ska användas för att ta ut prover.

En utredning beträffande möjligheter att använda data från liknade bergart i Finnsjöområdet, beläget cirka 15 km från Forsmark, visar att endast ett fåtal data på diffusivitet och formationsfaktorer kan användas. De data som kan användas representerar en röd granodiorit med porositetsvärden runt 0,5 % vilket skulle ge formationsfaktorer i storleksordningen 10^{-5} .

Andra viktiga ingångsdata för beräkning av transport av radionuklider är grundvattenflöde, sprickfördelning och hydrogeokemiska egenskaper. Forsmarksområdets låga sprickfrekvens och flacka topografi indikerar att grundvattenflödena är låga, men inga data från fältmätningar finns ännu.



Figur 3-27. Borrhärnebit monterad i diffusionscell för bestämning av diffusivitet.

3.7.3 Viktiga frågor som återstår att besvara

Eftersom endast ett fåtal platsspecifika transportdata än så länge erhållits, återstår ett antal viktiga frågor att besvara.

Den viktigaste uppgiften blir att utarbeta ett bra underlag till säkerhetsanalysen gällande bergmassans och sprickzonernas diffusions- och sorptionsegenskaper. Viktigt är att undersöka de rumsliga variationerna i parametervärden för det intakta berget och att ta fram underlag för en identifiering och beskrivning av ”typsprickor” enligt föreslagen strategi. Denna information bör i huvudsak kunna fås från pågående laboratorieförsök, med vissa kompletteringar under de fortsatta undersökningarna.

Det är även viktigt att klarlägga grundvattnets naturliga rörelser inom kandidatområdet och dess randzoner. Hur stora vattenflöden strömmar genom området? Vilka är de ur strömningssynpunkt viktigaste zonerna och vilka flödesegenskaper har dessa? Sådana frågor kan besvaras genom att mäta grundvattenflöden i sprickor och sprickzoner och genom att uppskatta den hydrauliska gradienten. Härvid är förbindelser mellan sprickzoner på djupet och den högttransmissiva ytliga delen av bergrunden av speciellt intresse, men även förbindelser mellan sprickzoner är viktiga att kartlägga liksom hur vattenflödet varierar med djupet längs en sprickzon. Eftersom inga fältförsök har utförts ännu, saknas även transportparametrar från strömningsvägar inom området.

Andra viktiga frågor för ämnesprogrammet är utbredningen av de ytliga, flacka och högttransmissiva sprickorna/sprickzonerna och deras inbördes förbindelser. Undersökningarna har visat att dessa sprickor ställvis är sedimentfyllda, men kan ändå ha ”kanaler” med hög vattengenomsläpplighet. Pumptester i kombination med spårämnesförsök kan ge mer information om detta. Då jordlagren är relativt mäktiga inom området kan även sorptionsegenskaperna i dessa spela roll för fördröjningen av radionuklider. En utredning pågår för närvarande om hur jordlagrens sorptionsegenskaper bäst ska undersökas. Sannolikt kommer vissa batchsorptionmätningar att utföras.

3.7.4 Undersökningsprogram

Under 2005 kommer laboratorieprogrammet att intensifieras. Huvuddelen av alla genomdiffusionsmätningar, batchsorptionmätningar och porositetsfördelningsbestämningar med den sk PMMA-metoden kommer att genomföras det året. Förutom de redan startade mätningarna på material från undersökningsområdets centrala, sprickfattiga delar (dvs från kandidatområdet), kommer mer energi att läggas på sprickzoner och deformationszoner både inom den prioriterade platsen och i dess hydrauliska randzoner. Med randzoner avses här dels den tektoniska linsens yttre avgränsning bestående av plastiskt och delvis sprött deformerad, inhomogen bandad berggrund, dels de regionala hydrauliska ränderna (Forsmarks- och Eckarfjärdzonerna i sydväst samt Singöförkastningen i nordost). Under 2006 förväntas merparten av laboratorieundersökningarna att vara klara, varefter endast ett fåtal kompletterande mätningar utförs.

Under hösten 2004 görs bestämningar av formationsfaktorn genom en analys av fältdata från resistivitetsmätningar i kärnborrhålen KFM01A och KFM02A. Resultaten av denna ligger till grund för hur fortsatta analyser ska genomföras inom den prioriterade platsen. Det är dock sannolikt att liknande bestämningar kommer att göras i ytterligare ett antal borrhål då preliminära resultat från platsundersökningen i Oskarshamn visar på goda resultat. Grundvattenflödesmätningar och enhålsspårförsök (SWIW-tester), som under hösten 2004 utförs i kärnborrhålen KFM01A, KFM02A, KFM03A och KFM03B, kommer att genomföras i ytterligare 2–3 kärnborrhål under 2005–2007. Den exakta omfattningen av sådana mätningar är dock svår att förutse eftersom det i nuläget inte finns några undersökningsresultat och erfarenhet därför saknas.

Sannolikt kommer den stora flacka sprickzonen A2 att kartläggas ytterligare för att bland annat komplettera karaktäriseringen av dessas djuprelaterade egenskaper. Detta kan exempelvis åstadkommas dels genom att mäta vattenflöden i ytliga delen av zonen i hammarborrhål (HFM16 och HFM19) och dels mot djupet i samma zon i kärnborrhål KFM02A och det tillkommande djupa kärnborrhålet strax söder om Bolundsfjärden (S Bol).

De öppna, sedimentfyllda och flackt stupande sprickorna i den ytliga delen av berggrunden kan undersökas både med avseende på förbindelser, uthållighet och vattenomsättning genom grundvattenflödesmätningar i kombination med pumpning och spårämnesförsök. Ett lämpligt område att göra detta kan vara den nordvästra delen av undersökningsområdet i de hammarborrhål som planeras där.

Flerhållspårförsök kräver ofta förberedelser i form av en infrastruktur med ett antal instrumenterade borrhål. Med instrumentering menas i det här fallet att borrhålen delas upp i isolerade sektioner vilket möjliggör tryckregistrering och spårämnesinjicering i enskilda sprickzoner. Dessa flerhållspårförsök, som utförs sent när andra störande aktiviteter avslutats, är mycket viktiga för att ge en helhetsbild av vattentransportens storlek och transportvägarna i området. Förutom det ovan nämnda förslaget för de ytliga, flacka sprickorna, kan spårförsök längs en av de större sprickzonerna, företrädesvis A2 vara aktuellt när borrhålet söder om Bolundsfjärden (S Bol, cirka 1 400 m från KFM02A) finns tillgängligt.

Det kommer att utredas om det är möjligt att med de förhållanden som råder i det djupa berget i Forsmark genomföra spårförsök med både sorberande och icke-sorberande (vattentrogna) ämnen. En möjlig kandidat är A2-zonen vid borrhållsplats 2. Denna zon förekommer i borrhål KFM02A på 400–500 m djup. Ett andra borrhål, parallellt med det första och några tiotal meter därifrån, skulle kunna erbjuda en lämplig försöksuppställning. Eftersom nyttan av ett sådant spårförsök ännu inte har utretts har det nya borrhålet inte tagits med i planeringen tills vidare.

Transportegenskaperna hos den tektoniska linsens avgränsning kan studeras i något av de kommande kärnborrhålen som riktas antingen mot linsens nordöstra avgränsning, exempelvis KFM06C eller KFM08C, eller i de hål som borraras eller kommer att borraras genom den sydvästra avgränsningen (KFM04A eller KFM07A). Möjligheter kommer att finnas även att studera de regionala randzonernas transportegenskaper i de hål som planeras borraras genom dessa.

3.8 Borrning

3.8.1 Syfte och mål

Undantaget schaktning är borrning av olika slag den enda metod som står till buds för direkta undersökningar av jord och berg, under den observerbara ytan. Borrningen ger möjlighet att ta prover av materialet i form av kax (lossborrade fragment) eller kärnor direkt vid borrningen, och därefter tillträde för ett brett register av borrhållsbaserade metoder för att undersöka bergets egenskaper (exempelvis mineralfördelning, fysikaliska egenskaper, sprickor, belastningar) och grundvattnet (genomsläplighet, flöden, kemisk sammansättning). Borrning ger mer eller mindre glesa stickprov, vilket innebär uppenbara begränsningar eftersom geologiska material ofta kännetecknas av stor rumslig variation. Sättet att komma runt detta är att kombinera informationen från borrhål med kunskap om förhållandena på ytan (exempelvis från geologisk kartering) och undersökningsmetoder med förmåga att ”fånga” egenskaper över ytor eller volymer (exempelvis flyg- och markgeofysiska mätningar, borrhållsradar, seismiska metoder, hydrauliska tester).

Tre huvudtyper av borrhål nyttjas i platsundersökningen:

- Kärnborrhål, för undersökning av berget ner till som mest cirka 1 000 meters djup /t ex Claesson och Nilsson, 2003b/.
- Hammarborrhål, genom eventuella jordlager och den ytliga delen av berggrunden, ner till maximalt cirka 300 meters djup /t ex Claesson och Nilsson, 2003a/.
- Jordborrhål, genom jordtäcknet och ett kort stycke ner i ytberget.

Syfte och mål med de kärn- och hammarborrhål som planeras följer direkt av den övergripande strategin för återstoden av platsundersökningen, och redovisas i avsnitt 2.4. Jordborrning används dels för miljökontroll vid borrlatser, dels för undersökningar av kvartärgeologiska, hydrologiska och hydrogeokemiska förhållanden.

3.8.2 Viktiga resultat från genomförda undersökningar

Kartorna i figur 2-10 och figur 2-11 visar lägen och typ för samtliga borrhål som hittills utförts i undersökningsområdet.

De undersökningar som borrhålen används för ställer delvis unika krav på borrhålskonstruktioner och genomgående höga kvalitetskrav på utförandet. Kraven gäller bland annat raket och geometri i övrigt, materialval i installationer, renhet, spolvattenhantering samt dokumentation av borrhålsprocessen. Dessa krav har i allt väsentligt kunnat uppfyllas. De förändringar av tekniken som gjorts har syftat till förenkling och effektivisering, och har kunnat genomföras utan att ge avkall på kvalitetskraven.

Det innebär inte att borrhålen löpt helt utan missöden, något som knappast går att uppnå, allra minst vid kärnborrhål på stora djup. Men som helhet har störningsmomenten varit överraskande få och aldrig allvarliga. Den framgångsrika borrhålskonstruktionen är ett resultat av kunskap som byggts upp under tidigare skeden av avfallsprogrammet (typområden, Äspölaboratoriet, förberedelser inför platsundersökningarna), motsvarande kompetens hos utförande entreprenörer, och gynnsamma bergförhållanden.

Kärnborrhål

Läget i början av augusti 2004 är att fem kärnborrhål med längder strax över 1 000 meter har färdigställts och ett sjätte är under borrhålning. Till det kommer ett hål till 100 meters djup och ett till nära 500 m. Sex borrlatser har etablerats i området. Figur 3-28 visar en av dessa. Med borrrutrustning, arrangemangen för spolvattenhantering, försörjningssystem, kringutrustning, upplagsytor och tillfartsväg som behövs liknar en borrlats en mindre byggarbetsplats.

Tabell 3-1 sammanfattar tekniska data om borrhålen. Hålen är antingen nära vertikala eller har en lutning på 60 grader. Helt vertikala hål, liksom hål flackare än 60 grader, undviks av mättekniska skäl, även om de inte skulle innebära några borrhålningstekniska svårigheter.

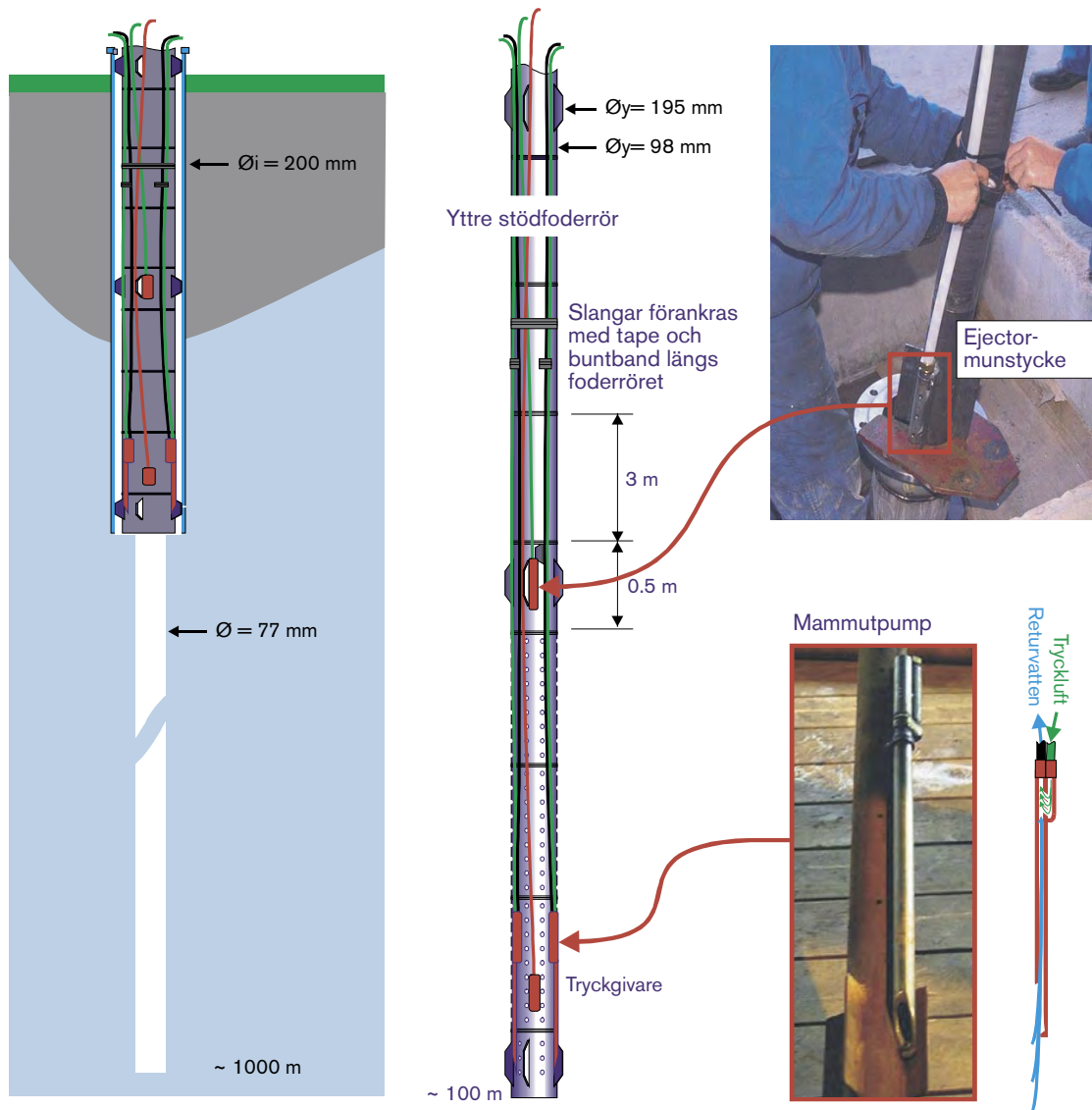
De djupa kärnborrhålen är alla av så kallad teleskopkonstruktion, se figur 3-29. Det innebär att de första cirka 100 metrarna hammarborras med en diameter på 200 mm, alternativt 250 mm om stabilisering och/eller tätning behövs. Om så är fallet kläs borrhålet in med ett rostfritt foderrör och spalten mot berget tätas med cement. Därefter installeras ett löst stöd-foderrör tillsammans med pump- och mätutrustning. Avslutningsvis monteras ytterligare ett foderrör som centrerar och stöd för borrhålssträngen. När detta är gjort kan kärnborrhålningens avsektionen 100–1 000 m börja.



Figur 3-28. Borrplats 1 under borringen av platsundersökningens första djupa kärnborrhål.

Tabell 3-1. Tekniska data för utförda kärnborrhål.

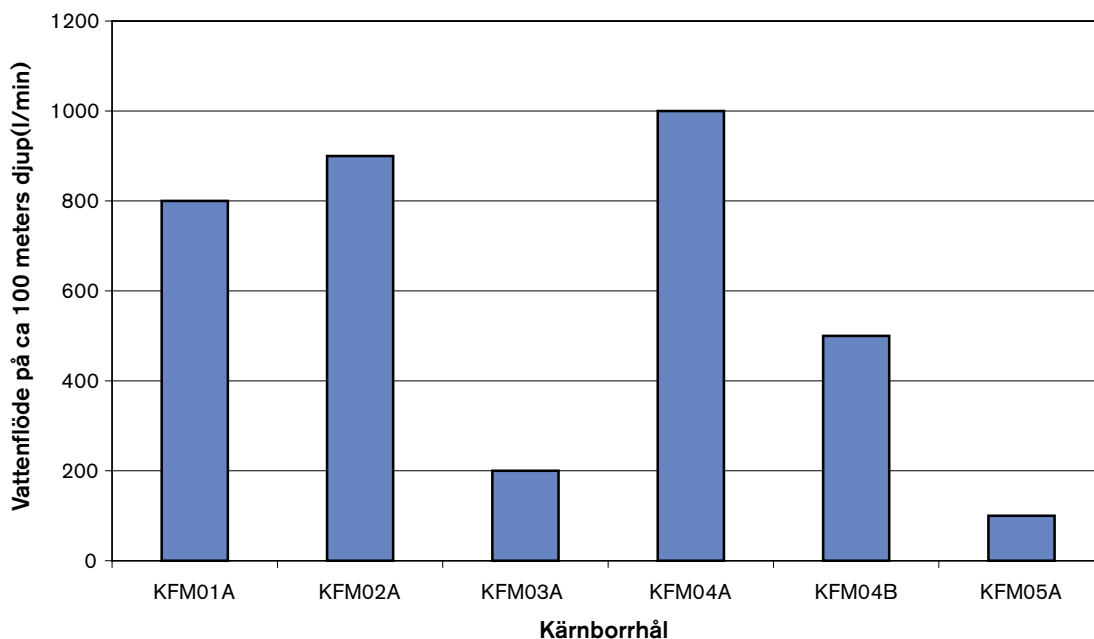
Kärnborrhål	Typ	Orientering (bäring/lutning)	Borrad längd (m)	Vertikalt djup (m)	Kommentar
KFM01A, Borrplats 1	Teleskopborrhål	318/85	1 001	982	Kemikaraktäriserat
KFM01B, Borrplats 1	Kärnborrhål	267/79	501	479	Bergspännings- mätningar samt komplettering till teleskophålet KFM01A map borrkärna 0–100 m
KFM02A, Borrplats 2	Teleskopborrhål	275/85	1 002	989	Kemikaraktäriserat
KFM03A, Borrplats 3	Teleskopborrhål	271/85	1 001	988	Kemikaraktäriserat
KFM03B, Borrplats 3	Kärnborrhål	264/85	102	93	Komplettering till teleskophålet KFM03A map borrkärna 0–100 m
KFM04A, Borrplats 4	Teleskopborrhål	45/60	1 001	794	Kemikaraktäriserat
KFM05A, Borrplats 5	Teleskopborrhål	81/60	1 003	825	Kemikaraktäriserat



Figur 3-29. Teleskopkonstruktion för kärnborrhål.

Kapaciteten för kärnborrningen har varit i genomsnitt cirka 90 meter per vecka (fyradagarsvecka med borrning dygnet runt). Med tillägg för etablering m m binder ett djupt kärnborrhål borrhutrustningen under cirka tre månader. Den kvartsrika granitiska berggrunden ger kraftigt slitage på borkronorna, och de täta byten av borkronor som blir följden begränsar framdriften. Å andra sidan bidrar sprickfattigt berg och effektiv kärnhantering till att höja framdriften.

De kraftigt vattenförande sprickor och sprickzoner som regelmässigt påträffas på djup ner till cirka 200 m har betydelse för borrningen, även på större djup. I de fall stora vatteninflöden inträffar på djup mindre än 100 m, det vill säga i den hammarborrade delen av teleskophålen, kan de i regel skärmats av i samband med installationen av foderrör, som spaltinjekteras mot borrhålsväggen. Figur 3-30 visar vatteninflöden, uppmätta innan hålen avskärmats på detta sätt. Finns de kraftigt vattenförande sprickorna däremot längre ner, i den kärnborrade delen, kan stora inflöden begränsa möjligheterna att under borrning detektera de avsevärt mindre inflöden som kan finnas på större djup.



Figur 3-30. Uppmätta vatteninflöden ner till cirka 100 meters djup i teleskopborrade kärnbrorhål. Vid installationen av foderrör avskärmas i regel dessa flöden.

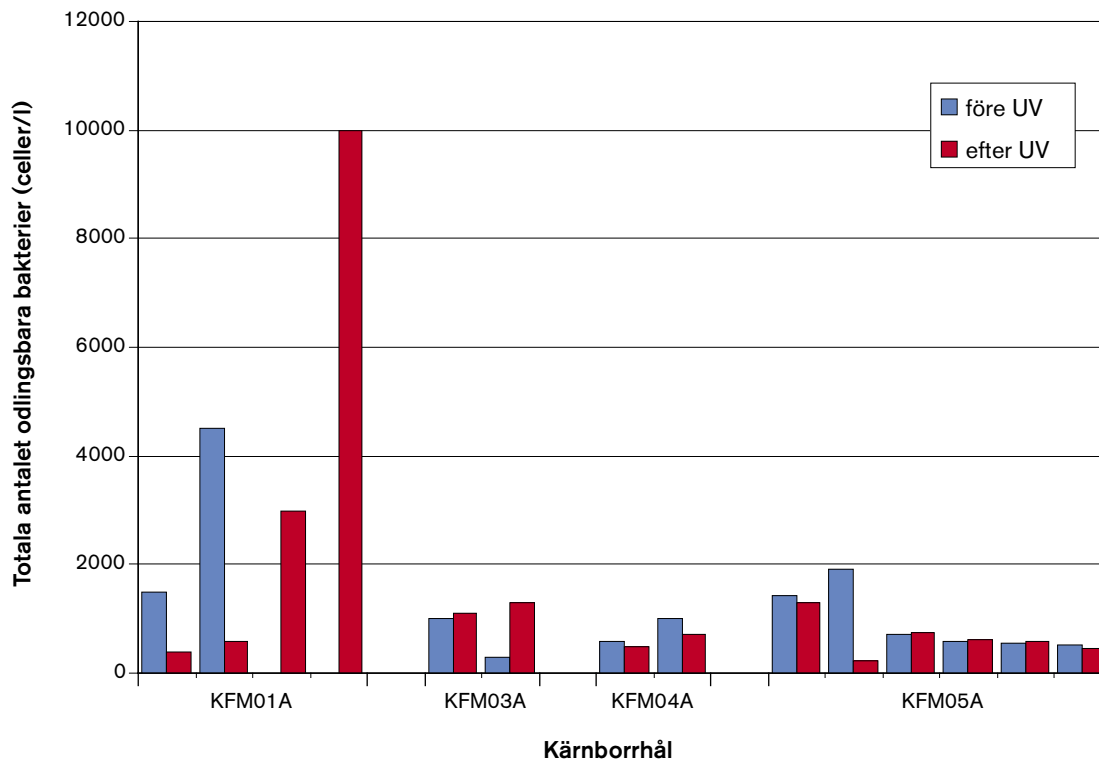
Kontroll av spolvatten

Spolvatten för kärnbrorningen tas från näraliggande, hammarborrade hål. Innan vattnet används för spolning kontrolleras kvaliteten. Kontrollerna har följande syften:

- Att inledningsvis kontrollera om vattenkvaliteten är tillräckligt bra, särskilt med avseende på TOC-halt (Total Organic Carbon). Halten organiska komponenter ska vara låg. Anledningen är att kolväten kan påverka de mikrobiologiska förhållandena i borrhålet och därmed orsaka felaktiga resultat vid senare undersökningar av mikrober i borrhålet. En praktisk gräns för spolvattnet har satts vid 5 mg/l.
- Att kontrollera mikrobhalten vid borring av hål där grundvattenkemiska undersökningar planeras.

Från den godkända brunnen pumpas vattnet till borrhålets plats, där hanteringen sker under övertryck av kvävgas för att minimera halten löst syre i vattnet. Efter bestrålning med UV-ljus och märkning med spårämne är vattnet klart att pumpas ner i borrhålet. UV-bestrålningen har till uppgift att eliminera mikrober. Märkningen med spårämne (uranin) gör det möjligt att detektera eventuella rester av spolvatten i vattenprover som tas i senare skeden.

En sammanfattning av de mikrobkontroller i spolvatten som hittills genomförts presenteras i figur 3-31. Staplarna visar resultat från upprepade prov på inkommande vatten från spolvattenbrunn, respektive vatten efter UV-bestrålning och tillsats av spårämne. Vad diagrammet speglar är en utveckling som lett till att mikrobhalten idag kan begränsas och kontrolleras betydligt bättre än i platsundersökningens inledningsskede. Halterna är nu så låga att UV-bestrålningen inte alltid ger någon förbättring, bland annat därför att tillsatsen av spårämne, som med nödvändighet måste göras efter bestrålning, kan tillföra mikrober.



Figur 3-31. Resultat av mikrobanalyser i spolvatten för borrning av fyra kärnbrorrhål. Halterna är nu så låga att UV-bestrålningen inte alltid ger någon förbättring, bland annat därför att tillsatsen av spårämne, som med nödvändighet måste göras efter bestrålning, kan tillföra mikrober.

Hammarborrning

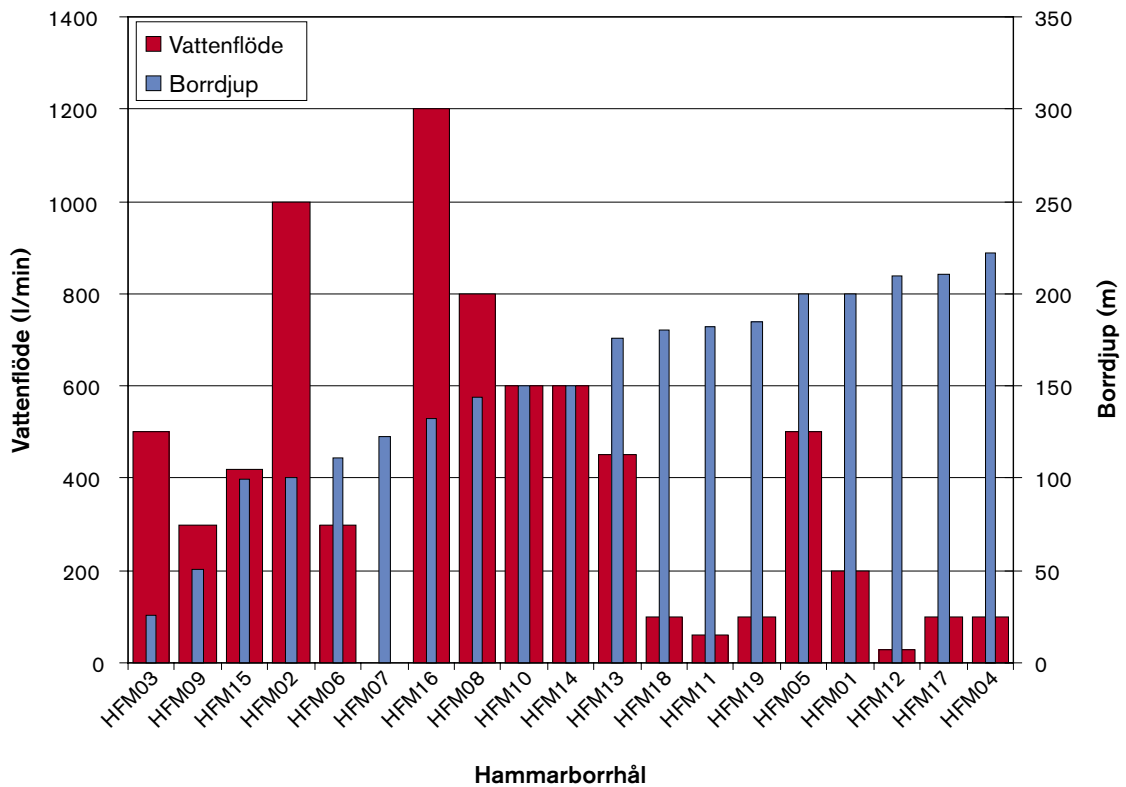
Förfarandet för att hammarborra hål genom jordlagret och ytberget har vidareutvecklats sedan platsundersökningen startade, vilket medfört effektivare borrning. Med det förfarande som nu används färdigställs ett 200 meters borrhål på 3–4 dagar. Totalt har 19 st hammarborrhål producerats. Flertalet är 100–200 m långa. Med få undantag har hammarborrhålen genomkorsat starkt vattenförande, flacka sprickor eller sprickzoner, se figur 3-32. Figur 3-33 visar djup och uppmätta flöden för samtliga, hittills utförda hammarborrhål. Som framgår av figuren kan vattenflödena inte korreleras till håldjup.

Jordborrning

Jordborrning har utförts med två huvudsyften. Dels har brunnar (10 stycken) borrats för miljökontroll vid borrplatserna, dels har hål borrats för att bestämma jorddjup och jordarter, mäta jordlagrens hydrauliska transmissivitet samt ta prover av grundvatten (61 stycken). Samtliga jordborrhål ingår i övervakningsprogrammet för grundvattennivåer och vissa används för att övervaka grundvattenkemi och ekosystem. Jordborrning görs med konventionell teknik. Borrmaskin väljs utifrån krav på kapacitet och framkomlighet. Figur A-6 i bilaga A visar en jordborrmaskin.



Figur 3-32. Hammarborrning av HFM16, varvid ett inflöde av grundvatten till borrhålet på 1 200 l/min uppmättes.



Figur 3-33. Håldjup och uppmätta vatteninflöden för samtliga hammarborrhål.

3.8.3 Undersökningsprogram

Kärnborrning

Programmet för den återstående kärnborrningen redovisas i sitt undersökningsstrategiska sammanhang i avsnitt 2.4. Tabell 3-2 visar planeringen omsatt i enskilda borrhål. Planeringsnivån varierar från fastlagda specifikationer för de kärnborrhål som ligger närmast i tiden, till bedömningar av vilka insatser som krävs i platsundersökningens slutskede. Den totala omfattningen bedöms till cirka 9 500 bormeter. Detta förutsätter att ytterligare en tung borrhåstrustning etableras, med start våren 2005. Förutom den nya maskinen planeras inga förändringar av teknik eller utförande för kärnborrningen.

Tabell 3-2. Planerade kärnborrhål i Forsmark, jämför tabell 2-2.

Läge, benämning	Längd (m)	Orientering (bäring/lutning)	Typ av hål, kommentar
Kartlägga den prioriterade platsens gränser och egenskaper			
Borrplats 6			
KFM06A	ca 1 000	NO/60	Kärnborrhål med teleskopdel
KFM06B	ca 100	Nära vertikalt	Kärnborrhål utan teleskopdel
KFM06C	ca 1 000	NO/60	Kärnborrhål med teleskopdel
Borrplats 7			
KFM07A	ca 1 000	~ V/60	Kärnborrhål med teleskopdel
Borrplats 8			
KFM08A	ca 1 000	~ NV/60	Kärnborrhål med teleskopdel
KFM08B	ca 200	~ V/60	Kärnborrhål utan teleskopdel
KFM08C	ca 1 000	Troligen NO	Kärnborrhål med teleskopdel
S Bol			
KFMXX	ca 700	Nära vertikalt	Kärnborrhål utan teleskopdel, preliminärt överborrningsmätningar
Underlag för nedfarter och centralområde			
Borrplats 7			
KFM07B	ca 500	Nära vertikalt	Kärnborrhål utan teleskopdel, överborrningsmätningar
Ramp			
KFMXX	ca 600	Troligen brant	Ej bestämt
KFMXX	ca 300	Ej bestämt	Ej bestämt
KFMXX	ca 300	Ej bestämt	Ej bestämt
Karaktärisera hydrauliska randområden			
NO			
KFMXX	ca 700	Ej bestämt	Ej bestämt
KFMXX	ca 700	Ej bestämt	Ej bestämt
SV			
KFMXX	ca 700	Ej bestämt	Ej bestämt
KFMXX	ca 700	Ej bestämt	Ej bestämt

Tidsplan och sekvens för återstående kärnborrning visas i figur 3-34. Planen bedöms som snäv men realistisk, utifrån de erfarenheter som finns från den inledande platsundersökningen. Liksom hittills kan förseningar i viss mån kompenseras i efterhand med temporära ökningar av intensiteten i arbetet.

Hammarborrning

Preliminärt beräknas 10–15 hammarborrhål behöva borras, med koncentration till den prioriterade platsen och till de hydrauliska ränderna.

Jordborrning

Endast ett mindre antal kompletterande jordborrhål, bl a för miljökontroll, planeras under platsundersökningens återstående del.

	2004	2005	2006	2007
Borrhål som syftar till att kartlägga den prioriterade platsens gränser och egenskaper				
Borrplats 6	KFM06B ■	KFM06A ■	KFM06C ■	
Borrplats 7		KFM07A ■	KFM07B ■	
Borrplats 8		KFM08A ■ KFM08B ■	KFM08C ■	
Söder Bolundsfjärden		S Bol ■		
Borrhål som syftar till att ge underlag för nedfarter och centralområde				
Borrplats 7 (se ovan)				
Rampläge		BH 1, 2 och 3-ramp ■ ■ ■		
Borrhål som syftar till att karaktärisera hydrauliska randområden				
Sydvästra randområdet			BH 1-SV ■	BH 2-SV ■
Nordöstra randområdet			BH 1-NO ■	BH 2-NO ■
Hammarborrning		■		

Figur 3-34. Tidsplan och sekvens för återstående kärnborrning. Från och med våren 2005 kommer programmet att engagera två tunga kärnborrmaskiner och under kortare perioder även en lättare maskin. De olika maskinerna är markerade med varsin färg.

3.9 Långtidsobservationer⁸

För många av de parametrar som ingår i platsundersökningen är det viktigt med långtidsobservationer, inte minst för att ge en referensram för såväl säkerhetsanalys som projektering samt för bedömning av påverkan på miljö och hälsa.

Många av de undersökta parametrarna, som nederbörd och grundvattennivåer, kommer att uppvisa mer eller mindre tydliga variationer över tiden. En orsak till detta är de årstidsmässiga variationerna i nederbörd och temperatur. Det kan också finnas andra och mera oförutsägbara orsaker, som långsiktiga variationer eller trender i meteorologiska parametrar, liksom slumpmässiga händelser, som leder till att en eller flera parametrar varierar över tid. Dessutom kan undersökningar och arbeten i jordlagren och i berggrunden medföra att parametrar påverkas.

Att kunna tolka och förstå variationer över tiden är en viktig del i arbetet att etablera platsens primära jämförelsedata (primary baseline data). Långtidsobservationer är därför en viktig del av platsundersökningen. Med platsens primära jämförelsedata som referens kan man upptäcka förändringar som beror på utbyggnad av djupförvaret, och skilja mellan naturliga förändringar och variationer i tid och rum som beror på mänskliga aktiviteter.

För de parametrar som uppvisar en tydlig variation över tiden behövs tidsserier, av minst två skäl. För det första omfattar platsundersökningen för många parametrar en uppskattning av ”typiska” värden (medelvärde, medianvärde etc) eller extremvärden (min, max etc), liksom ett mått på hur dessa värden varierar. Kunskap om mönster hos och omfattningen av variationer över tid kan vara kritisk för vår förmåga att korrekt beskriva platsspecifika förhållanden och för att modellera processer som är viktiga. För det andra kommer många platsspecifika förhållanden att förändras under utbyggnad och drift av djupförvaret, både av naturliga orsaker och som följd av verksamheten på platsen. För att kunna upptäcka och kvantifiera förändringar är det nödvändigt att ha en tydlig bild av ”ostörda” förhållanden vid platsen. Dessutom kan kunskap om ostörda förhållanden, tillsammans med goda referensdata, kraftigt förbättra våra möjligheter att skilja mellan naturliga förändringar och förändringar som beror på verksamhet vid platsen.

Platsundersökningen innefattar därför insamling av tidsserier för alla viktiga parametrar som uppvisar en tydlig variation över tiden, det vill säga parametrar för vilka en ögonblicksbild inte räcker för att karakterisera ostörda förhållanden eller processer eller de som kan förväntas ändras på grund av uppförande och drift av ett djupförvar. Detta slag av naturliga variationer gäller i första hand ekologiska, hydrologiska, hydrogeologiska och grundvattenkemiska parametrar som uppmäts nära markytan. Men det kan också förekomma parametrar, främst hydrogeologiska, som uppvisar betydande tidsmässig variation även på stort djup. I programmet ingår dessutom registrering av seismisk aktivitet.

För att programmet för uppföljning och långtidsobservationer inte ska bli orimligt/onödigt omfattande kommer SKB fortlöpande att utvärdera resultat från och erfarenheter av programmet. Valet av parametrar, provtagningspunkter samt provtagnings- och analysfrekvens kommer att baseras på utvärdering och analys av tidigare insamlade data. Det nu aktuella urvalet av parametrar och provtagningspunkter för långtidsövervakning utgår således från resultat från hittills genomförda undersökningar. Observerade variationer både över tid och i rummet har varit viktiga faktorer för detta val.

⁸ Uppföljning och långtidsobservationer, även benämnt monitering (eng. monitoring), definieras i /Bäckblom och Almén, 2004/ som ”Sammanhängande eller upprepade observationer eller mätningar av parametrar för att öka den vetenskapliga förståelsen av platsen och förvaret, för att visa att krav är uppfyllda eller för att anpassa planer med hänsyn till resultat från långtidsobservationerna”.

Platsundersökningen kommer endast att ge tidsserier över några få år. För att få kunskap om mer långsiktiga trender kommer underlaget att kompletteras med redan tillgängliga långtidsmätningar av bland annat meteorologiska data. Dessutom planeras det nedan redovisade programmet att följas av ett program för långtidsobservationer och övervakning under hela bygg- och driftskedet. /Bäckblom och Almén, 2004; Andersson et al. 2004/.

I följande avsnitt behandlas programmet för monitorering under platsundersökningsskedet. Även om programmet i huvudsak redovisas per ämnesområde kommer flera aktiviteter att genomföras samordnat.

3.9.1 Meteorologi

Meteorologiska mätningar är nödvändiga ingångsparametrar för beräkning av ett områdes vattenbalans och utgör väsentliga underlag för att definiera randvillkor för de hydrologiska och hydrogeologiska beräkningsmodellerna. Meteorologiska uppgifter är också viktiga ingångsdata för bullermätningar och bullerberäkningar eftersom bullerutbredningen i hög grad påverkas av den aktuella vädersituationen.

Genomförda undersökningar

Meteorologiska data i form av nederbörd, snödjup, temperatur, vind, luftfuktighet, lufttryck, molnighet och globalinstrålning kan erhållas från befintliga mätstationer som drivs av SMHI. För att tillförlitligheten i data ska vara hög, bör dock inte avståndet till mätstationerna vara alltför stort. I Forsmark har SKB valt att upprätta egna meteorologiska mätstationer. Dels har en befintlig vädermast vid Forsmarksverket (Högmasten) utnyttjats och mätutrustningen där har uppdaterats, dels har en helt ny vädermast etablerats i kandidatområdet sydöstra del vid Storskäret, se figur 3-35. Snödjup och snöns vatteninnehåll har mätts vid olika utvalda lokaler inom kandidatområdet.

Det första verksamhetsåret under platsundersökningen ägnades åt planering och etablering av dessa system. Meteorologiska data har därefter kunnat insamlas under cirka ett års tid. Mätdata går först till SMHI för kvalitetskontroll och inlagras därefter i SKB:s HMS-system (Hydro Monitorings System), som är ett registrerings-, datalagrings- och presentations-system för hydrogeologiska, yhydrologiska och meteorologiska data /Lindell et al. 1999; Larsson-McCann et al. 2002; Aquilonius och Karlsson, 2003; Heneryd, 2004/.

Undersökningsprogram

Datainsamling kommer att fortsätta enligt de rutiner och med den teknik som etablerats under den inledande platsundersökningen som underlag för platsbeskrivningen och som indata, kalibrering och validering av de hydrologiska och hydrogeologiska modellerna (lokal och regional) över Forsmarksområdet. Mätningarnas omfattning framgår av tabell 3-3.



Figur 3-35. Meteorologisk mätstation vid Äspölaboratoriet i Oskarshamn. En liknande station har etablerats vid Storskäret.

Tabell 3-3. Meteorologimätningar.

Parameter	Registreringsfrekvens	Storskäret	Högmasten
Vindriktning och vindhastighet (på 10 m höjd)	var 30:e min (medelvärde)	x	x
Lufttemperatur	var 30:e min (medelvärde)	x	x
Luftfuktighet	var 30:e min (medelvärde)	x	x
Nederbörd	var 30:e min (summa)	x	x
Globalinstrålning	var 30:e min (medelvärde)	–	x

Referensdata

Som referens och jämförelse med de data som kommer att samlas in vid SKB:s stationer i undersökningsområdet finns ett antal närbelägna SMHI stationer, se /Larsson-McCann et al. 2002/. Data från vissa av dessa stationer utnyttjas redan idag för jämförelser med platsundersökningsdata från Forsmarksområdet.

3.9.2 Hydrologi

Flertalet ythydrologiska mätningar liksom vattenkemiska data för ytvatten från sjöar, vattendrag och havet utanför Forsmark är väsentliga även för ämnesprogrammet ytnära ekosystem och utförs därför i samarbete med detta program.

Genomförda undersökningar

Ythydrologisk kartläggning av topografi, lägen för vattendrag, sjöar och källor samt avgränsning av avrinningsområden utfördes i inledningskedet av platsundersökningen. Senare har kompletteringar utförts, till exempel nivåbestämning av fallinjen för de viktigaste bäckarna inom och strax utanför kandidatområdet. Befintliga mätserier från vissa av vattendragen i undersökningsområdet med närområde ger ett första underlag för att bestämma avrinning från undersökningsområdets avrinningsområden. För att förbättra dataunderlaget har en mätstation med två mätrännor installerats i ett av de största vattendragen inom kandidatområdet, se figur A-8 i bilaga A. Insamling av data påbörjades under första kvartalet 2004.

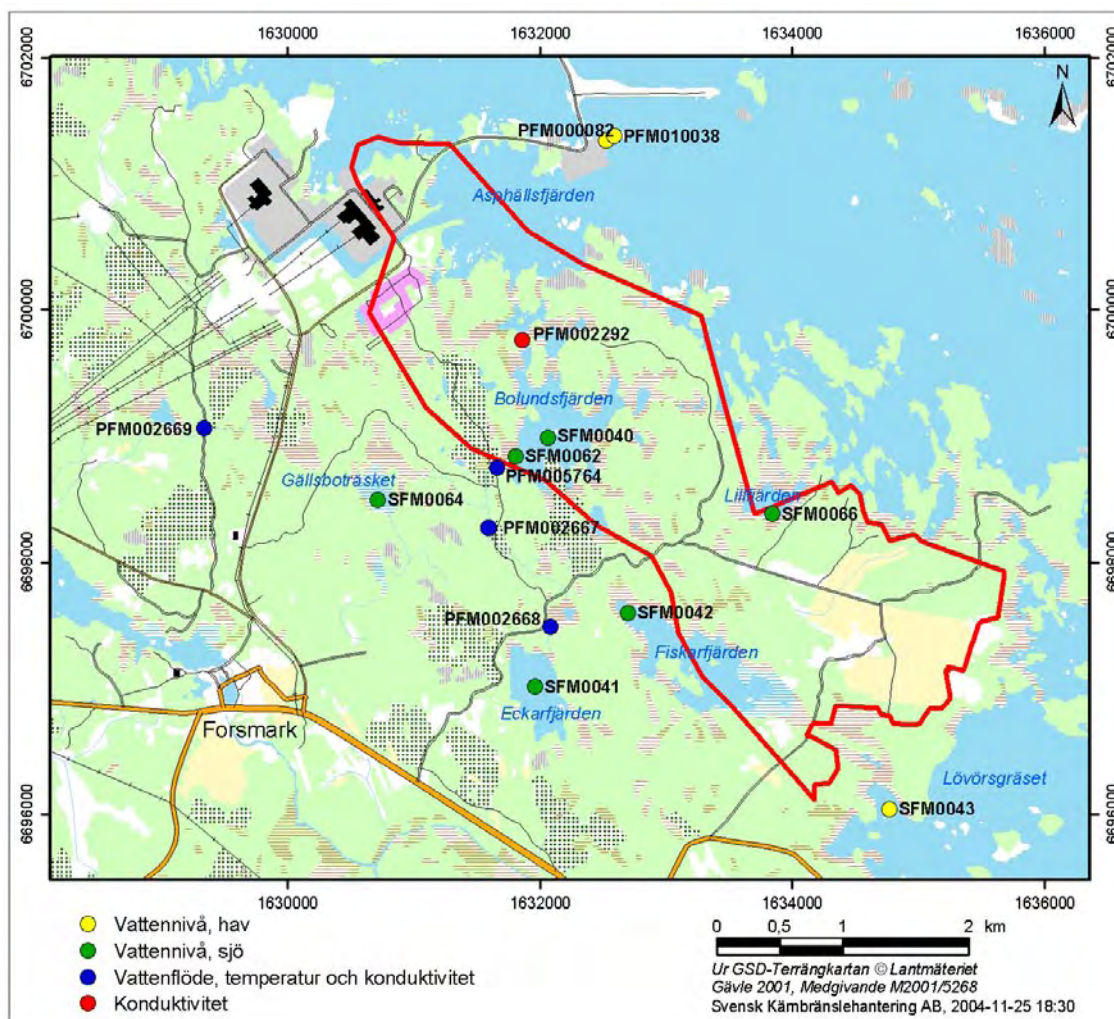
Undersökningsprogram

Många av de miljökonsekvenser som potentiellt skulle kunna uppstå i samband med byggnation och drift av djupförvaret är kopplade till vatten. Det är därför av stor vikt att SKB övervakar grund- och ytvatten på platsen, både vattennivåer och -sammansättning. Dessutom behövs data om ytvatten som indata till de hydrologiska och hydrogeologiska modellerna och för deras kalibrering och validering. Under sista kvartalet 2004 kommer därför ytterligare tre vattenföringsstationer av samma typ som den första att installeras. Datainsamlingen från vattenföringsstationerna, som förutom flöde även omfattar kontinuerlig registrering av temperatur och konduktivitet, kommer att fortgå under hela platsundersökningen enligt etablerade rutiner. Dessutom registreras vattennivån kontinuerligt i sex punkter i sjöar och tre punkter i havet. Mätstationernas läge framgår av kartan i figur 3-36.

Referensdata

Det finns ingen vattenföringsstation med reguljära långvariga mätningar i undersökningsområdets omedelbara närhet som skulle kunna utgöra referens för de mätningar som utförs inom platsundersökningen. SKB bedömer dock att de vattenföringsstationer som nu finns i Forsmark är fullt tillräckliga eftersom de kan utgöra referens för varandra. Något beroende på var förvaret eventuellt kommer att lokaliseras bör stationerna vid Eckarfjärdens och Gunnarsboträskets utlopp vara möjliga att använda som referenser. Om någon speciell aspekt behöver belysas finns dessutom möjlighet att använda data från specialundersökningar som gjorts i små undersökningsområden i olika sammanhang, till exempel forskningsprojekt och miljöövervakningsprogram. För att förlänga de relativt korta tidsserier som hinner insamlas inom projektet finns möjlighet och stor erfarenhet av att simulera vattenföring utifrån meteorologiska data.

Platsundersökningen inkluderar mätning av grundvattennivåer och grundvattenkemi i ett stort antal grundvattenrör i jord. Därmed finns det mycket goda möjligheter att genom jämförande analyser se om djupförvaret orsakar påverkan i en viss punkt. För att även kunna sätta mätningarna under platsundersökningen i relation till grundvattenförhållandena över en längre tidsperiod kan data från SGU:s grundvattennät användas.



Figur 3-36. Mätstationer för kontinuerlig registrering av vattenflöde, vattentemperatur, vattennivå och konduktivitet.

3.9.3 Hydrogeokemi

Utförda undersökningar

Under den inledande platsundersökningen, utfördes en omfattande kemisk kartläggning av ytvatten inom området, se avsnitt 3.6.2. Ytvattenprogrammet övergick därefter i juli 2004, i ett monitoringsprogram med ett reducerat antal provtagningspunkter och med reducerad provtagningsfrekvens.

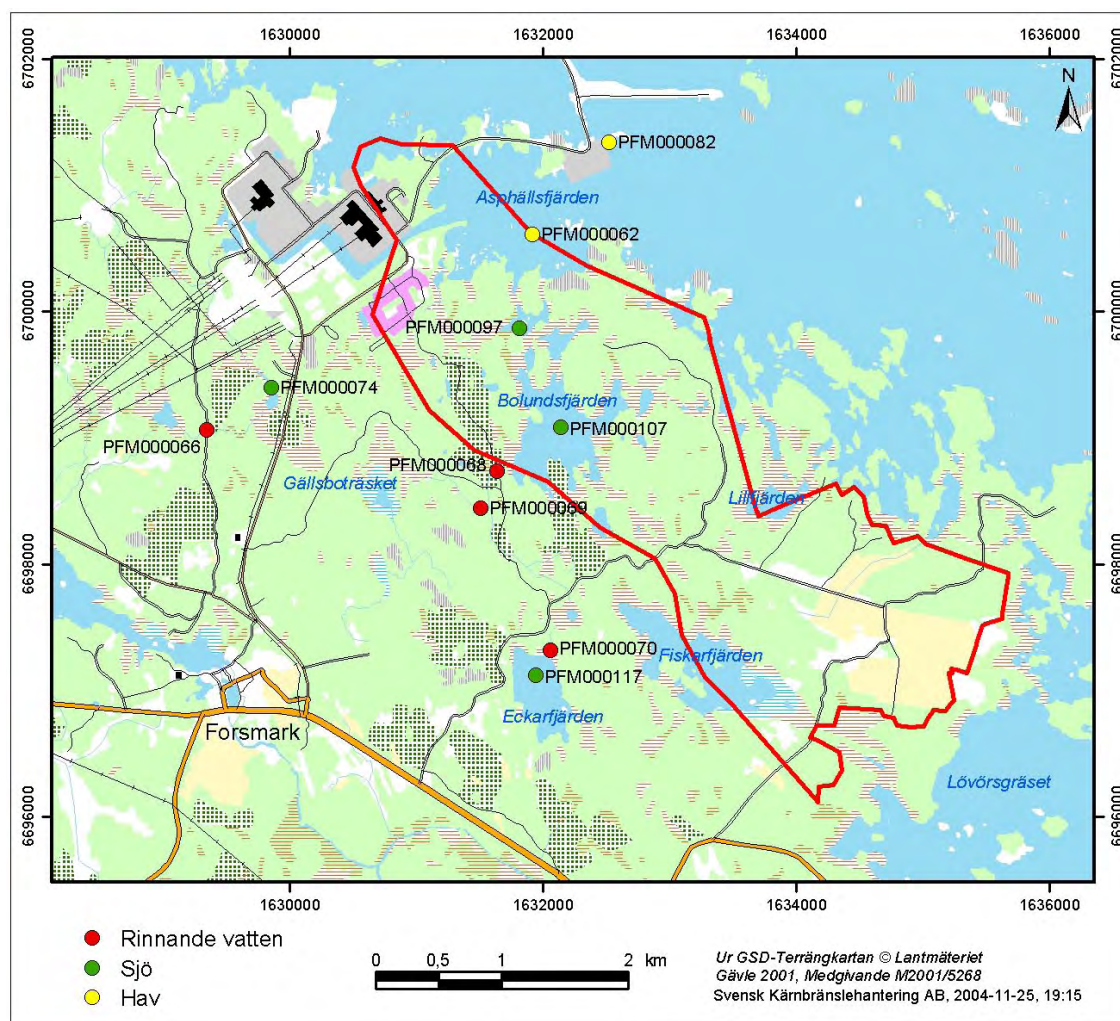
Undersökningsprogram

Långtidsobservationer innebär återkommande uppföljning av vattensammansättningen i ett antal observationspunkter bestående av ytvatten, jordrör samt sektioner av hammarborrhål och kärnborrhål. Syftet är dels att använda resultaten som hjälp att förstå områdets hydrologi och hydrogeologi, dels att se om och hur verksamheten under platsundersökningsskedet påverkar grundvattensammansättningen, och dels att skapa data i långa tidsserier för modelleringsändamål.

Moniteringsprogrammet för ytvatten, som genomförs i samverkan mellan ämnesområdena, hydrogeokemi och ytnära ekosystem, omfattar provpunkter både i sjöar, vattendrag och havet, se figur 3-37. Punkterna finns i två olika avrinningsområden, dels det som innehåller Bolundsfjärden, vilket ses som potentiellt ”påverkansområde”, och dels avrinningsområdet strax norr om detta och som preliminärt betraktas som ett referensområde. Provtagning sker en gång per månad och analysomfattningen varierar över året, se tabell 3-4. Provtagningsfrekvensen kan komma att ändras efter den utvärdering av programmet som planeras ske under 2005.

Referensdata

När det gäller ytvattenkemin gör SKB egna provtagningar i Gunnarsboträskets avrinningsområde strax norr om undersökningsområdet. Sjöarna i Forsmarksområdet är kalkoligotrofa, vilket är en relativt ovanlig sjötyp. Detta begränsar möjligheterna att välja referensområde. Två års provtagningar har dock visat att Gunnarsboträskets avrinningsområde liknar Bolundsfjärdens avrinningsområde (som ligger i undersökningsområdet) i så hög grad att Gunnarsboträsket är relevant som referensområde när det gäller ytvattenkemin. Referensdata för ytnära grundvattenkemi, se avsnitt 3.9.2 och för grundvatten i hammarborrhål, se avsnitt 3.9.5.



Figur 3-37. Provtagningspunkter för monitorering av ytvatten.

Tabell 3-4. Långtidsobservationer avseende ekologi, hydrologi och hydrogeokemi – parametrar som mäts respektive analyseras, provtagningsfrekvens och provtagningspunkter.

Parametergrupp	Provtagnings- frekvens ^[1]	Provtagningspunkt						
		sjö	hav ^[2]	vattendrag				
Närsalter m m, vattenfärg, absorptions	12 ggr/år	X	PFM00062/ PFM00082	PFM00066	PFM002292	PFM00068	PFM00069	PFM00070
Huvudkomponenter (Na, Ca, K, Cl, SO ₄ m fl)	12 ggr/år	X	X	X	X	X	X	X
Fältningsmätningar (mätning med sond av temp., pH, konduktivitet, turbiditet, juss, syre, klorofyll och redoxpotential)	12 ggr/år	X	X	X	X	X	X	X
Miljömetaller (Cu, Zn, Pb, Cd m fl)	4 ggr/år	X	X	X	X	X	X	X
Tritium, deuterium, O-18	4 ggr/år	X	X	X	X	X	X	X
"Lätta isotoper" (Cl-36, C-13, C-14, Sr-87, S-34)	1 ggr/år (juli)	X	X	X	X	X	X	X
"Tunga isotoper" (uran, thorium, radium, radon)	1 ggr/år (juli)	X	X	X	X	X	X	X
Konduktivitet	kontinuerligt	-	-	-	-	-	-	-
Temperatur	kontinuerligt	-	-	-	-	-	-	-
Vattenflöde	kontinuerligt	-	-	-	-	-	-	-

^[1] Provtagningsfrekvensen kan komma att ändras efter den utvärdering av programmet som planeras ske under 2005.

^[2] Normalt sker provtagning vid punkt PF□

Utöver de undersökningar som ingår i programmet för monitorering av ytvatten omfattar, enligt nuvarande planer, det fortsatta hydrokemiska monitoringsprogrammet:

- Prov på ytnära grundvatten i jordrör, tre observationspunkter och fyra gånger per år.
- Vattenprov i hammarborrhål (provtagningen påbörjas successivt vartefter instrumentering av borrhålen färdigställs, sannolikt är samtliga borrhål instrumenterade i slutet av 2006), cirka 15 borrhål, en sektion i varje borrhål, två gånger per år.
- Vattenprov i kärnborrhål (provtagningen påbörjas successivt vartefter instrumentering av borrhålen färdigställs, sannolikt är samtliga borrhål instrumenterade i slutet av 2006 eller början av 2007), cirka 10 borrhål, två sektioner i varje borrhål, två gånger per år.
- Provtagning för bedömning av dricksvattenkvalitet i privata brunnar. Provtagning och analys är viktigt för att kunna påvisa eventuell påverkan på grund av verksamheterna under platsundersökningen. Dricksvattenkontroll utförs i privata brunnar inom eller nära kandidatområdet. Kontrollen omfattar provtagning och analys vid ett tillfälle per år.

3.9.4 Ekologi

Inom ämnesområdet ytnära ekosystem planeras långtidsobservationer för ytvatten, vilt och fåglar, områden med parametrar som alla tre uppvisar en variation över tiden och som kan komma att påverkas vid utbyggnad och drift av djupförvaret.

Ytvatten

Se avsnitt 3.9.2 Hydrologi och 3.9.3 Hydrogeokemi.

Vilt

SKB måste ha kunskap om eventuella förändringar av viltpopulationer av intresse för människan i det berörda området samt i referensområdet. Sådan kunskap utgör ett underlag för att avgöra om och i så fall hur SKB:s verksamhet påverkar viltpopulationerna. För detta har SKB valt att fortsätta med det sk förvaltningsprogrammet för älg, det vill säga den insamling och älggräkning som jaktlagen utför och där SKB betalar analyskostnaderna. Övervakningen ska ske årligen, i första hand under perioden 2005–2008.

Fågel

Fåglar utgör en för allmänheten intressant del av faunan och kan vara känsliga för störningar från SKB:s verksamhet. Att följa fågelfaunan i området är därför en viktig del i övervakningen. För detta ändamål kommer häckningsframgången att följas för ett antal känsliga arter (t ex vissa rovfåglar). Den revirkartering som gjorts runt borrhålplatserna 1, 2 och 3 under två år ska följas upp en gång under den fortsatta platsundersökningen. Övervakningen ska i första hand pågå under perioden 2005–2008. Den linje- och punkttaxering som genomförts tidigare i området kommer att upprepas en gång under den fortsatta platsundersökningen.

Referensdata

Data från undersökningar och långtidsövervakning inom ytnära ekosystem kan jämföras med resultat från motsvarande mätningar i andra områden i Sverige. Information från sådana mätningar finns tillgänglig i databaser hos till exempel Naturvårdsverket, Fiskeriverket, Lantbruksuniversitet (SLU) och Svensk viltförvaltning. Information från den årliga uppföljningen av fågelfaunan i Forsmark jämförs med uppgifter från svensk fågeltaxering som utförs på flera hundra lokaler runt om i Sverige. På motsvarande sätt görs jämförelser mellan Forsmarks undersökningsområde och Hållnäs norr därom vad avser vissa arter av jaktbart vilt.

3.9.5 Hydrogeologi

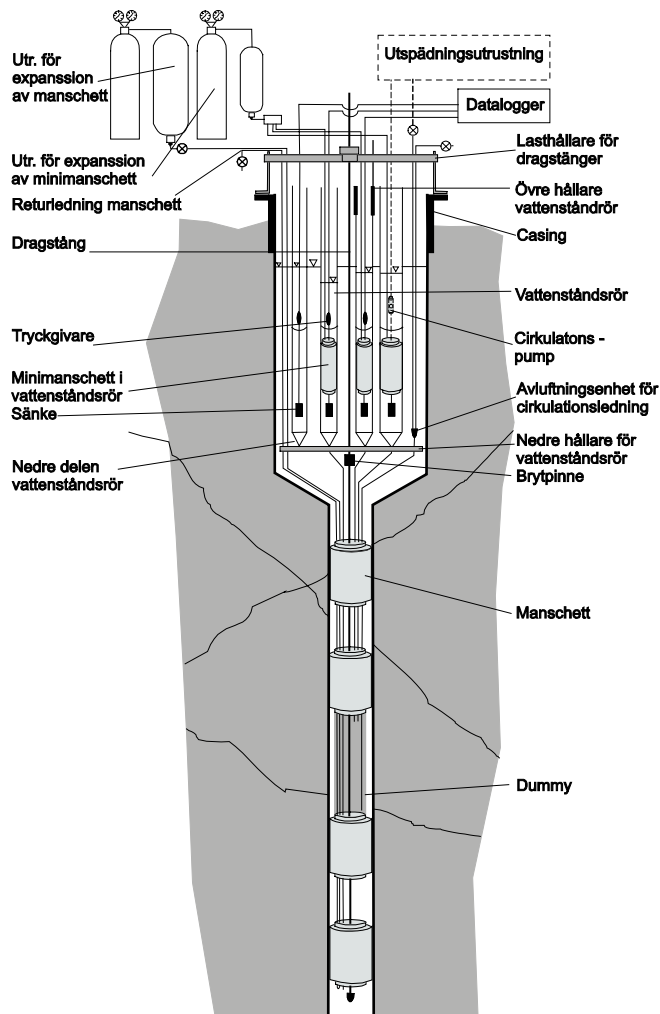
Hydrogeologiska långtidsobservationer utgör underlag till att beskriva grundvattnets tryck- (egentligen potential-) och flödesfördelning i jordlagren och i bergmassan. Syftet är att mäta naturliga grundvattennivåvariationer före byggandet av ett djupförvar men utrustningen används också för att mäta tryckresponser under enhålpumptester och interferenstester. I ett senare skede ska monitoringsystemet även kunna mäta tryckresponser under tunneldrivningen för djupförvaret. Även andra hydrauliska störningar, till exempel från borrning, kan mätas och i vissa fall bidra till underlaget för den hydrogeologiska modellen /SKB, 2001b/.

Moniteringen går till så att djupa kärnborrhål sektioneras av med hjälp av expanderbara gummimanschetter, så att trycknivån i grundvattnet kan mätas i varje sektion, se figur 3-38. Upp till tio sektioner är möjliga att isolera med manschetter och mäta tryck i, men i borrhål med endast få sprickor och sprickzoner kan antalet sektioner bli betydligt färre. Av de tio trycksektionerna kan två sektioner per borrhål utrustas så att provtagning och/eller cirkulation av vattnet i sektionen är möjlig genom att två extra slangar ansluts och en flyttbar pump installeras. Den ena slangen mynnar i botten på sektionen och den andra i toppen. Flödet genom den avgränsade sektionen bestäms genom att ett spårämne tillsätts och dess utspädning med tiden mäts. Dessa sektioner utgör även injiceringspunkter eller provtagningspunkter vid flerhållsspår försök i senare skeden av platsundersökningen.

I hammarborrhål är det möjligt att använda högst tre manschetter, varför grundvattentryck kan mätas i fyra sektioner, varav en dessutom kan vara utspädningssektion. I jordrör mäts endast grundvattennivån i en sektion. Tryckgivare mäter grundvattentrycket, som omräknas till nivåer, och data lagras i det tidigare nämnda HMS-systemet.

Monitering av grundvattenflöden görs i syfte att kvantifiera påverkan av borrhåll och framtida eventuella tunneldrivningar. Flöden, och förändringar i flöden kan dessutom användas för kalibrering av hydrologiska modeller.

Ett öppet borrhål utgör en kortsluten förbindelse mellan spricksystem på olika nivåer i borrhålet. Monitoringsutrustningen fyller även funktionen att isolera dessa från varandra och förhindrar därmed en okontrollerad omblandning av grundvatten från olika nivåer, eventuellt med olika kemisk sammansättning. Långtidsövervakningen bör påbörjas så snart alla övriga borrhållsundersökningar är avslutade. Å andra sidan, eftersom installationsarbetena för monitering i speciellt kärnborrhål är mycket omfattande och kostsamma, är det väsentligt att man är säker på att borrhålet inte behöver användas för ytterligare undersökningar innan monitoringsinstallationen påbörjas.



Figur 3-38. Principen för långtidsobservation av grundvattennivåer i sektionerade borrhål.

Genomförda undersökningar

Moniteringsutrustning för tryckregistrering har installerats i cirka 40 jordborrör samt i tre hammarborrhål. All utrustning är nykonstruerad och nytillverkad och vissa injusteringsproblem har förekommit. Efter att dessa lösts, har tryckregistreringarna fungerat klanderfritt och är mycket värdefulla bland annat för registrering av tryckresponser på olika typer av störningar (främst borring) som görs under platsundersökningen.

Grundvattennivåmätningarna i jordrören har givit viktig information om grundvattennivåernas läge och variation i olika delar av undersökningsområdet, grundvattnets strömningsriktning och gradienter samt tillsammans med mätningarna av nivåer i ytvatten och i berg givit uppgifter om in- och utströmningsförhållandena.

Undersökningsprogram

Tidsplanen för fortsatta installationer av monitoringsutrustning under den fortsatta platsundersökningen är helt avhängig av när borrhål är borrade och färdigundersökta. Preliminärt planeras följande omfattning och utsträckning i tid för de fortsatta installationerna:

- Hösten 2004: ett djupt (ca 1 000 m) kärnborrhål med teleskopdel, ett medeldjupt (ca 500 m) kärnborrhål (utan teleskopdel), ett 100 m långt kärnborrhål (utan teleskopdel) samt två hammarborrhål.
- Våren 2005: fem djupa kärnborrhål med teleskopdel och 12 hammarborrhål.
- Hösten 2005: ett djupt kärnborrhål med teleskopdel, ett medeldjupt (ca 500 m) kärnborrhål, ett kort kärnborrhål och tre hammarborrhål.
- Våren 2006: tre djupa kärnborrhål med teleskopdel, fem medeldjupa (ca 700 m) kärnborrhål, två korta (100–200 m) kärnborrhål samt tio hammarborrhål.

Monitering i ytterligare några borrhål kan tillkomma på initiativ av avnämare eller granskare.

Referensdata

Grundvattennivån och grundvattnets sammansättning i den ytliga delen av berggrunden (ner till som mest cirka 300 m) moniteras i relativt många hammarborrade hål inom platsundersökningen. SGU:s brunnsarkiv utgör en värdefull databas som sannolikt kan erbjuda ett bra jämförelsematerial, såväl vad avser grundvattennivå som grundvattnets sammansättning.

3.9.6 Geologiska observationer

Geologisk monitering omfattar dels mätningar av långsamma kryprörelser längs med sprickzoner i berget och dels registrering av jordskalv i närområdet till undersökningsplatserna Oskarshamn och Forsmark men också i hela Sverige /SKB, 2001b/.

Genomförda undersökningar

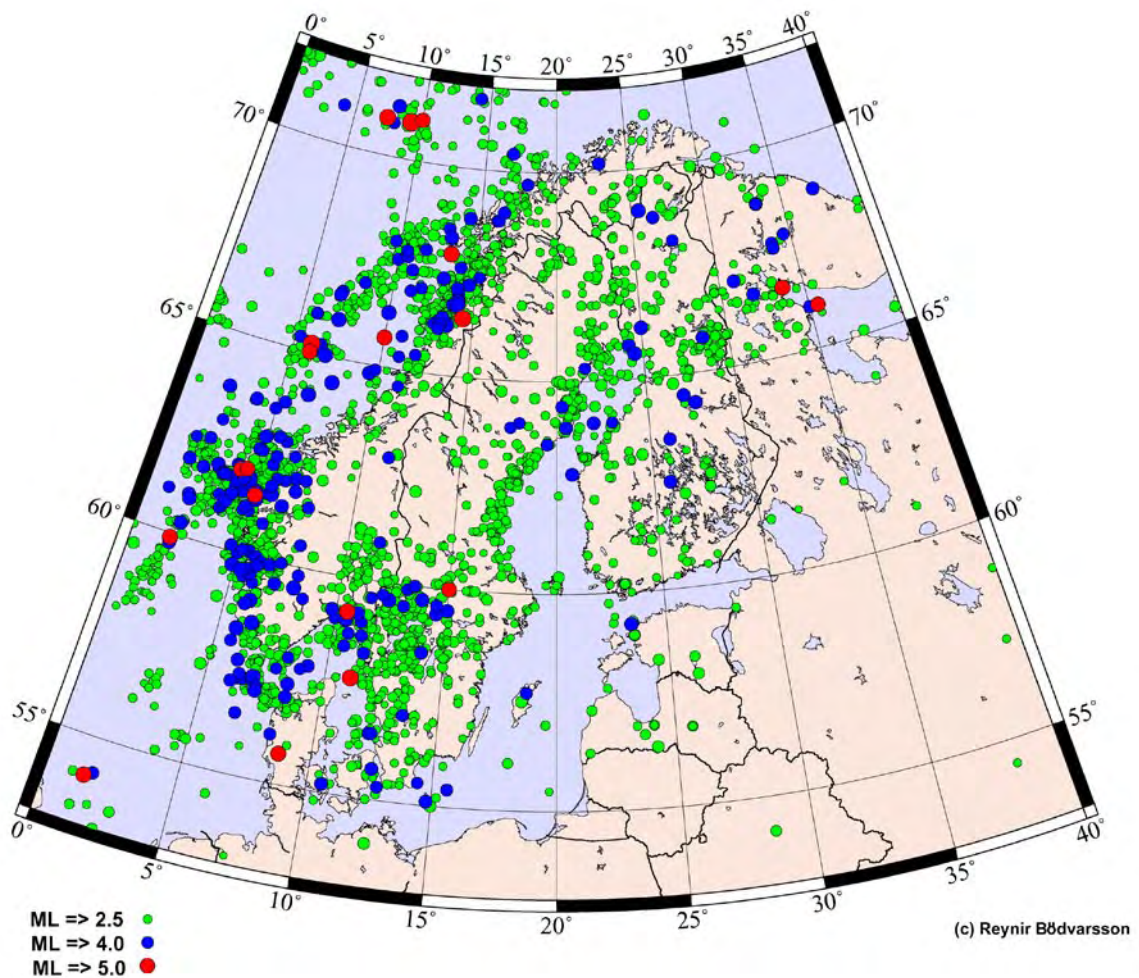
Rörelser i berget

Längs större sprickzoner kan det förekomma mycket små rörelser, så kallade kryprörelser. För att få en uppfattning om eventuella kryprörelser längs sprickzoner inom och i de regionala omgivningarna till de två undersökningsområdena i Oskarshamn har en metodstudie med GPS-baserad mätteknik genomförts där mellan 2000 och 2004. Metodstudien visar att tekniken inte är en praktiskt framkomlig väg för att studera små rörelser i berget. Bland annat skulle det krävas mycket långa tidsserier för att erhålla användbara resultat. SKB har därför beslutat att avsluta mätningarna med GPS-teknik.

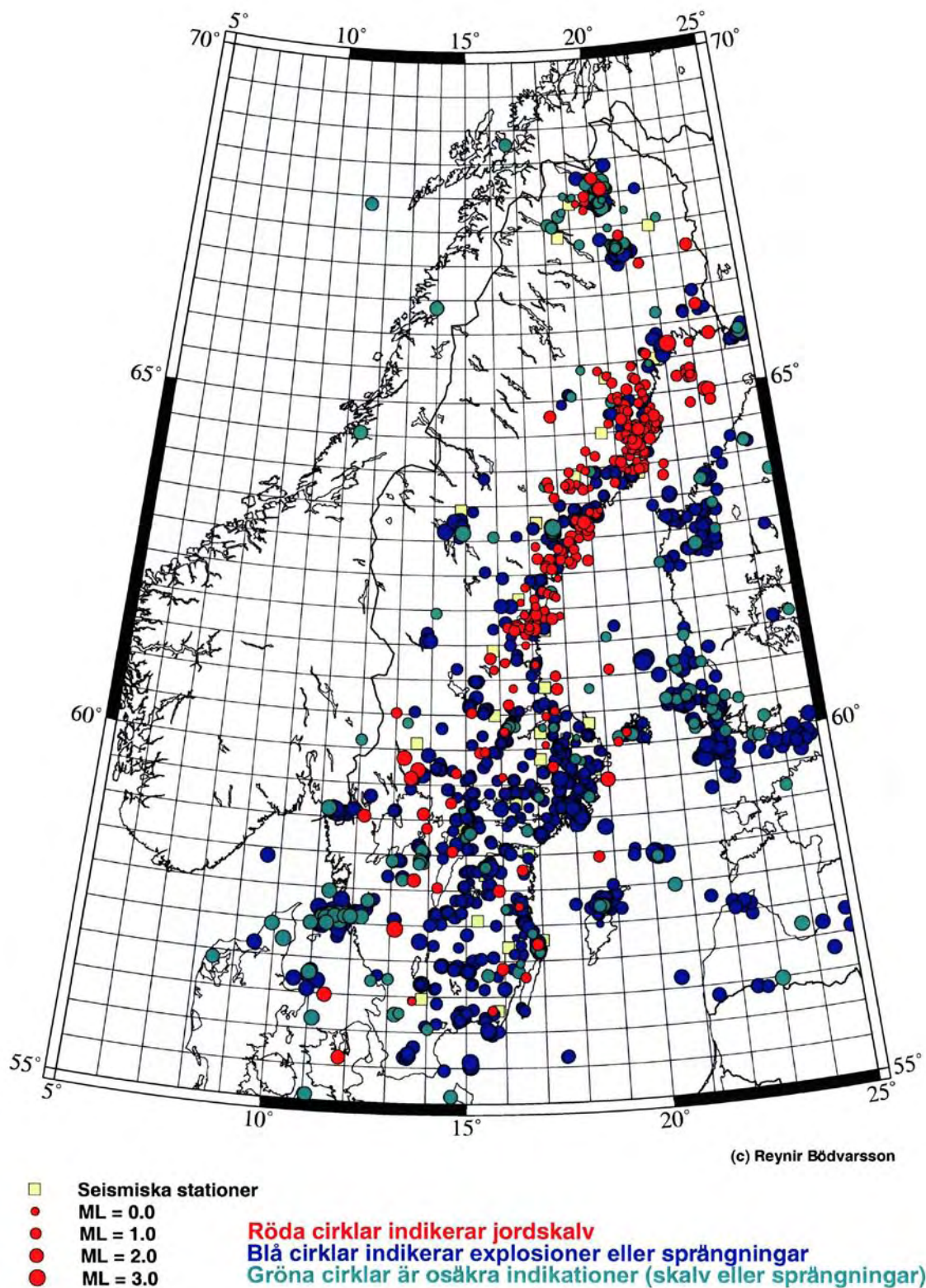
Andra metoder kommer att övervägas för att få ökad kunskap om förhållandena i närheten av de platser som nu undersöks.

Jordskalv

Under 2002 genomfördes, med finansiering från SKB, en kompletterande utbyggnad av det nationella seismologiska nätet från Gävle i norr till Oskarshamn i söder. Målet med det seismologiska nätet är att kunna registrera jordskalv ned till en magnitud nära noll på Richterskalan. Figur 3-39 visar jordskalv i Skandinavien mellan åren 1375 och 2003, såväl upplevda som registrerade i det seismologiska nätverket. Figur 3-40 visar jordskalv som inträffade 2003 och registrerade explosioner (sprängningar). Huvuddelen av registreringarna härrörde från explosioner.



Figur 3-39. Observerade jordskalv från 1375 till 2003. Röda prickar avser kraftigare jordskalv (magnitud, omkring 5 eller större), blå prickar magnitud omkring 4 samt gröna prickar magnitud 2–3.



Figur 3-40. Jordskalv och explosioner (sprängningar) som registrerats under 2003.

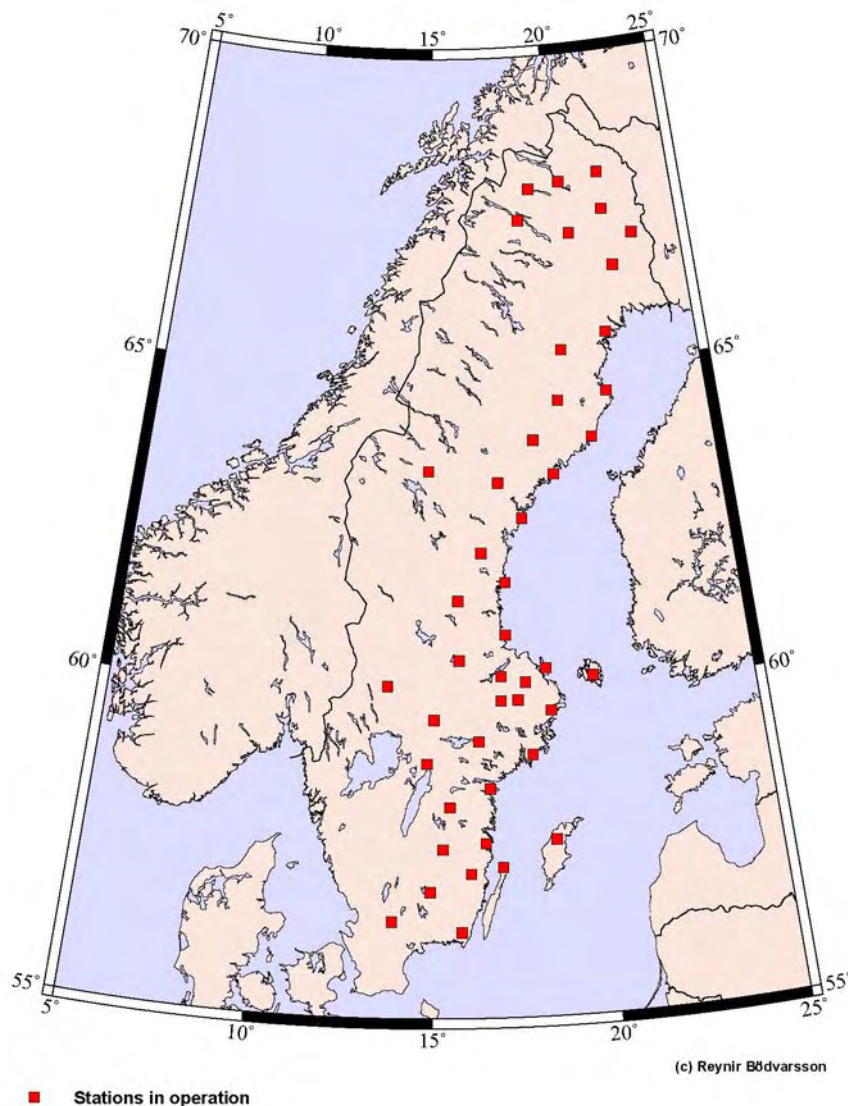
Undersökningsprogram

Rörelser i berget

Metodstudien med GPS-baserad mätteknik i Oskarshamn har avslutats. SKB kommer istället att pröva andra metoder för registrering av små berg rörelser, såsom satellitbaserad radarinterferometri (längdmätning med radiovågor).

Jordskalv

Målet med det seismologiska nätet är att kunna registrera jordskalv ned till en magnitud nära noll på Richterskalan samt att noggrannare kunna bestämma, läge, magnitud och riktning av jordskalv inom närområdet. Mätningar av jordskalv beräknas pågå åtminstone fram till 2011. Det nuvarande nationella seismologiska nätet, se figur 3-41, kommer att utökas med två nya stationer, en i Forsmark och en i Oskarshamn. Stationen i Forsmark kommer att placeras vid borrhälsplats 4.



Figur 3-41. Det nationella seismologiska nätet per 2004.

3.10 Undersökningar för drifanläggningar ovan och under mark

3.10.1 Anläggningar ovan mark

Figur 2-13 ger en uppfattning om de anläggningar ovan mark ett djupförvar i Forsmark skulle kräva, och de alternativa lägen för dessa som utpekats. De preliminära förslag som figuren visar har i huvudsak kunnat tas fram på grundval av underlag som fanns tillgängligt redan när platsundersökningen inleddes. Den dokumentation som sedan dess gjorts av ytnära ekosystem, kvartär- och hydrogeologiska förhållanden har på olika sätt bidragit med underlag för att arbeta vidare med alternativen.

Grundläggningskraven för djupförvarets anläggningar skiljer sig som helhet inte från vad som är gängse för industribyggande, men det finns vissa skillnader mellan olika delar. Större delen av ytan kommer att upptas av konventionella byggnader, vägar och uppställningsplatser. Undantagen är produktionsbyggnader och schaktöverbyggnader, som kan kräva större insatser för grundläggning. Kunskap om mark- och grundvattenförhållanden krävs också för de bergupplag som planeras.

Det undersökningsprogram som planeras innefattar att:

- Sammanställa befintligt underlag från tidigare undersökningar som gjorts inom delar av området.
- Översiktligt bedöma de geotekniska förhållandena för hela det aktuella området.
- Bedöma grundläggningskraven för olika delar av djupförvarets anläggningar.
- Identifiera behoven av kompletterande undersökningar, och genomföra dessa. Undersökningarna bedöms bli begränsade, och kunna genomföras med konventionell teknik.

Liknande undersökningar kan också komma att krävas för tillkommande infrastruktur.

3.10.2 Anläggningar under mark

Av det program för undersökningsborrning som redovisas i avsnitt 2.4 och 3.8 syftar följande delar specifikt till att ta fram bergbyggnadstekniskt underlag för nedfarter och centralområde:

- Planerade kärnborrhål från borrplats 7 vid bostadsområdet.
- Kompletterande borrningar, preliminärt tre medeldjupa hål i ett senare skede.

De nu planerade kärnborrhålet 7A på borrplats 7 (hösten 2004, preliminärt 1 000 m mot väster) kommer att ge den första, direkta informationen bergförhållandena på djupet i det område som preliminärt prioriterats för drifanläggningarna. Ett annat syfte är att lokalt bestämma den prioriterade platsens geologiska begränsningar, vilket också kan få stor betydelse för placering och utformning av anläggningarna. Kärnborrhål 7B (våren 2005, 500 m, nära vertikalt) är i första hand avsett för bergspänningsmätningar, se avsnitt 3.4.

Borrningen av 7A och 7B förväntas därmed ge underlag för en första, platsanpassad utformning av nedfarter och centralområde. Denna ligger till grund för de kompletterande borrningar som planeras i ett senare skede (hösten 2005). Den anläggningsutformning som ska redovisas i platsundersökningens slutskede planeras innefatta valda lägen – och möjliga utföranden – för ramp, schakt och centralområde. Av detta följer höga krav på det geovetenskapliga underlag som utformningen baseras på. Därför planeras den

kompletterande borrhningen omfatta tre kärnborrhål, med djup i intervallet 300–600 meter, se tabell 2-2. Varken antal, djup eller lägen för hålen är ännu bestämda. Dessa parametrar måste avgöras när huvudalternativ för de markförlagda anläggningarna valts och den preliminära utformningen kommit längre. Ett eller flera, ytterligare hål från borrhplats 7 är en möjlighet, men troligen behövs också en ny borrhplats inom industriområdet.

Utöver kärnborrhningen pågår eller planeras också ett antal utredningar av platsspecifika frågor som är särskilda viktiga med avseende på bygget och driften av drifanläggningarna:

- **Tunnelförbindelse till SFR.** Alternativet att placera djupförvarets ovanmarksanläggningar vid SFR skulle innebära en tillfartstunnel, från SFR till ett förvar på den prioriterade platsen. De bergbyggnadstekniska förutsättningarna för detta utreds, till stöd för projekteringsarbetet.
- **Konsekvenser av ytnära, vattenförande sprickor och sprickzoner.** De starkt vattenförande strukturer som påvisats i flertalet borrhål måste beaktas särskilt vid utformningen av ramp och schakt. Utredningen avser prognoser av vatteninläckning till dessa bergutrymmen, liksom metoder för tätning och kontroll.
- **Stabilitet i bergutrymmen.** Kombinationen av sprickfattigt berg och relativt höga belastningar på djupet ger ur stabilitetssynpunkt andra förutsättningar än vad som är fallet i flertalet svenska berganläggningar, som finns närmare ytan och oftast i mera sprickrikt berg. Särskilda utredningar görs för att ta tillvara kunskaper från gruvor och utländska anläggningar, med bergförhållanden som kan jämföras med Forsmarks.

4 Undersökningar efter sommaren 2007

Enligt SKB:s planer kommer platsundersökningen i Forsmark att avslutas sommaren 2007, se figur 2-16. Då ska, enligt målsättningen för platsundersökningsskedet, alla undersökningar som behövs för att ta fram och lämna in ansökan enligt miljöbalken och kärntekniklagen vara utförda. Under den period som följer efter platsundersökningen och fram till dess att SKB valt en av de två platserna, Forsmark eller Oskarshamn, kommer monitorering och eventuellt vissa kompletterande undersökningar att utföras på båda platserna. Efter sommaren 2007 planeras därför i princip endast uppföljning och långtidsobservationer (se avsnitt 3.9) på plats i Forsmark.

Planeringen på längre sikt beror självfallet på vilken plats som väljs för djupförvaret. För den plats som inte väljs är ett rimligt antagande att SKB drar ner alla aktiviteter i fält till ett minimum. Någon form av insatser för uppföljning och långtidsobservationer blir dock troligen aktuella även på denna plats.

För den plats som väljs bibehålls sannolikt resurser och infrastruktur och vissa förberedelser görs, samtidigt som uppföljning och långtidsobservationer fortsätter. När ansökan lämnats in och under den tid som granskning och prövning pågår kan remissinstanserna begära kompletteringar som kräver ytterligare undersökningar på platsen. SKB bedömer inte att detta är särskilt troligt men måste ändå hålla öppet för detta i planeringen. Vilken typ av undersökningar eller andra insatser som kan bli aktuella är inte möjligt att nu ha någon uppfattning om.

När SKB erhållit tillstånd att bygga och driva slutförvaret kommer, förutom rena byggaktiviteter, även omfattande undersökningar att starta. Undersökningarna, ofta benämnda detaljundersökningar, kommer att utföras både från ytan och från de schakt och tunnlar som utförs i byggskedets inledningsfas. I ansökan enligt miljöbalken och kärntekniklagen kommer SKB att redovisa ett program för detaljundersökningarna.

5 Referenser

- Abrahamsson T, 2003.** Vegetation inventory in part of the municipality of Östhammar. P-03-81, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Adl-Zarrabi B, 2004a.** Forsmark site investigation. Drill hole KFM03A. Thermal properties: heat conductivity and heat capacity determined using the TPS method and mineralogical composition by modal analysis. P-04-162, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Adl-Zarrabi B, 2004b.** Forsmark site investigation. Drill hole KFM04A. Thermal properties: heat conductivity and heat capacity determined using the TPS method and mineralogical composition by modal analysis. P-04-199, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Ahlbom K, Andersson J-E, Andersson P, Ittner T, Ljunggren C, Tirén S, 1992.** Finnsjön study site. Scope of activities and main results. TR-92-33, 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. R-00-15, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Andersson E, Tudorancea M-M, Tudorancea C, Brunberg A-K, Blomqvist P. 2003.** Water chemistry, biomass and production of biota in lake Eckarfjärden during 2002. R-03-27, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Andersson J, 2004.** Investigation of the amount of dead wood. P-04-124, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Andersson J, Munier R, Ström A, Söderbäck B, Almén K-E, Olsson L, 2004.** When is there sufficient information from the Site Investigations? R-04-23, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Andrén C, 2004.** Amphibians and reptiles. P-04-07, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Aquilonius K, Karlsson S, 2003.** Snow depth, frost in ground and ice cover during the winter 2002/2003. P-03-117, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Bergkvist M, Ekström L, Eriksson K, Hammarlund E, Hollsten M, Lind A-L, Lundholm K, 2003.** Kallrigafjärden, NO Uppland. Områdets historia, nuläge samt framtida landskapsutveckling. R-03-26, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Berglund S, Selroos J-O, 2003.** Transport properties site descriptive model. Guidelines for evaluation and modelling. R-03-09, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Berglund J, Petersson J, Wägnerud A, Danielsson P, 2004.** Forsmark site investigation. Boremap mapping of core drilled borehole KFM01B. P-04-114, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Bergman T, Andersson J, Hermansson T, Zetterström Evins L, Albrecht L, Stephens M B, Petersson J, Nordman C, 2004.** Bedrock mapping. Stage 2 (2003) – bedrock data from outcrops and the basal parts of trenches and shallow boreholes through the Quaternary cover. Forsmark site investigation. P-04-91, Svensk Kärnbränslehantering AB.

- Blomqvist P, Nilsson E, Brunberg A-K, 2002.** Habitat distribution, water chemistry, and biomass and production of pelagic and benthic microbiota in Lake Eckarfjärden, Forsmark. R-02-41, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Boresjö Bronge L, Wester K, 2002.** Vegetation mapping with satellite data of the Forsmark and Tierp regions. R-02-06, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Borgiel M, 2004a.** Sampling and analyses of surface sediment in lakes and shallow bays. P-04-05, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Borgiel M, 2004b.** Sampling of freshwater fish. P-04-06, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Brunberg A-K, Blomqvist P, 2003.** Ontogeny of lake ecosystems in the Forsmark area – chemical analyses of deep sediment cores. R-03-28, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Brunberg A-K, Carlsson T, Blomqvist P, Brydsten L, Strömgren M, 2004.** Identification of catchments, lake-related drainage parameters and lake habitats. P-04-25, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Bäckblom G, Almén K-E, 2004.** SKB Monitoring during the stepwise implementation of the Swedish deep repository for spent fuel. R-04-13, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Carlsson A, 1979.** Characteristic features of a superficial rock mass in southern central Sweden – Horizontal and subhorizontal fractures and filling material. *Striae*, vol 11, pp 79.
- Carlsson A, Christiansson R, 1987.** Geology and tectonics at Forsmark, Sweden. SFR-88-04, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Carlsten S, Petersson J, Stephens M, Mattsson H, Gustafsson J, 2004a.** Geological single-hole interpretation of KFM02A and HFM04-05 (DS2). Forsmark site investigation. P-04-117, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Carlsten S, Petersson J, Stephens M, Thunehed H, Gustafsson J, 2004b.** Geological single-hole interpretation of KFM03B, KFM03A and HFM06-08 (DS3). Forsmark site investigation. P-04-118, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Cederlund G, Hammarström A, Wallin K, 2003.** Surveys of mammal populations in the area adjacent to Forsmark and Tierp. A pilot study 2001-2002. P-03-18, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Cederlund G, Hammarström A, Wallin K, 2004.** Surveys of mammal populations in the areas adjacent to Forsmark and Oskarshamn. Results from 2003. P-04-04, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Claesson L-Å, Nilsson G, 2003a.** Drilling of a flushing water well, HFM01, and two groundwater monitoring wells, HFM02 and HFM03 at drill site DS1. Forsmark site investigation. P-03-30, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Claesson L-Å, Nilsson G, 2003b.** Forsmark site investigation. Drilling of telescopic borehole KFM01A at drilling site DS1. P-03-32, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Claesson L-Å, Nilsson G, 2004a.** Forsmark site investigation. Drilling of telescopic borehole KFM02A at drilling site DS2. P-03-52, Svensk Kärnbränslehantering AB.

- Claesson L-Å, Nilsson G, 2004b.** Forsmark site investigation. Drilling of the telescopic borehole KFM03A and the core drilled borehole KFM03B at drilling site DS3. P-03-59, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Elhamre A, Sandkvist Å, 2004.** Forsmark site investigation. Detailed marine Geological Survey of the sea bottom outside Forsmark. P-03-101, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Fredriksson D, 2004.** Forsmark site investigation. Peatland investigation Forsmark. P-04-127, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Fridriksson G, Öhr J, 2003.** Assessment of plant biomass of the ground, field and shrub layers of the Forsmark area. P-03-90, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Green M, 2003.** Fågelundersökningar inom SKB:s platsundersökningar 2002 Forsmark. P-03-10, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Green M, 2004.** Bird monitoring in Forsmark 2002–2003. P-04-30, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Gustafsson J, Gustafsson C, 2004.** RAMAC and BIPS logging in borehole KFM02A. Forsmark site investigation. P-04-40, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Hakami E, Hakami H, Cosgrove J, 2002.** Strategy for a Rock Mechanics Site Descriptive Model. Development and testing of an approach to modelling the state of stress. R-02-03, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Hedenström A, 2003.** Forsmark site investigation. Investigation of marine and lacustrine sediment in lakes. Field data. P-03-24, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Hedenström A, 2004.** Forsmark site investigation. Investigation of marine and lacustrine sediment in lakes, stratigraphical and analytical data. P-04-86, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Hedenström A, Sohlenius G, Albrecht J, 2004.** Forsmark site investigation. Stratigraphical and analytical data from auger drillings and pits. P-04-111, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Heneryd N, 2004.** Snow depth, ground frost and ice cover during the winter 2003/2004. Forsmark site investigation. P-04-137, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Isaksson H, Mattsson H, Thunehed H, Keisu M, 2004a.** Interpretation of petrophysical surface data. Stage 1 (2002). Forsmark site investigation. P-03-102, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Isaksson H, Thunehed H, Keisu M, 2004b.** Interpretation of airborne geophysics and integration with topography. Forsmark site investigation. P-04-29, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Johansson P-O, 2003.** Forsmark site investigation. Drilling and sampling in soil. Installation of groundwater monitoring wells and surface water level gauges. P-03-64, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Juhlin C, Bergman B, Palm H, 2002.** Reflection seismic studies in the Forsmark area – stage 1. R-02-43, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Kumblad L, 2004. Radionuclides in the Baltic Sea. Ecosystem models and experiments on transport and fate. Doktorsavhandling. Department of Systems Ecology, Stockholm University, Stockholm 2004. ISBN 91-7265-891-6.

Laaksoharju M (ed), Gimeno M, Auqué L, Gómez J, Smellie J, Tullborg E-L, Gurban I, 2004. Hydrochemical evaluation of the Forsmark site, model version 1.1. R-04-05, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Lagerbäck R, Sundh M, Johansson H, 2004. Forsmark site investigation. Searching for evidence of late- or post-glacial faulting in the Forsmark region. Results from 2003. P-04-123, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Larsson-McCann S, Karlsson A, Nord M, Sjögren J, Johansson L, Ivarsson M, Kindell S, 2002. Meteorological, hydrological and oceanographical information and data for the site investigation program in the communities of Östhammar and Tierp in the northern part of Uppland. TR-02-02, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Lindell S, Ambjörn C, Juhlin B, Larsson-McCann S, Lindquist K, 1999. Available climatological and oceanographical data for site investigation program. R-99-70, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Lindroos H, Isaksson H, Thunehed H, 2004. The potential for ore and industrial minerals in the Forsmark area. R-04-18, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Ludvigson J-E, Jönsson S, 2003. Hydraulic interference tests. Boreholes HFM01, HFM02 and HFM03. Forsmark site investigation. P-03-35, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Ludvigson J-E, Levén J, Jönsson S, 2004. Forsmark site investigation. Single-hole injection tests in borehole KFM01A. P-04-95, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Lundin L, Lode E, Stendahl J, Melkerud P-A, Björkvald L, Thorstensson A, 2004. Soils and site types in the Forsmark area. R-04-08, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Marek R, 2004. A co-ordinated interpretation of ground penetrating radar data from the Forsmark site. Forsmark site investigation. P-04-156, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Nielsen U T, Ringgaard J, 2004. Geophysical borehole logging in borehole KFM02A, KFM03A and KFM03B. Forsmark site investigation. P-04-97, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Nilsson A-C, 2003a. Forsmark site investigation. Sampling and analyses of groundwater in percussion drilled boreholes and shallow monitoring wells at drillsite DS1. Results from boreholes HFM01, HFM02, HFM03, KFM01A (borehole section 0-100 m) and the monitoring wells SFM001, SFM002 and SFM003. P-03-47, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Nilsson A-C, 2003b. Forsmark site investigation. Sampling and analyses of groundwater in percussion drilled boreholes and shallow monitoring wells at drillsite DS2. Results from boreholes HFM04, HFM05, KFM02A (borehole section 0-100 m) and the monitoring wells SFM004 and SFM005. P-03-48, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Nilsson B, 2003c. Forsmark site investigation. Element distribution in till at Forsmark – a geochemical study. P-03-118, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Nilsson A-C, Karlsson S, Borgiel M, 2003. Sampling and analyses of surface waters. Results from sampling in the Forsmark area, March 2002 to March 2003. P-03-27, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Nilsson D, 2004. Forsmark site investigation. Sampling and analyses of groundwater from percussion drilled boreholes. Results from the percussion boreholes HFM09 to HFM19 and the percussion drilled part of KFM06A. P-04-92, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Page L, Hermansson T, Söderlund P, Andersson J, Stephens M B, 2004. Bedrock mapping U-Pb, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ and (U-Th)/He geochronology. Forsmark site investigation. P-04-126, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Petersson J, Wägnerud A, 2003. Forsmark site investigation. Boremap mapping of telescopic drilled borehole KFM01A. P-03-23, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Petersson J, Wägnerud A, Strähle A, 2003a. Forsmark site investigation. Boremap mapping of telescopic drilled borehole KFM02A. P-03-98, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Petersson J, Wägnerud A, Strähle A, Danielsson P, 2003b. Forsmark site investigation. Boremap mapping of telescopic drilled borehole KFM03A and core drilled borehole KFM03B. P-03-116, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Petersson J, Berglund J, Danielsson P, Wägnerud A, Tullborg E-L, Mattsson H, Thunehed H, Isaksson H, Lindroos H, 2004. Petrography, geochemistry, petrophysics and fracture mineralogy of boreholes KFM01A, KFM02A and KFM03A+B. Forsmark site investigation. P-04-103, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Robertsson A-M, 2004. Microfossil analyses of till and sediment samples from Forsmark, northern Uppland. P-04-110, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Rouhiainen P, Pöllänen J, Ludvigson J-E, 2004. Forsmark site investigation. Addendum to Difference flow logging in borehole KFM01A. P-04-193, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Sjöberg J, 2004. Forsmark site investigation. Overcoring rock stress measurements in borehole KFM01B. P-04-84, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2000a. Geovetenskapligt inriktat program för undersökning och utvärdering av platser för djupförvaret. R-00-30, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2000b. Samlad redovisning av metod, platsval och program inför platsundersökningskedet. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2001a. Geovetenskapligt program för platsundersökning vid Forsmark. R-01-42, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2001b. Platsundersökningar. Undersökningsmetoder och generellt genomförande-program. R-01-10, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2001c. Program för platsundersökningar vid Forsmark. R-01-42, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2004a. Fud-program 2004. Program för forskning, utveckling och demonstration av metoder för hantering och slutförvaring av kärnavfall, inklusive samhällsforskning. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2004b. Plan 2004. Kostnader för kärnkraftens radioaktiva restprodukter. Svensk Kärnbränslehantering AB.

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

SKB, 2004d. Interim main report of the safety assessment SR-Can. TR-04-11, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2004e. Platsundersökning i Oskarshamn. Program för fortsatta undersökningar av berggrund, mark och vatten. P-04-300, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Sohlenius G, Hedenström A, Rudmark L, 2004. Mapping of unconsolidated Quaternary deposits 2002–2003. Map description. Forsmark site investigation. R-04-39, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Stephens M B, Bergman T, Andersson J, Hermansson T, Wahlgren C-H, Albrecht L, Mikko H, 2003a. Forsmark site investigation. Bedrock mapping. Stage 1 (2002) – Outcrop data including fracture data. P-03-09, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Stephens M B, Lundqvist S, Bergman T, Andersson J, Ekström M, 2003b. Forsmark site investigation. Bedrock mapping. Rock types, their petrographic and geochemical characteristics, and a structural analysis of the bedrock based on Stage 1 (2002) surface data. P-03-75, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Sundberg J, 2003. Thermal site descriptive model, a strategy for the model development during site investigations. R-03-10, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Sundh M, Sohlenius G, Hedenström A, 2004. Stratigraphical investigation of till in machine cut tranches. Forsmark site investigation. P-04-34, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Tobiasson S, 2003. Tolkning av undervattensfilm från Forsmark och Simpevarp. P-03-68, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Wacker P, Bergelin A, Nilsson A-C, 2003. Forsmark site investigation. Complete hydrochemical characterisation in KFM01A. Results from two investigated sections, 110.1–120.8 and 176.8–183.9 metres. P-03-94, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Wacker P, Bergelin A, Nilsson A-C, 2004a. Forsmark site investigation. Hydrochemical characterisation in KFM02A. Results from three investigated sections, 106.5–126.5, 413.5–433.5 m and 509.0–516.1 m. P-04-70, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Wacker P, Bergelin A, Berg C, Nilsson A-C, 2004b. Forsmark site investigation. Hydrochemical characterisation in KFM03A. Results from six investigated sections: 386.0–391.0 m, 448.0–453.0 m, 448.5–455.6 m, 639.0–646.1 m, 939.5–946.6 m, 980.0–1001.2 m. P-04-108, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Wacker P, Bergelin A, Berg C, Nilsson A-C, 2004c. Forsmark site investigation. Hydrochemical characterisation in KFM04A. Results from two investigated sections, 230.5–237.6 and 354.0–361.1 metres. P-04-109, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Werner K, Johansson P-O, 2003. Slug tests in groundwater monitoring wells in soil. Forsmark site investigation. P-03-65, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Werner K, 2004. Supplementary slug tests in groundwater monitoring wells in soil. Forsmark site investigation. P-04-140, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Werner K, Lundholm L, 2004. Supplementary drilling and soil sampling, installation of groundwater monitoring wells, a pumping well and surface water level gauges. Forsmark site investigation. P-04-139, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Werner K, Lundholm L, Johansson P-O, 2004. Drilling and pumping test of wells at Börstilåsen. Forsmark site investigation. P-04-138, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Widestrand H, Byegård J, Ohlsson Y, Tullborg E-L, 2003. Strategy for the use of laboratory methods in the site investigations programme for the transport properties of the rock. R-03-20, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Ordförklaringar

Abiotisk	Används om icke-levande inslag i vår värld, såsom berg, luft och vatten, och om processer som inte åstadkoms av levande varelser. Motsats: biotisk.
Acetogen	Acetogena bakterier framställer ättiksyra ur koldioxid och väte.
Akvatisk	Livsmiljö i vatten (motsvarande på land heter terrest).
Alkalinitet	Vattnets förmåga att neutralisera syror, det vill säga förmågan att exempelvis tåla påverkan av "surt regn" utan att vattnet försuras.
Ancylussjön	Sötvattensstadium i Östersjöns utvecklingshistoria, cirka 9 500–8 000 år före nutid.
Anisotropi	Anisotropi innebär att en fysikalisk egenskap är olika i olika riktningar.
Arenosoler	Sandjord, bildas i grovkorniga, lösa avlagringar som dyner, sandbankar, vittringsgrus och ökenområden, även i grova och mineralogiskt fattiga jordarter; en arenosol kan utvecklas till en podsol.
Artesisk	Term som används om brunnar i ett grundvattenmagasin som står under övertryck.
Bandning	Omväxlande mer eller mindre parallella lager i en bergart med olika färg, kornstorlek eller mineralsammansättning.
Bankning	Den struktur nära ytan hos berggrunden som innebär att denna genom sprickbildning uppdelats i skivor, bankar, som är parallella eller nästan parallella med berggrundsytan. Vanligt förekommande i för övrigt sprickfattigt urberg och kan ses i många vägsränningar runt om i landet.
Bentalen	Bentiska zonen, den biologiska bottenvärlden i hav och insjöar. På större djup finns endast djur och bakterier, men generellt omfattas både växter och djur som för sin existens är helt beroende av botten, även om en del organismer tillbringar delar av sitt liv i vattnet ovanför eller lever på i botten fastsittande växter. Bentalen indelas i litoralen, som inkluderar större delen av stranden tillsammans med den vågspolade delen ovanför högvattennivån, sublitoralen, som sträcker sig ned till kontinentalsockelns yttre gräns och djuphavszonen därunder.
Bentonit	Mjuk, plastisk, ljus lera med stor förmåga att ta upp vatten. Sväller när den tar upp vatten. Bildas genom kemisk vittring av vulkaniskt material, främst aska och tuff. Transporteras och hanteras i pulverform, kan pressas till block.
Biosfären	De delar av jorden och atmosfären där det finns levande organismer. Biosfären kan indelas i hav, sötvatten, land och atmosfär.
Biota	Den levande faunan och floran.
Biotop	Ett område – ekologisk enhet – med någorlunda enhetligt växt- och djurliv.
Blåstång	<i>Fucus vesiculosus</i> , art i gruppen brunalg, en flerårig havsalg, som kan bli högvuxen, uppemot 1 m eller ibland mer. Den brukar ha luftblåsor parvis sittande på den gaffelgreniga, bandformiga bålen, och den har han- och honorgan i uppsvällda bålspetsar på skilda individer.

C14	En radioaktiv isotop av kol värdefull vid åldersbestämning (C14-metoden) av sedan länge döda organismer.
Cambisol	Stor jordmånsgrupp. Hit räknas alla jordmåner som bildats under en kort tidrymd. De kan också ha nybildats på omflyttat jordmaterial och finns på alla nivåer, i de flesta klimat och under de flesta vegetationstyper. I Sverige har jordmånen närmast kallats för brunjord, som världen över är ett mångtydigt begrepp. Cambisol har överst ett av organisk substans och mineraljord väl omblandat svartbrunt skikt som benämns mull. Omblandningen är främst orsakad av grävande organismer men kan även bero på markbearbetning. Jordmånen är betydelsefull för nästan all slags jordbruksproduktion. Skogsproduktionen på cambisols är som regel hög. Försurningskänsligheten är oftast låg.
Clab	Centralt mellanlager för använt bränsle. Vid anläggningen som är belägen vid Oskarshamns kärnkraftverk lagras använt kärnbränsle i vattenbassänger under cirka 30 år före inkapsling och djupförvaring. Clab togs i drift 1985.
Deformationszon	Samlingsnamn för veckning och förkastningar av bergarter beroende på spänningar i berggrunden. Bergvolymerna på ömse sidor om en deformationszon har rört sig i förhållande till varandra.
Detaljundersökning	Undersökningar av berggrunden i samband med att djupförvaret byggs och tas i drift.
Diabas	Basisk, vanligen svart och finkornig gångbergart som bildar mer eller mindre brantstående skivor i berggrunden.
Diffusion	Transport (utbredning) av ett ämne (t ex salt) i ett annat ämne (t ex vatten) på grund av koncentrationsskillnader. Diffusion är ämnesberoende och kan äga rum i berget via mikrosprickor och porer.
Diorit	Magmatisk djupbergart som huvudsakligen består av mineralerna plagioklas (en fältspat), hornblände och biotit. Relativt kvartsfattig. Mörkgrå till gråsvart samt grov- till medelkornig.
Dispersivitet	Mått på spridning av flödes hastigheter mellan sprickor eller i enskilda sprickor.
Ekologisk succession	Förändring inom ett ekosystem vilken leder till att ett nytt växt- och djursamhälle uppkommer eller ersätter ett tidigare.
Ekosystem	Biologiskt samhälle (växt- och djurarter och deras livsmiljö) som är relativt självförsörjande vad gäller energiflöden, t ex skog, gräsmark.
Evapotranspiration	Avdunstning av vatten från en bevuxen markyta. Evapotranspirationen består dels av evaporation från barmark, öppet vatten (pölar, snötäcke m.m.) samt fritt vatten på växtligheten (regn eller snö), dels av transpiration av vatten som passerat genom växterna från marken. Termen används, något slarvigt, även som synonym till evaporation.
Evertebrater	Annat namn på ryggradslösa djur.
Foliation	De flesta metamorfa bergarter har en karakteristisk struktur, foliation. Härmed menas att de med större eller mindre lätthet låter sig klyvas utefter med varandra parallella ytor.
Fucus	Det vetenskapliga namnet på ett släkte brunalger med utbredning i nästan alla hav i den vegetationszon som börjar direkt under den mer ytliga grönalgszonen.
Fud-program	Det program för Forskning, utveckling och demonstration som SKB enligt krav i kärntekniklagen presenterar vart tredje år.

Gabbro	Magmatisk djupbergart som huvudsakligen består av plagioklas och pyroxen; grovkorning, basisk (kvartsfattig) bergart, vanligen mörkgrå till svart.
Geofysiska mätningar	Mätningar av magnetfält, elektrisk resistivitet m fl fysikaliska parametrar. Genom att kartlägga variationer i bergets eller jordlagrens fysikaliska egenskaper kan jorddjup, bergartsgränser, sprickzoner och andra geologiska förhållanden bestämmas.
Geokronologi	Åldersbestämning och bestämning av tidsföljd av händelser i jordens historia. I allmän mening avser geokronologi bestämning av åldrar, absoluta såväl som relativa på en geologisk tidsskala.
Gleysoler	Bildas i låglänta, plana områden med högt grundvatten; finns på högst 50 cm djup. I Sverige är jordmånen mycket vanlig kring sank sjöstränder och benämns då gyttjeler. Gyttjelerorna har en karakteristisk hexagonal sprickbildning och höga sulfidhalter.
Gnejs	Högmetamorf (kraftigt omvandlad) bergart, ofta bandad med mer eller mindre parallellorienterade mineralkorn.
Granit	Magmatisk djupbergart bestående huvudsakligen av mineralerna kvarts, fältspat, glimmer och/eller hornblände. Färgen är vanligen grå eller röd.
Granitoid	Samlingsnamn för kvartsrika ”granitliknande” bergarter, till exempel (förutom granit) granodiorit och tonalit.
Granodiorit	Sur magmatisk djupbergart som till det yttre liknar granit. Består huvudsakligen av mineralen kvarts (mindre kvarts än i granit men mer än i diorit), plagioklas, kalifältspat och biotit (mörkt glimmer). Den är medel- till grovkornig samt har ljus- till mörkgrå färg.
Gångbergart	Magmatisk djupbergart i form av en skiva som bildats genom att magma (bergsmälta) trängt in och stelnat i sprickor, vanligen i berggrundens yttligare delar.
Habitat	En arts/ organisms livsmiljö; i stort sett detsamma som dess biotop.
Histosoler	Jordmåner som i huvudsak består av organiskt material; hit räknas alla torvjordmåner i Sverige.
Hydraulisk gradient	Skillnaden i grundvattenytans nivå per längdenhet, det vill säga grundvattenytans lutning.
In situ	(latin, ’på stället’), fackterm inom ett flertal områden. Inom geologin om t ex fossil eller mineral som är i ursprungligt läge; inom biologin när en organism (speciellt en mindre eller fastsittande) studeras på sin naturliga förekomstplats.
Intrusiv	Djupbergart som trängt in i och stelnat i jordskorpan som massiv eller som gångar.
Isotop	Atomerna av samma grundämne men med olika (atom)massa. Isotoper har identiskt lika elektronhölje och därför nästan helt lika kemiska egenskaper.
KBS-3-metoden	KBS är förkortning för KärnBränsleSäkerhet . Föreslagen metod för djupförvaring av använt kärnbränsle baserad på konceptet inkapsling av bränslet och förvaring i urberggrund på cirka 500 meters djup.
Kinematik	Den del av mekaniken som beskriver kroppars rörelse utan att beakta rörelsens orsaker.
Kolloid	Mycket små ”partiklar” som på grund av sin ringa storlek inte sedimenterar utan svävar omkring i vattnet; har storleken 1 nanometer (10^{-9} meter) till 1 mikrometer (10^{-6} meter).

Konduktivitet	Ledningsförmåga, term som vanligen används för elektrisk konduktivitet; termen konduktivitet används även för termisk konduktivitet (värmeledningsförmåga) och inom geologin för en bergarts genomsläpplighet för vatten (hydraulisk konduktivitet).
Kvarts	Ljust och mycket hårt, ibland genomskinligt mineral bestående av kiseldioxid (SiO ₂). Ju mer kvarts en bergart innehåller, desto surare är den. Ju mindre kvartsinnehåll, desto mera basisk är bergarten.
Kvartsit	Jämnkornig, vanligen vit eller grå, metamorf (omvandlad) bergart som huvudsakligen består av kvarts.
K-värde	Hydraulisk konduktivitet, ett mått på vattengenomsläppligheten hos (i detta fall) ett geologiskt lager (jordlager eller berggrund).
Kärnteknisk anläggning	Anläggning som hanterar kärnämnen. De nuvarande kärntekniska anläggningarna i Sverige är kärnkraftverken i Ringhals, Barsebäck, Oskarshamn (inklusive Clab) och Forsmark (inklusive SFR), Studsvik, Westinghouse Atoms bränslefabrik och Ranstad Mineral.
Lateralmorän	Sidomorän, låg moränrygg som avlagrats på en sluttning längs sidan av en glaciär. Lateralmoränen har en flack lutning som avspeglar glaciärytans gradient då moränen avlagrades.
Leptosoler	(Tunna mineraljordar) finns inom högre, kuperad terräng och har ett begränsat djup och kan kontinuerligt övergå i underliggande berggrunds sönderspruckna ytskikt. Leptosoler har som regel en tunn A-horisont.
Limnisk	Avser eller hänför sig till sötvatten (sjöar).
Lineament	Mer eller mindre linjär struktur i markplanet. Kan avse en topografisk struktur (långsträckt sänka) eller geofysisk egenskap, exempelvis variationer i magnetfält. Lineament kan indikera förkastningar eller sprickzoner i berggrunden. Men kan även orsakas av på andra geologiska fenomen.
Litologi	Beskrivningen av en jordart eller bergart med avseende på sådana egenskaper som är synliga för blotta ögat, t ex färg, mineralsammansättning och kornstorlek.
Litorinahavet	Saltvattenstadium i Östersjöns utvecklingshistoria mellan cirka 8 000 och 3 000 år före nutid. Det är uppkallat efter släktet Littorina, strandsnäckor, som hittas i L:s strandavlagringar upp till Stockholmstrakten.
Magmatisk bergart	Bergart bildad ur en bergartsmälta (magma).
Magnetit	Svart, starkt magnetiskt mineral (järnoxid). Viktigt för utvinning av järn.
Magnitud	Mått på styrkan av en jordbävning.
Marin	Avser havet.
Matrisdiffusivitet	Ett mått på hur snabbt ett ämne kan tränga igenom, diffundera genom, bergmatrisen.
Meta-	Prefix (förstavelse) som används framför bergartsnamn för att indikera att bergarten är omvandlad (har genomgått metamorfos).
Metamorf	Omvandlad bergart, bergart som omvandlats i jordskorpan på grund av ändrade tryck- och temperaturförhållanden,
Metanogen	Metanogena bakterier producerar metan ur koldioxid och väte.
Metavulkanit, metavulkaniska bergarter	Bergart bildad genom vulkanisk aktivitet (lava eller vulkanisk aska) och som därefter har undergått metamorfos.

Meteoriskt vatten	Vatten som har sitt ursprung i regnvatten.
Monitering	Övervakning av grundvattennivå, lufttryck, etc genom sammanhängande eller upprepade observationer och mätningar.
Morän	Jordart som transporterats och avlagrats av glaciärer eller inlandsisen. Moränen är osorterad med varierande sammansättning av allt från block till lerpartiklar.
Pegmatit	En grovkristallin (grovkornig) bergart av granitisk sammansättning som vanligen bildar gångar eller mindre massiv.
Pelagialen	Pelagiska zonen, de fria vattenmassorna i hav och insjöar (i insjöar även kallad limniska zonen), normalt dock inte gränsytorna mot luft respektive botten. Till pelagialens organismvärld räknas de bakterier, alger, växter och djur som vistas hela sitt liv (holoplankton) eller endast en del av sitt liv (meroplankton) uppe i vattenmassan. Hit hör också aktiva simmare, t ex fiskar.
Permeabilitet	Genomsläppligheten för en gas eller vätska i porösa medier, t ex jord eller sprickigt berg.
pH-värde	Mått i form av ett tal på hur sur eller hur basisk (alkalisk) en lösning är. Det används ofta inom bl a kemi, biologi, och miljövetenskap. Vid rumstemperatur svarar pH=7,0 mot en helt neutral lösning (inget överskott på vare sig vätejoner eller hydroxidjoner). Ett lägre värde innebär att lösningen är sur (överskott på vätejoner) och ett högre att lösningen är basisk (överskott på hydroxidjoner).
Plastisk deformation	Deformation vid vilken berggrunden reagerar plastiskt, det vill säga beter sig som en trögflytande massa. Vid plastisk deformation, som sker på stort djup under högt tryck och hög temperatur, bildas exempelvis veckning och plastiska skjuvzoner med kraftig förskiffring och linjärstrukturer.
Podsoler	Har en välutbildad anrikningshorisont bestående av bl a organisk substans, aluminium, järn, mangan samt en däröver liggande blekjord. Denna jordmansgrupp är den vanligaste i Sverige. Podsoler är huvudjordmåner inom den boreala och tempererade delen av den norra hemisfären.
Porositet	Porositeten definieras som hålrummens volym per volymsenhet av hela materialet.
Postglacial	Efter den senaste istiden.
P-våg	P-våg (= primär-våg) kompressionsvåg vid jordbävning. Benämningen härrör från att den är den första våg som anländer till en seismograf efter en jordbävning. Primärvågor är longitudinella vågor.
Radarinterferometri	Längdmätning med radiovågor.
Redoxpotential	Kan liknas vid ett mått på ”elektrontryck”. Vid en negativ redoxpotential och högt ”elektrontryck” råder syrefria förhållanden. Vid en positiv redoxpotential finns syre närvarande. Redoxpotentialen bestämmer vilka reaktioner som kan ske och vilka kemiska komponenter som kan förekomma i t ex grundvatten.
Regolit	Det lösa jordtäcknet ovanpå den ovittrade berggrunden. I områden som inte varit täckta av inlandsisar omfattar den dels den vittrade berggrunden (saproliten), dels transporterat material ovanpå. I områden som varit nedisade består regoliten huvudsakligen av glaciala och postglaciala avlagringar, men även till en liten del av djupvittrad berggrund.

Regosoler	Grupp av omogna jordmåner som bildas i finkornigt okonsoliderat minerogent material och som saknar andra horisonter än en svagt utbildad A-horisont; finns inom högre, kuperad terräng; regosoler finns i alla klimat över hela världen; i Sverige kan regosoler eventuellt övergå i svagt utbildade podsoler eller cambisol.
Respiration	Vetenskaplig term för andning.
Riksintresse	Område som pekats ut av till exempel en kommun, länsstyrelse, statligt verk eller myndighet därför att det är särskilt lämpat för en viss verksamhet, till exempel friluftsliv, yrkesfiske, utvinning av fyndigheter, industriell produktion, energiproduktion, avfallshantering eller vattenförsörjning. Enligt miljöbalken ska områden av riksintresse så långt som möjligt skyddas mot åtgärder som påtagligt försvårar nyttjandet enligt intresset.
SFR	Slutförvar för Radioaktivt driftavfall. SKB:s anläggning för slutförvaring av låg- och medelaktivt driftavfall belägen cirka 50 meter ner i berget, under havsbotten, vid Forsmarks kärnkraftverk. Förvaret har varit i drift sedan 1988.
SKI	Statens kärnkraftinspektion. Myndighet som har till uppgift att utöva tillsyn av de kärntekniska anläggningarnas säkerhet enligt kärntekniklagen.
Skjuvzon	Deformationszon bildad till följd plastisk deformation, det vill säga under högt tryck och hög temperatur. Se även plastisk deformation.
Sorption	Fysikalisk och/eller kemisk bindning av atomer eller molekyler till en yta.
Sorptionskoefficienter	Mått som anger bergarters förmåga att fastlägga olika ämnen på sprickytor och i porer.
Spatial	Har att göra med utsträckning i rummet, t ex föremåls form.
Sprickapertur	Spricköppning.
Sprickzon	Deformationszon bildad till följd av spröd deformation, det vill säga när berggrunden reagerar genom uppsprickning. Se även spröd deformation.
Spröd deformation	Deformation vid vilken berggrunden reagerar genom uppsprickning. Vid denna deformation bildas enskilda sprickor och ansamlingar av sprickor till så kallade sprickzoner.
SSI	Statens strålskyddsinstitut. Myndighet som har till uppgift att skydda människor, djur och miljö mot skadlig inverkan av strålning enligt strålskyddslagen.
Strykning	Riktningen av en planstruktur (till exempel förskiffring, sprickzon eller bergartskontakt).
Stupning	Den vinkel som en planstruktur (till exempel förskiffring, sprickzon eller bergartskontakt) bildar med horisontalplanet
Stänglighet	Linjär struktur hos en bergart.
Subhorisontell	Nära horisontell.
Substrat	Det underlag eller material (jord, vatten) som växter, svampar, lavar, bakterier och vissa ryggradslösa djur växer eller lever på eller i.
Tektonisk lins	Berggrundsområde inneslutet i en plastisk deformationszon, som är opåverkat eller betydligt mindre påverkat av plastisk deformation än deformationszonen som helhet.
Terrester	Det som hänför sig till land. Landbaserad till skillnad från akvatisk (i vatten). Livsmiljö som finns på jordytan.

Tonalit	Magmatisk djupbergart besläktad med granit. Bergarten är vanligen grå och består huvudsakligen av mineralen kvarts och plagioklas samt biotit och amfibol.
Transmissivitet	Förmåga hos ett jord- eller berglager att leda grundvatten. Grundvattenföringen per breddenhet ges av transmissiviteten (m^2/s) multiplicerad med grundvattenytans lutning (m/m). Transmissiviteten kan bestämmas genom provpumpning.
Transpiration	Avgivande av vattenånga genom svettning eller utdunstning.
Veckning	Deformation av jordskorpan genom sammanpressning med hjälp av motriktade krafter
Veckomböjning	Planstruktur i berg som deformerats och bildat ett veck.
Vittring	Inom geologi nedbrytning och sönderdelning av fast berg och stenblock till en grusig, sandig eller lerig massa genom mekaniska, kemiska och biologiska processer.
Vulkanisk bergart	Bergart bildad genom vulkaniska processer, det vill säga utströmning av magma (bergartssmälta) på jordytan som bildar lava eller lager av vulkanisk aska.
Yngre granit	Granit som bildades efter den senaste större plastiska deformationen av berggrunden. I Sverige har dessa graniter vanligen en ålder av 1 800 miljoner år eller yngre.
Yoldiahavet	Stadium i Östersjöns utvecklingshistoria, tidsmässigt mellan Baltiska issjön och Ancylussjön. Y. har fått sitt namn efter den havslevande, arktiska musslan <i>Yoldia arctica</i> (numera <i>Portlandia arctica</i>), vilken påträffats i avlagringar från detta stadium. Y existerade mellan ungefär 10 300 och 9 500 kol-14-år före nutid. Enligt den klassiska bilden av Östersjöns historia var vattnet i Y. bräckt, men nyare undersökningar visar att själva brackvattensfasen omfattade endast cirka 100 år runt 10 000 kol-14-år före nutid (dvs cirka 9 400 f Kr).
Ytbergart	Bergart bildad på eller nära jordens yta genom sedimentära eller vulkaniska processer.
Ådergnejs	I Sverige mycket vanligt förekommande gnejs, som karaktäriseras av ljusa och mörka skikt, parallella med bergartens förskiffringsplan. De ljusa skikten domineras av kvarts och/eller fältspat medan de mörka innehåller mörkt glimmer och eventuellt amfibol.
Äspölaboratoriet	SKB:s laboratorium vid Äspö norr om Simpevarp, avsett för geologisk forskning samt teknisk utveckling och demonstration av metoder för deponering och återtag av kapslar med använt kärnbränsle.

Platsundersökningens miljöpåverkan

I denna bilaga redovisas den miljöpåverkan som planerade undersökningsaktiviteter kan ge upphov till under den fortsatta platsundersökningen i Forsmark och vilka åtgärder som planeras för att denna påverkan ska bli så liten som möjligt. Erfarenheter från de första åren av platsundersökningar med tillämpning och utveckling av den miljöstyrning och miljöanpassning av verksamheten som presenterades i /SKB, 2001c/ utgör ett viktigt underlag för denna redovisning. Sist i bilagan sammanfattas i tabellform de aktiviteter som bedöms kunna medföra påverkan på miljön. Av tabellen framgår även SKB:s preliminära bedömning av vilka aktiviteter som kommer att anmälas till Länsstyrelsen för kompletterande samråd.

A.1 Miljöstyrning av platsundersökningen

SKB:s målsättning är att platsundersökningarna ska genomföras på ett sådant sätt att de ger så liten miljöpåverkan som möjligt. För att uppnå detta integrerar vi miljöfrågor i planeringen så att verksamheten kan genomföras med minsta möjliga påverkan på miljön. Detta sker bland annat med hjälp av ett miljökontrollprogram för de aktiviteter som genomförs i fält. Miljökontrollprogrammet har utvecklats kontinuerligt under platsundersökningarnas framdrift och omfattar checklistor för olika typer av aktiviteter som till exempel grävningar, provtagningar i fält, borrning och seismiska undersökningar.

Alla fältaktiviteter föregås av kontroll mot SKB:s så kallade tillgänglighetskarta samt kontroll i fält av natur- och kulturvärden. Denna fältkontroll genomförs antingen av SKB:s platsekolog eller vid mer omfattande kontroller av inhyrda experter. Resultatet av dessa kontroller kan innebära att särskilda försiktighetsåtgärder behöver vidtas. Arbetssättet visas i figur A-1. Tillgänglighetskartan uppdateras efterhand med tillkommande information från fältkontroller och undersökningar inom framförallt ämnesområdet ytnära ekosystem. Tillgänglighetskartan ger vägledning i frågan om undersökningarna kan genomföras på den tänkta platsen eller om de måste flyttas eller anpassas till lokala förhållanden. Kartan redovisar bland annat var det finns störningskänsliga områden eller skyddsvärda arter eller andra objekt som måste beaktas. Efter de inledande platsundersökningarna är denna karta mycket omfattande och utgör ett värdefullt underlag för styrning av verksamheten så att miljöpåverkan kan undvikas eller minimeras. Den information som kartan baseras på är till vissa delar säsongsberoende och omfattar även känsliga och/eller skyddsvärda växt- och djurarter. Dessa förhållanden, tillsammans med den mycket stora informationsmängden, gör att kartan inte kan redovisas i denna bilaga.

I december 2001 anmälde SKB platsundersökningen i Forsmark för samråd enligt miljöbalken 12 kap till länsstyrelsen i Uppsala län. Länsstyrelsen meddelade i sitt beslut i februari 2002 att undersökningarna fick genomföras i enlighet med anmälan med vidtagande av de försiktighetsmått till skydd för naturmiljön som presenterades i anmälan. SKB har även därefter haft en aktiv och öppen dialog med Länsstyrelsen kring platsundersökningens miljöpåverkan och hur denna kan undvikas eller minimeras. Bland annat har vi lämnat kompletterande anmälningar för samråd avseende tillkommande aktiviteter med påverkan på naturmiljön.



Figur A-1. Beskrivning av hur SKB går tillväga för att planera och styra verksamhet i fält så att miljöpåverkan kan undvikas eller minimeras. I miljökontrollprogrammet redovisas alla försiktighetsmått som ska iakttas när en aktivitet planeras och genomförs.

Vissa aktiviteter i fält förutsätter en god dialog med närboende och andra berörda parter och i vissa fall krävs medgivande från markägare i området. Dessa samråd och kontakter ingår i de olika aktiviteternas miljöchecklistor som är en viktig del av SKB:s miljökontrollprogram.

En betydande del av undersökningarna utförs av konsulter och entreprenörer. För att minimera risker och begränsa negativa konsekvenser för miljö och hälsa ställer SKB krav på leverantörer som svarar mot SKB:s policy och övergripande mål. Alla entreprenörer och konsulter som genomför arbeten i platsundersökningsområdet genomgår en anpassad utbildning innan arbeten får påbörjas. Efter genomgången utbildning erhålls ett bilpass som ska medföras och hållas väl synligt vid arbeten i området. SKB har även tagit fram lokala ordnings-, skydds- och miljöregler som gäller för arbeten inom platsundersökningen. Dessa innebär bland annat att alla entreprenörer ska redovisa om och i så fall vilka miljöfarliga ämnen och produkter de avser använda. Samtliga produkter ska vara godkända för användning av SKB. Dessa så kallade SHM-protokoll (Säkerhet, Hälsa, Miljö) innehåller även en redogörelse för arbetsmiljörisker och risker för miljöolyckor samt hur dessa ska förebyggas.

A.2 Erfarenheter från den inledande platsundersökningen

Tidigt i platsundersökningen genomfördes inventeringar av vegetation, nyckelbiotoper, vilt, fåglar etc för att få en bra bild av området innan vägbyggen, borrhningar och andra mer störande aktiviteter påbörjades. På detta sätt fick SKB tidigt kunskap om var i området störningskänsliga arter och skyddsvärda miljöer finns. Tillgänglighetskartan har kontinuerligt uppdaterats med denna information och utgör ett mycket viktigt planeringsunderlag för de fortsatta undersökningarna. Erfarenheten visar att det behövdes en viss inkörningsperiod för att åstadkomma en väl fungerande miljökontroll inför alla fältaktiviteter, dels beroende på att organisationen växte och dels att det var många aktiviteter som skulle startas upp under relativt kort tid. Efterhand som organisationen har blivit fast etablerad och verksamheten har gått in i mer rutinmässiga former har tillgänglighets- och fältkontrollen blivit en naturlig del i planeringen av de fältaktiviteter som genomförs. SKB:s platsekolog ansvarar

för att genomföra och dokumentera dessa kontroller men själva kontrollen initieras av respektive aktivitetsledare utifrån SKB:s miljökontrollprogram. Efter genomförda kontroller förs eventuella försiktighetsåtgärder och nödvändiga förändringar i tidplanen in i aktivitetens planering i samråd mellan platsekolog och berörd aktivitetsledare. Genom detta arbetsätt har känsliga miljöer kunnat skyddas från allvarlig påverkan och onödiga störningar.

Efterhand som undersökningarna fortskridit och vi fått mer erfarenhet har vi gjort en del förändringar och kompletteringar i SKB:s miljökontrollprogram. Exempelvis har miljöchecklistor tillkommit och kontrollmoment formulerats om. Under hösten 2004 har en omfattande översyn och anpassning av miljökontrollprogrammet genomförts.

SKB har anmält ett antal aktiviteter och undersökningar för kompletterande samråd enligt miljöbalken 12 kap till Länsstyrelsen. Det gäller bland annat anläggande av borrhål, grävning av schakt för bestämning av jordarter och lokalisering av seismiska profiler. Till dessa anmälningar har i allmänhet SKB:s protokoll från tillgänglighets- och fältkontroller bifogats. Vissa av Länsstyrelsens beslut har innehållit villkor som till exempel mätning och redovisning av returvattnets kloridinhåll vid kärnboring, tidsbegränsningar i tillträde till naturreservat och gränsvärden för bullernivåer. Samtliga villkor har uppfyllts under den inledande platsundersökningen och återrapportering och information till Länsstyrelsen har genomförts. Under den återstående platsundersökningen kommer återrapportering till Länsstyrelsen att ske minst en gång per år, lite beroende på antalet ärenden som kräver kompletterande samråd.

Erfarenheter från de grävningar av schakt som genomförts visar att arbetsättet med att placera de översta organiska jordlagren för sig, för att sedan lägga tillbaka dessa överst vid återställandet har fungerat väl och inneburit att vegetationen har återkommit snabbt på lokalerna. Figur A-3 visar bilder på schaktning och samma plats efter återställning. Detta tillvägagångssätt kommer att tillämpas i samband med framtida grävningar, t ex de grävningar som planeras för att undersöka lineament.

De seismiska undersökningarna har lämnat mycket små spår i naturen. Vid dessa placeras små dynamitladdningar i grunda borrhål borrar genom jordlagret eller i berg för att sedan detoneras, så att ljudvågens hastighet och reflektion mot sprickzoner eller bergartsgränser i berget kan registreras. Beroende på hur profilerna placeras krävs dock ibland transport av utrustning och personal i terrängen varför planerade seismiska undersökningar, liksom de tidigare utförda, kommer att föregås av kontroll mot tillgänglighetskarta och fältkontroll av naturvärden så att känsliga områden undviks.

Målsättningen har varit att begränsa utbyggnaden av nya vägar och i största möjliga mån försöka placera borrhål och hammarborrhål i anslutning till befintliga vägar. Detta har varit möjligt tack vare att en stor del av kandidatområdet kan nå från befintliga vägar och borrhål om man borrar 1 000 m långa borrhål som lutar 60° från vertikallinjen. För att nå den centrala delen av området under Bolundsfjärden behövde dock borrhål 5 anläggas en bit in i skogen. Utförande av väg och borrhål föregicks av tillgänglighetskontroll och fältkontroll av naturvärden vilket styrde dragningen av vägen och borrhålets slutliga placering. Borrhålet och vägen kommer att avlägsnas och området återställas i enlighet med Länsstyrelsens beslut när platsundersökningen avslutas.

En annan strategi för att minska intrånget och miljöpåverkan har varit att planera borrhålen på sådant sätt att deras placering och utformning möjliggör borrhål i olika riktningar så att olika frågeställningar ska kunna besvaras. Detta har inneburit att borrhålen har behövt göras något större än vad som planerades från början men innebär samtidigt att det kommer att bli färre borrhål.

Returvattnet från kärnboringen har i möjligaste mån avletts till havet via ledning. Från något av borrhålen har dock returvattnet under en kortare period samlats in och körts med tankbil till havet. Avledning av returvattnet via ledning kan vara problematiskt vintertid då avloppsledningen lätt kan frysa, vilket orsakar stopp. Över kortare avstånd, < 600 m, har eluppvärmda ledningar använts, men från borrhåll 5 avleddes vattnet till Bolundsfjärden eftersom avståndet till havet var för stort för att uppvärmda ledningar skulle kunna användas. Detta skedde i enlighet med Länsstyrelsens tillstånd. Dessutom skulle frakt med tankbil innebära ett stort antal transporter i området med buller och utsläpp av avgaser till följd. Provtagning av vattnet i Bolundsfjärden inom ramen för SKB:s ytvattenprogram visar att utsläppet av returvattnet medfört mindre förändring av kloridhalten i sjön än vad de återkommande inflödena av havsvatten gör. Av praktiska skäl kommer returvattnet från eventuella framtida borrhåll vintertid på borrhåll 5 och 6 att avledas till Bolundsfjärden. Motsvarande kan komma att gälla för andra borrhåll som ligger på större avstånd från havet och som har en lämplig recipient i närheten. För att få avleda returvattnet på detta sätt krävs godkännande från platsekolog och tillstånd från Länsstyrelsen. Dessutom kan flora och fauna i vatten behöva övervakas genom provtagning före och efter utsläppet av returvattnet.

A.3 Undersökningar som kan medföra miljöpåverkan

I avsnitten nedan ges en redovisning av vilka olika aktiviteter i fält som kan leda till påverkan på miljön. Vidare redovisas de åtgärder som kommer att vidtas för att minimera påverkan av de olika aktiviteterna samt vilka typer av undersökningar som kommer att anmälas för kompletterande samråd enligt miljöbalken 12 kap.

A.3.1 Vägar och infrastruktur

Beskrivning

Tidigt under platsundersökningen i Forsmark anlades en ny anslutningsväg in i området från bostadsområdet i områdets nordvästra del. Totalt har mindre än 1 km grusväg anlagts och cirka 6 km befintlig väg förstärkts i området. Målsättningen framöver är att placera borrhåll och borrhåll i anslutning till befintliga vägar samt att utnyttja befintliga borrhåll för att borra ytterligare hål i andra riktningar. Behovet av ytterligare vägar bedöms vara mycket litet utöver de kortare stickvägar som kan behövas för att nå kommande borrhåll. Det kan dock bli aktuellt att anlägga borrhåll som inte är placerade i anslutning till vägnätet och det kommer i sådana fall att krävas kortare vägar till dessa borrhåll.

Vägarna ska vara framkomliga för personbilar och lastbilar med släp (längd 24 meter, bredd 2,6 meter, höjd 4,5 meter, totalvikt 50 ton). Vägens bärighet ska tillåta tung trafik året runt. Körbanan konstrueras så att transporter och användande av ballastmaterial minimeras i samband med vägbygget. Om möjligt används avvattnat borrhåll som fyllnadsmaterial vid byggande av borrhåll och stickvägar.

Eftersom undersökningarna vid kärnborrhåll pågår under flera år behövs fast elförsörjning och permanenta teleledningar. Till samtliga kärnborrhåll dras elkabel (400 V/63 A, markkabel eller luftledning i tillfälliga stolpar) samt signalkabel. För de flesta borrhåll räcker det med signalkabel.

I samband med monitering görs installationer. De fasta installationer som kommer att göras under den fortsatta platsundersökningen omfattar tre stationer för mätning av flöden i vattendrag samt ett antal jordhål för monitering av grundvattennivån. Eventuellt kommer även en mast för mätning av vegetationens evapotranspiration att anläggas. För några av installationerna krävs mindre byggnader såsom mätcontainrar eller liknande. Teknik med låg energiförbrukning prioriteras för dessa installationer. Sedan tidigare görs meteorologisk monitering med hjälp av utrustning monterad i två master, dels en mast vid borrhållsplats 3, som upprättats av SKB under den inledande platsundersökningen, dels Forsmarksverkets mast nära kylvattenkanalen. I området kommer även en mätstation för registrering av jordrörelser (seismisk aktivitet) att installeras vid borrhållsplats 4.

Drift av moniteringsinstallationerna kräver besök av personal vid tillsyn och service, samt för att hämta insamlade data. En del av övervaknings- och mätutrustningarna kommunicerar via GSM-nätet vilket innebär att behovet av att besöka platserna minskar.

Miljöpåverkan

Byggande av nya vägar, uppställningsplatser och anläggning av fasta installationer ger upphov till buller, damm och avgasutsläpp. Arbetsmaskiner kan läcka hydraul- och smörjolja. I vissa fall kan terrängkörning krävas, vilket ger upphov till markskador.

Omfattningen av miljöpåverkan i samband med vägbyggnation kan jämföras med vad som sker vid skogsavverkning eller med den påverkan som skett vid tidigare anläggning av skogsbilvägar i området. Vägar blir kvar i området under hela platsundersökningskedet, möjligen ännu längre och tar därför i anspråk mark. De förändrar även till viss del landskapet. Ytterligare vägdragningar ökar tillgängligheten i området, vilket kan påverka känsliga naturtyper och arter.

El- och teleledning kommer att dras som markkabel eller som tillfälliga luftkablar. Ledningarna kommer att anpassas till befintligt lokalnät i området. Vid uppförande av tillfälliga stolpar kommer terrängfordon att användas. Kvistar och vissa träd kan behöva tas bort. För markkabel grävs ledningsdiken. Företrädesvis dras luftledning och markkabel utefter befintliga och tillkommande vägar.

För att möjliggöra mätning av grundvattennivån i jordrör även vintertid förses dessa med skyddshuvar som förhindrar frysning i röret, se figur A-2 nedan.

För miljöpåverkan vid anläggande av mätstationer i vattendrag, se avsnitt A.3.7 nedan.

Åtgärder

Vid val av vägsträckningar beaktas naturvärden och anpassning till landskapet bland annat genom att så långt som möjligt välja sträckningar som inte berör vattendrag, myrar eller försumpad mark. Samtliga vägdragningar kontrolleras mot tillgänglighetskartan och föregås av fältkontroll av natur- och kulturvärden. Vägdragningarna dokumenteras med fotografering innan anläggandet påbörjas.

För att underlätta framkomlighet tvärs över vägen och framförallt för att markens naturliga vattenströmmar inte ska påverkas mer än nödvändigt ska vägar om möjligt byggas utan öppna diken. Där risk finns för svallproblem används plasttrummor. I permanenta bäckar används valvbågar för att inte vattenfaunan ska påverkas, passage över vattendrag undviks dock i möjligaste mån.



Figur A-2. Förberedelse för mätning av grundvattennivå i jordborrhål.

Efter avslutad platsundersökning och om området då inte längre är aktuellt för ett förvar, kommer vägar, borrhplatser och andra platser där ingrepp har skett att återställas. El- och signalledningar tas bort och fasta installationer avlägsnas. Återställningsarbetena görs i samråd med markägare och Länsstyrelsen. Önskemål från markägaren kan innebära att vissa vägar och grusade ytor lämnas kvar.

Anläggande av vägar, borrhplatser och fasta installationer som kan påverka naturmiljön kommer att föregås av kompletterande samråd med Länsstyrelsen.

A.3.2 Grävning i samband med karteringsarbeten

Beskrivning

Det karteringsarbete som kräver någon form av grävning med maskin är geologisk berggrundskartering för att undersöka lineament. Detta planeras på ett par tre platser men fler kan bli aktuella. Dikena är 50–100 meter långa, och tre meter breda i dikesbotten, se figur A-3. Vid markytan är bredden större eftersom kanterna behöver släntas av för att minska rasrisken. För att dikesgrävningen ska vara praktiskt genomförbar får jorddjupet inte överskrida fem meter. Enligt nuvarande planer kommer grävningar att utföras under hösten 2004. Troligen kan det bli aktuellt med ytterligare grävningar under hösten 2005.



Figur A-3. Grävdikey för jordartskartering under och efter schaktning.

Grävningarna utförs med larvgående grävmaskiner. Målsättningen är att grävningarna ska utföras i nära anslutning till befintligt vägnät, men kan också bli aktuella på större avstånd från väg. Eventuellt kan träd behöva fällas och stora block flyttas.

Tryckluft eller högtrycksspruta för vatten används för rengöring av bergytor. Vatten tas från ett närbeläget vattendrag eller från tank. Mindre mängder inströmmande vatten pumpas bort med eldriven dräneringspump. Elverk för drivning av pump och eventuell belysning kan behövas på platsen. Kraftigt inflöde av grundvatten kan medföra att grävningen behöver avbrytas och flyttas till en annan plats.

När jorrdjupet är stort ger friläggningen av bergytorna upphov till stora mängder schaktmassor. Schaktmassorna läggs upp vid sidan av gropen eller diket och används för återfyllning. I vissa fall kan massorna tillfälligt behöva läggas på annan plats om schaktet grävs i närheten av känsligt naturområde. Dikena läggs igen efter kartläggningen.

Miljöpåverkan

Grävmaskiner, kompressor och elverk samt fordon för transport av personal och utrustning ger upphov till buller, damm och avgaser. Grävmaskiner kan läcka hydraulolja och smörjolja.

Platserna där vi utför grävning kommer att ta mark i anspråk under några veckor upp till några månader. Området i direkt anslutning till schaktområdet förändras temporärt genom de uppgrävda schaktmassorna. Lokal påverkan på vegetationen kommer att uppstå och eventuellt kan en viss tillfällig avsänkning av grundvattenytan ske.

Friläggningsarbeten ger ifrån sig buller, dels från små maskiner och pumpar, dels från grävning och hantering av uppgrävda massor. Vissa vibrationer kan också uppstå. Arbetena liknar dem som uppkommer i samband med mindre anläggningsarbeten. Eventuella störningar kommer att bli kortvariga, några veckor per grävlokal.

Åtgärder

Platsen för en grävning ska anpassas så att minsta möjliga påverkan sker på naturmiljön. Samtliga grävningar kontrolleras mot tillgänglighetskartan och föregås av fältkontroll av natur- och kulturvärden och ska godkännas av platsekolog innan de får påbörjas. Valda platser dokumenteras med fotografering innan grävningen startar.

Gropar och diken släntas för att undvika rasrisk. Grävningen markeras i fält med avspärrningsmarkeringar. Skyddsanordningar för uppsamling av oljeläckage nyttjas i möjligaste mån.

Tidpunkten för grävning har valts till hösten eftersom grundvattenytan då är som lägst, vilket gör att dräneringseffekterna minimeras. Tidpunkten är också gynnsam ur naturhänsyn eftersom den känsliga häckningssäsongen är avslutad.

Efter avslutade undersökningar kommer schaktmassorna att återföras. Det övre jordlagret med växtlighet separeras vid schaktningen för att om möjligt återföras som ett ytskikt. Platsen fotograferas återigen och vidtagna åtgärder för återställningen dokumenteras.

Grävningar som kan innebära påverkan på naturmiljön kommer att föregås av kompletterande samråd med Länsstyrelsen.

A.3.3 Kärnborrning

Beskrivning

Under den kompletta platsundersökningen i Forsmarksområdet planeras ytterligare cirka 12 kärnborrhål ner till som mest cirka 1 000 meters djup. Det som i första hand styr valet av borrhållsplats är den geovetenskapliga frågeställning som borrhålet avser att belysa. Eftersom de geovetenskapliga målen oftast kan uppnås med lutande borrhål kan borrhållsplatserna i de flesta fall väljas så att hänsyn även kan tas till områdets naturvärden. Man kan också borra flera borrhål från samma borrhållsplats. SKB planerar att anlägga 7 nya borrhållsplatser (se figur 2-18) under återstoden av platsundersökningen. Resterande kärnborrhål kan troligen borraras från dessa och befintliga borrhållsplatser.

Kärnborrning innebär att en cylindrisk borkärna tas upp och utvärderas längs hålets hela längd. Vid kärnborrning till stora djup används större och tyngre bormaskiner än vid andra mer vanligt förekommande borrhållsplatser. Kärnborrning av ett 1 000 meter djupt hål tar vanligtvis 2–3 månader men kan, om borrhållsplatserna avbryts för mätningar, ta upp emot 4–6 månader. Borrningen sker vanligtvis dygnet runt måndag-torsdag. Under vissa perioder kan dock borrhållsplatserna pågå även under helger. När placeringen av ett kärnborrhål bestämts, anläggs transportväg och borrhållsplats. Bormaskinen transporteras tillsammans med borrhållsriggen, kompressorer, pumpar för kylvatten, slangar och containrar m m till borrhållsplatsen på trailer. Vid borrhållsplatsen, se figur A-4, iordningställs även en rastkur, toalett och en temporär förrådsbyggnad för utrustning. Den inhägnade borrhållsplatsen beräknas uppta en yta av drygt 30×40 meter. Under vinterperioden, eller om det finns särskilda skäl, sker kärnborrningen under tak i ett större tält.



Figur A-4. Borrhållsplats 3 i Forsmark.

Under kärnbörningen pumpas rent grundvatten (så kallat spolvatten) ner i hålet för kylning av borrkronan och uppföring av borrkax. Detta vatten pumpas från ett av de närliggande hammarborrhålen, i undantagsfall fraktas det till borrhålets plats med tankvagn. Vattnet märks med spårämnet uranin för att inblandning av spolvatten senare ska kunna bestämmas vid vattenprovtagning. Merparten av spolvattnet pumpas upp ur borrhålet med hjälp av tryckluft. Relativt stora mängder uppslammat borrkax kommer upp med returvattnet som därför får passera genom sedimentationscontainrar innan det leds vidare till recipient.

Om returvattnet är salt avleds det till havet, alternativt transporteras bort i tankar. Erfarenheten från borrhörningarna under den inledande platsundersökningen är att det djupa grundvattnet är salt (från cirka 150 meter och djupare, salthalt i storleksordningen 5 000 mg klorid/l). Returvattnet har därför, med ett undantag, avletts till havet. Dragning av returvattenledningen (och ibland även spolvattenledningen) görs med terränggående ”fyrhjuling”, vilket kan ge markskador. Dragningen ska därför beslutas i samråd med platsekolog.

Miljöpåverkan

Kärnbörningstrustningen kräver en grusad yta och en väg för transport av bormaskin och mätutrustningar. För vägen och borrhålets plats behöver träd fällas och marken grusas. Mark tas i anspråk under en längre tid.

Verksamheten vid borrhålets plats kräver elektricitet. Elförsörjning till mätutrustning och drift kräver 400 V/63 A. För att driva själva borrhörningsskivan och kompressorn med el behövs 400 V/250 A. För dessa ändamål har markkabel hittills dragits fram till alla borrhålets platser utom borrhålets plats 3 där elförsörjningen sker med 63 A och där signalöverföring sker via mast. Vid borrhålets platser inom Forsmarksverkets industriområde används Forsmarksverkets befintliga infrastruktur avseende el, tele och vägar. Här är elsystemet avsäkrat endast för 63 A, varför el för kärnbörningen på dessa borrhålets platser, liksom tidigare vid borrhålets plats 3, kommer att ske med dieseldrivna elverk. För övriga borrhålets platser fattas beslut om vilken typ av kraftmatning som ska tillämpas när det exakta läget av respektive borrhålets plats fastställts.

Bormaskinen åstadkommer buller vilket inverkar störande i området kring en borrhålets plats. Bullerkänsliga och skygga djur kan tillfälligt under själva borrhörningen störas över ett större område. Påverkan av buller uppkommer också av fordonstrafik i anslutning till borrhörningarna. Vidare uppkommer vissa, men dock begränsade markvibrationer i den närmaste omgivningen av en borrhålets plats. Även ljusskenet från belysning under kvällar och nattetid har en relativt liten styrka och räckvidd.

En del miljöfarliga ämnen, som hydraulolja, smörjolja och gängfett, liksom dieselolja i de fall dieseldrivna elverk är aktuellt, används vid kärnbörningen. Eftersom undersökningarna av bakterier i berggrunden är mycket känsliga för olika typer av störningar kan inte biologiskt nedbrytbara oljor användas till utrustning som sänks ner i själva borrhålen. Borrhörningsentreprenören är ålagd att använda så små mängder olja och fett som möjligt. När det gäller andra ämnen som inte kommer i kontakt med borrhålet prioriteras miljövänliga alternativ, till exempel biologiskt nedbrytbara oljor.

I samtliga kärnborrhål monteras rostfritt foderrör genom jordlagren och vidare ett stycke, maximalt 100 m, ner i berg. För att undvika läckage av ytligt vatten och uppblandning av djupare liggande grundvatten, injekteras i allmänhet spalten mellan foderröret och borrhålets vägg. Endast lågalkalisk skivcement är tillåtet att användas för injekteringen. Injekteringsmedlet tränger även ut i spricksystemet runt borrhålet. Totalt kan åtgången vara 2 000–3 000 kg per borrhål. Teoretiskt skulle medlet kunna transporteras till ett vattendrag och där orsaka viss pH-förhöjning. En viss pH-förändring av grundvattnet i borrhålets omedelbara närhet kan också förväntas på grund av injekteringen.

Under borringarna (liksom senare under provpumpning av borrhål) sker en temporär avsänkning av grundvattennivån på grund av den kontinuerliga uppumpningen av spolvatten och grundvatten. Avsänkningen är normalt mätbar inom några hundra meter från borrhålets plats men kan vara betydligt större längs en vattenförande sprickzon. Storleken på avsänkningen avtar med avståndet från borrhålets plats i en takt som är beroende på berggrundens och jordlagrens hydrauliska egenskaper. Avsänkningen registreras av utrustning som monterats i både närliggande och mer avlägsna jord- och hammarborrhål. Erfarenheterna från den inledande platsundersökningen är att avsänkningen av grundvattennivån i det borrhål som borrar är 30–60 m under själva borrhålliden (10–12 veckor). På grund av de stora flödena i det ytliga berget sker återhämtningen mycket snabbt, oftast i storleksordningen några timmar, efter att pumpningen stängts av. En annan iakttagelse som gjorts under den inledande platsundersökningen är att det oftast inte sker någon mätbar avsänkning av grundvattennivån i jordlagren på grund av kärnborringen.

Om utsläpp av uppslammat borrhåll skulle ske, kan det ge viss påverkan på omgivningen. Returvatten som har hög salthalt och som oavsiktligt släpps ut kan likaså ge skador, främst på växt- och djurliv. Oavsiktligt utsläpp av spolvatten märkt med uranin ger under kort tid spår av färg i omgivningen. Färgämnet bryts dock snabbt ner av solljuset. Persontransporter och förflyttning av utrustning, liksom av till exempel spolvatten och borrhåll, kan bli relativt omfattande under själva borringarna, liksom besök till borrhålets plats.

Åtgärder

Platser och tidpunkter för borring kontrolleras mot tillgänglighetskartan och nyanläggande av borrhållsplatser föregås av fältkontroll av natur- och kulturvärden.

Vid val av lämpliga borrhållsplatser kommer deras läge, transportvägar till och från platserna samt tidpunkten för borringen att planeras och godkännas av SKB:s platsorganisation, som också bedömer behovet av eventuellt samråd med Länsstyrelsen, markägare och andra berörda. SKB ska försäkra sig om vilka hänsyn som måste tas, exempelvis enligt miljöbalken och kulturminneslagen. Inför anläggningsarbetena ska också borrhålets plats vara dokumenterad med avseende på det yttre ekosystemet. För att begränsa miljöpåverkan försöker vi att i så stor utsträckning som möjligt styra besöksgrupper till de borrhållsplatser som är minst känsliga ur miljösynpunkt.

I de fall där det är tekniskt och ekonomiskt rimligt kommer vi att dra fram markledning för kraftförsörjning till drift av borrhållsaggregat och tryckluftskompressor även vid kommande borrhållsplatser.

Genom att bygga ett tält över kärnborrmaskinen med tillhörande utrustning får man en mer väderberoende och lättarbetad arbetsplats. Samtidigt ger tältet en viss bullerdämpning.

Sedimenterat borrhåll, det handlar om cirka sex kubikmeter per hål, har liksom kaxet från hammarborrhållen (se nedan) hittills använts vid anläggande av borrhållsplatser och stickvägar. Detta kommer att eftersträvas även under den fortsatta platsundersökningen då så är möjligt. Om det uppstår ett överskott kan borrhållskaxet behöva deponeras på lämpligt sätt inom området eller transporteras till en deponi.

Kontroll av grundvattennivån i närbelägna jord- och hammarborrhål sker såväl före som under och efter kärnborring. Även vattenkemin kontrolleras. Hittills har inga ändringar i vattenkemin konstaterats.

Vid spaltinjektering av foderrör följs ett kontrollprogram där injekteringsflöden och tryck noggrant noteras.

För att kunna hantera eventuella oljeläckage (främst hydraulolja och smörjolja) gjuts en sargförsedd betongplatta på vilken kärnbormmaskinen placeras. Detta ger goda möjligheter att förhindra eventuella spill som härrör från bormmaskinen att tränga ner i marken. Det ger också personalen möjligheter att snabbt upptäcka även små läckage av t ex hydraulolja. Bormpersonalen följer också ett särskilt miljökontrollprogram där daglig inspektion av slangar och kopplingar ingår liksom byte av sliten materiel. Dessutom finns utrustning för sanering av oljeutsläpp tillgänglig på bormplatsen. Då bormningen sker under tält uppnås ett extra föroreningskydd, eftersom nederbörd förhindras att nå bormområdet. Utan tält skulle ett eventuellt oljeutsläpp vid regn kunna medföra att den förorenande vätskan svämmas över betongplattans sarg med en diffus nedträngning i marken som följd.

Avfall ska tas omhand och transporteras till miljöstationer. Fristående oljecisterner ska vara invallade så att hela volymen ryms i invallningen och dessutom vara försedda med regnkrage.

Under den inledande platsundersökningen har ett större utsläpp av diesel inträffat vid bormplats 3 (sammanlagt 20 liter diesel rann ut på marken). Vid denna bormplats användes, som nämnts, ett dieselaggregat för strömförsörjning av utrustningen. Spillet inträffade när aggregatet tankades. Läckaget upptäcktes omgående och räddningstjänsten sanerade platsen. Den förorenade jorden grävdes upp och togs om hand. Ett fåtal mindre läckage har inträffat, samtliga mindre än en liter. Det har främst rört sig om slangbrott. Dessa läckage har alla skett på betongplattan och har därför enkelt kunnat tas om hand med den saneringsutrustning som finns på varje bormplats där bormaktivitet pågår.

Efter avslutad bormning avstädas arbetsplatsen och eventuella markskador utanför den grusade ytan åtgärdas.

Placeringen av kommande bormplatser kommer att föregås av kompletterande samråd med Länsstyrelsen.

A.3.4 Hammarbormning

Beskrivning

Under den fortsatta platsundersökningen i Forsmarksområdet planeras ytterligare cirka 10–15 hammarborrhål. Borrhålen är vanligen 100–200 meter långa. Hammarborrhål borrar för att få spolvatten till kärnbormning, för att undersöka sprickzoner och för att undersöka berggrunden mellan sprickzoner. Många av hammarborrhålen är dessutom avsedda för långtidsobservationer av grundvattennivå och grundvattenkemi.

Bormning av ett hammarborrhål tar cirka tre dagar. Bormningarna kan utföras under alla tider på året och genomförs under skiftgång. Hammarbormningen sker med ett tryckluftsdrevet aggregat liknande de borrhållaggregat som används vid brunnsbormning (se figur A-5) och har samma renhetskrav som brunnsborrhål för dricksvatten. Bormkronan fragmenterar berget och materialet (bormkaxet) blåses upp ur hålet med tryckluft. Ett 200 meter djupt hammarborrhål producerar cirka tre kubikmeter bormkax. Under den inledande platsundersökningen har allt bormkax som inte insamlas för undersökning använts vid anläggning av bormplatser och stickvägar. Uppstår ett överskott kan bormkaxet behöva deponeras på lämpligt sätt inom området eller transporteras till en deponi.

Kaxet blåses upp tillsammans med det vatten som dräneras in i borrhålet när det borrar. Detta är ytligt grundvatten som i Forsmarksområdet i allmänhet är sött till bräckt. Vattnet samlas upp i en container där kaxet får sedimentera. Vattnet har sedan släppts ut i närmsta dike.



Figur A-5. Hammarborrmaskin uppställd på skyddsduk för att förebygga markförorening och möjliggöra uppsamling av eventuella läckage.

Förutom vid etablering och avetablering av borrarutrustningen används i princip inga fordon för transporter till och från hammarborrplatsen. Ett undantag är om tung mätutrustning kan behövas vid ett senare tillfälle. Under själva borrhningen kan personalen ta sig fram till fots i de fall inga vägar anläggs. Efter slutförd borrhning städas borrhplatsen och borrhålet instrumenteras och en mätthuv placeras över det. Efter avslutade geofysiska och hydrauliska borrhålmätningar instrumenteras borrhålet för långtidsmonitoring av grundvattennivåer och grundvattenkemi och en låsbar mätthuv täcker mätinstrumenten. Signalkabel dras fram till mätthuv.

Miljöpåverkan

Borrmaskinen och därmed ljudnivån är densamma som vid vanlig brunnsborrning i berg. De dieseldrivna kompressorer som används för att alstra tryckluften åstadkommer, liksom borrarutrustningens dieselmotor, både buller och avgasutsläpp. Hammarborrning ger högre buller än kärnborrning och kan höras på stort avstånd (någon kilometer), särskilt i början av borrhningen när borrhkronan befinner sig nära markytan. Påverkan från bullret är dock kortvarigt (cirka tre dagar). Buller uppkommer också av fordonstrafik i anslutning till borrhningarna. Bullerkänsliga och skygga djur kan under själva borrhningen tillfälligt störas över ett större område. Vibrationer som uppstår är begränsade liksom även ljusskenet från belysning under kvällar och nattetid.

Eftersom såväl grusad borrhplats som nyanläggning av väg undviks för de flesta hammarborrhålen är anspråken på mark obetydliga. Terrängkörning i samband med borrhningen och vid senare mätningar kan orsaka markskador och skador på vegetation. Grundvattenytan

avsänks under borring. Grundvatten med förhöjd salthalt kan under borringen släppas ut till omgivande natur.

Både hammarborrhålen och kärnborrhålen förses med rostfritt foderrör som spaltinjekteras med vitcement. Mängden injekteringsmedel är i allmänhet betydligt mindre än vid kärnborring, men de potentiella miljöriskerna är av samma karaktär som för injektering av kärnborrhål.

Åtgärder

Liksom för kärnborring kommer valet av borrhålsplats att styras av den geovetenskapliga frågeställning som borrhålet avser att belysa. Hänsyn kan ändå tas till naturvärden genom att undersökningshålen placeras där de sprickzoner som ska studeras skär befintliga vägar. Några hål kan dock komma att placeras relativt långt från närmaste väg. Eftersom borringen är kortvarig och genom att undvika att dra väg och anlägga borrhålsplats bedöms påverkan bli begränsad. Dock kommer terrängkörning att bli aktuell under borringen och möjligen även senare vid mättillfällen. Terrängkörning ska godkännas av platsekolog efter kontroll av färdväg.

Borrutrustningen placeras ovanpå vätsketät geotextilduk, så att eventuella oljeutsläpp från bormaskinen förhindras att omedelbart nå marken och så att utsläppet snabbt kan upptäckas och åtgärdas.

Tryckluftskompressorns dieselmotor ska ha ljuddämpare som är godkänd för användning i stadsmiljö.

Den elektriska konduktiviteten på vattnet som pumpas upp ur borrhålet mäts under borringen. Om grundvatten med förhöjd salthalt kommer upp ur hålet vid borring vidtas ingen åtgärd, eftersom påverkan är kortvarig. På grund av den mycket stora vattenavgivande förmågan hos den övre delen av berggrunden, har flödet under hammarborringarna generellt varit stort, upp till cirka 1 200 l/min.

A.3.5 Jordborring

Beskrivning

Under den inledande platsundersökningen utfördes drygt 70 jordborrade hål i Forsmarksområdet. Syftet med dessa var dels att kunna ta jordprover och dels att sätta upp observationsrör för mätning av grundvattennivåer i jordlager och ge möjlighet till vattenprovtagning för att kontrollera eventuell spridning av kemikalier från kärnborringen. Under den fortsatta platsundersökningen planeras jordborring främst i samband med installation av jordrör i anslutning till nya borrhålsplatser. Men en handfull hål kan också komma att sättas för att besvara särskilda frågeställningar. Jordborring sker med en lätt larvgående maskin (typ Geotech), se figur A-6, och sysselsätter ett par personer under cirka en dag per hål.

Miljöpåverkan

Eftersom lätt utrustning används för majoriteten av jordborrhålen bedöms miljöpåverkan från borringen vara liten. Endast små mängder borkax eller uppskruvad jord hamnar på marken och grundvattnet påverkas i endast begränsad omfattning. Påverkan kommer främst från terrängkörning, visst buller och smärre avgasutsläpp, personaltransporter och allmän ökad närvaro i området.



Figur A-6. Jordborrmaskin.

Åtgärder

Terrängkörning i känsliga områden ska begränsas och ska föregås av kontroll mot tillgänglighetskarta och fältkontroll av natur- och kulturvärden.

A.3.6 Undersökningar i borrhål

I gruppen ingår:

- Hydrauliska tester och vattenprovtagningar i brunnar och borrhål.
- Spårämnesförsök.
- Termiska borrhålstester.

Beskrivning

Vid hydrauliska tester och vattenprovtagningar används tyngre lyft- och mätutrustningar. Utrustningar för hydrauliska tester är ofta monterade i containrar eller mobila arbetsvagnar som placeras rakt över borrhålet. Undersökningarna kan utföras året runt.

Vid så kallade vatteninjektionstester och pumpstester hanteras vatten på ett liknande sätt som vid spol- och returvattenhantering vid borring. På grund av de stora vattenförande zonerna i den övre berggrunden kan vattenmängderna som hanteras vid provpumpning bli relativt stora om pumpningen pågår under lång tid. De flesta borrhål provpumpas under någon till några timmar. I några borrhål genomförs en eller några få tester med varaktighet av cirka en vecka. Vattenflödena är dock betydligt mindre än vid kärnborring och hammarborring.



Figur A-7. Borrhålsundersökning i Forsmark.

Under den fortsatta platsundersökningen kommer s k interferenstester att bli aktuella. Detta innebär att den hydrauliska kontakten mellan olika borrhål undersöks genom att man pumpar bort vatten från ett hål och mäter responser i andra. Dessa tester kommer att pågå under längre tidsperioder (månader). Beroende på hur stor tillströmningen av vatten till aktuella hål är och beroende på karaktären hos jordlagren och kontakten mellan jord och berg kan viss påverkan på vegetationen uppstå till följd av sänkt grundvattennivå. Den obetydliga påverkan på jordlagren som hittills iakttagits i samband med kärnborrningen indikerar dock att denna risk är liten.

Så kallade utspädningsförsök och andra typer av spår-försök har inte genomförts under den inledande platsundersökningen men planeras under den fortsatta undersökningen. Utspädningsförsök innebär att en lösning av ett ämne injiceras i ett borrhål och att man sedan följer utspädningen av ämnet. Försöken kan ske under ostörda förhållanden eller vid pumpning i ett närliggande borrhål och ger en möjlighet att utvärdera hydrauliska egenskaper och transportegenskaper hos berget. Troliga spårämnen är färgspårämnen (biologiskt nedbrytbara) och några salter (NaI, NaBr, CsI). Det kan möjligen också bli fråga om att använda några metallkomplex (EDTA eller DTPA). Dessa används i så fall i extremt låga halter eftersom det rör sig om sällsynta jordartsmetaller (erbitium, terbitium, gadolinium m fl). Spårämnena förväntas inte ha någon miljöpåverkan i sig eftersom det rör sig om ofarliga ämnen och dessutom i mycket låga koncentrationer. Liksom vid andra borrhålstester kommer en del vatten att pumpas upp.

Termiska borrhålstester görs i korta (< 10 m) borrhål där jorddjupet är litet, helst på en lämplig håll. Värme alstras med el. Uppvärmningen genomförs under i storleksordningen en vecka. Värmen når bara några meter från värmaren. Avsvalning tar ungefär lika lång tid (kan bero på årstid).

Eventuellt kommer termiska borrhålstester också att göras i djupare borrhål. Antingen använder man ett borrhålsinstrument som tillför värme under mycket kort tid eller också görs ett ”pumptest” med värme eller kyla.

Övriga borrhålsundersökningar; geofysisk loggning, videofilmning och borrhålsradarmätningar förväntas inte ge upphov till miljöstörningar.

Miljöpåverkan

Pumptesten ger en avsänkning av grundvattenytan. Omfattningen beror på pumpflöde och den tid som pumpningen pågår. Grundvattennivån i berggrunden kan påverkas inom 200–400 meter från ett borrhål, men kan vara mer än en kilometer i en vattenledande sprickzon. Sänkningen är störst, cirka 40–60 meter, i anslutning till själva hålet. De tester vi gjort hittills har pågått några veckor och som nämnts tidigare återgår grundvattenytan till ursprunglig nivå bara några timmar efter det att pumpningen avslutats.

Brunnar, särskilt bergborrade, i närområdet till pumptesten kan påverkas främst genom sänkt grundvattenyta när pumptesten pågår men grundvattnets salthalt kan också öka på grund av att djupare grundvatten tränger upp i brunnen.

Påverkan i överliggande jordlager är helt beroende på jordlagrens sammansättning och beskaffenheten hos kontaktytan mellan jord och berg. Om jordarterna är täta och den hydrauliska kontakten mellan jord och berg är dålig fördröjs och dämpas avsänkningen i jordlagren eller uteblir helt. Genomsläppliga jordarter som till exempel grus påverkas mer av pumpverksamhet, men provpumpningars kortvariga natur gör att den förmodligen inte ger någon påverkan på växtligheten. Däremot kan man eventuellt förvänta sig viss påverkan på vegetationen vid interferenstesterna beroende på hur känslig vegetation som finns runt borrhålen. Känsligast för uttorkning är områden som i naturligt tillstånd är blöta. Påverkan blir dock temporär, nästföljande säsong förväntas inga effekter kvarstå.

Påverkan på miljön från värmen i de termiska borrhålsundersökningarna antas vara försumbar. Däremot ger användningen av aggregatet utsläpp av avgaser och buller.

Åtgärder

Vattnet som pumpas upp avleds vanligen till närmaste vattendrag eller dike. Om det blir större mängder eller om vattnet är salt kan det emellertid behöva samlas upp i tank för transport till havet eller pumpas ut till havet via ledning.

Eventuell påverkan i närliggande privata brunnar kontrolleras och om påverkan är beständig åtgärdas detta, exempelvis med ny brunn.

Liksom vid placering av andra borrhål styrs de termiska borrhålsundersökningarna av den geovetenskapliga frågeställning som borrhålet ska belysa. Hänsyn till naturvärden skall dock tas och borrhålen bör i möjligaste mån ligga i anslutning till befintlig infrastruktur så att terrängkörning undviks och anslutning till elnätet kan ske.

A.3.7 Flödes- och nivåmätningar i vattendrag

Beskrivning

Eftersom det vanligaste sättet att mäta vattenflöde i små vattendrag – mätöverfall med en mindre damm uppströms mätöverfallet – utgör ett vandringshinder för fisk och andra vattenorganismer har en annan lösning valts i Forsmark. På botten av vattendraget byggs en mätträna med en speciell utformning som gör att flödet kan beräknas med utgångspunkt från vattennivån i rännan (mäts med tryckgivare). Rännan måste hållas isfri för att fungera vintertid och därför placeras värmeslingor under rännan. För att få tillförlitliga mätvärden får inte sträckan nedströms vara alltför flack och igenväxt eftersom det då uppstår dämning som kan påverka mätresultatet.

För att mäta vattenytans nivå i sjöar och fjärdar används trycksonder som placeras i anslutning till ett grundvattenrör. Trycknivåerna lagras av en batteridriven logger som sitter monterad vid röret. Loggarna är kopplade till ett GSM-system som ringer upp och överför data några gånger i veckan. Stationerna besöks ungefär var fjärde månad när batterierna behöver bytas.



Figur A-8. Flödesmätstation uppströms Bolundsfjärden.

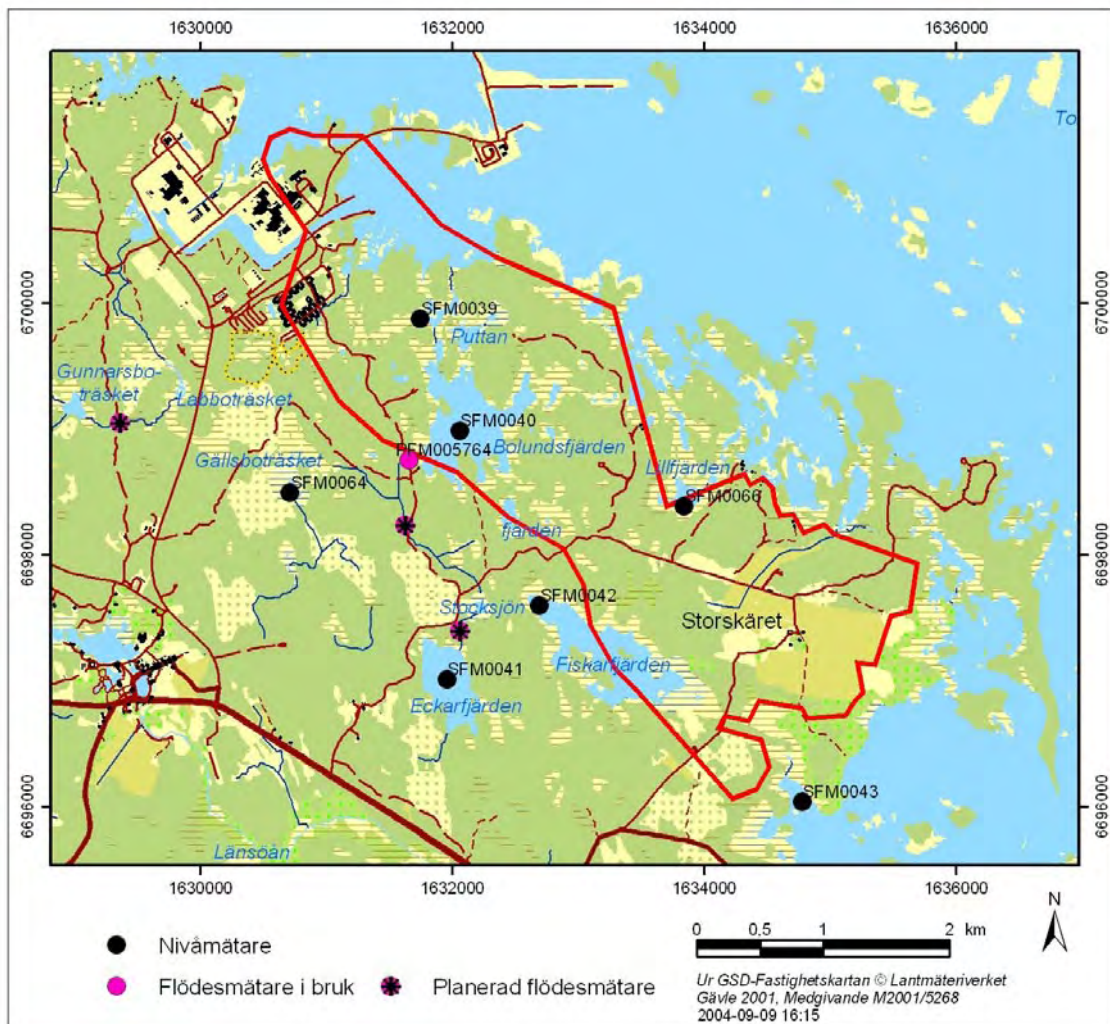
Den första mätstationen (uppströms Bolundsfjärden) har fungerat i cirka ett år och funktionen har utvärderats. För att få tillförlitliga data har rännan höjts drygt en decimeter. Tre nya mätstationer av samma typ installeras under hösten 2004, nedströms Gunnarsboträsket, nedströms Eckarfjärden samt mellan den senare och den befintliga mätstationen, se kartan i figur A-9.

I fem av områdets sjöar, i en grund havsvik samt i Forsmarks hamn har utrustningar för nivåmätning installerats. Deras placering visas i kartan i figur A-9. Några fler nivåmätare planeras inte i dagsläget.

Miljöpåverkan

Vid anläggning av mätstationerna behöver vattendraget grävas ur med grävmaskin på en sträcka av cirka 30 m. För att grävmaskinen ska kunna ta sig fram kan träd behöva fällas. Under grävningen måste vattnet i bäcken antingen pumpas förbi ”byggsektionen” eller ledas förbi i en temporär sidoränna. Det förra alternativet kommer att vara huvudalternativ för att minimera den markyta som behöver tas i anspråk.

För att minska den dämmande effekten kan man behöva rensa bäcken nedströms mätstationen genom att ta bort några mindre träd som växer i bäckfåran samt nedfallna grenar och dylikt.



Figur A-9. Placering av nivåmätare samt flödesmätstationer.

Åtgärder

För att undvika att maskiner måste köras långa sträckor i terrängen har mätstationerna placerats så att de ligger i nära anslutning till befintliga vägar. Placeringen har bestämts i samråd med platsekolog och föregåtts av kontroll mot tillgänglighetskartan och fältkontroll av natur- och kulturvärden. Vidare har placering och utformning av flödesmätstationerna godkänts av Länsstyrelsen. I dagsläget planeras inga fler flödesmätstationer. Men om det skulle bli aktuellt kommer installationerna att utföras vid tidpunkter som är mindre känsliga ur natursynpunkt, det vill säga sensommaren-hösten. Under tidig höst är vattennivåerna oftast som lägst vilket gör det enklare att arbeta i bäckarna.

Även placeringen av nivåmätstationsstationerna i sjöarna och havsvikarna har valts i samråd med platsekolog.

A.3.8 Seismiska undersökningar

Beskrivning

De seismiska undersökningarna består av tre olika metoder: refraktionsseismik, reflektionsseismik samt Vertikal Seismisk Profilering (VSP). Refraktionsseismik kommer bland annat att användas för att bestämma jorddjup och för att studera ytliga strukturer i berget, bland annat för att utgöra underlag för de lineamentsgrävningar som planeras. Reflektionsseismik används för att bestämma läget och orienteringen på bergartsgränser och sprickzoner ner till stora djup i berggrunden medan VSP ger en mer detaljerad bestämning av sprickzoners geometri och orientering i närheten av de undersökta borrhålen.

Normalt genomförs seismiska undersökningar genom att små sprängladdningar i marken detoneras och ljudvågens utbredning och reflektion mot strukturer i jordlager eller i berggrunden registreras med geofoner, som kan liknas vid känsliga mikrofoner. Under platsundersökningen har även en alternativ metod använts med goda resultat. I denna ersätts laddningarna med vibrationer från en slaghammare som monterats på en grävmaskin. Detta innebär både minskad miljöpåverkan, i och med att det inte behöver borrar några hål för



Figur A-10. Seismiska undersökningar med vibrationshammare.

laddningar, och mer effektiva undersökningar. Metoden med slaghammare tillämpas dock bara i anslutning till befintlig väg. När profilerna går genom terrängen kommer konventionell metodik med sprängladdningar att användas, eftersom en traktor i dessa fall skulle åstadkomma större markskador.

Vid refraktionssesimik används en laddning på maximalt ett par hundra gram. Vid reflektionssesimik är laddningen ännu mindre, i regel mellan 15 och 100 gram.

Laddningshålens storlek vid reflektionssesimik är beroende av jorddjupet. Vid stora jorddjup borrar laddningshålen i jorden med en handhållen bormaskin eller en borrbandvagn, typ Geotech, se figur A-6. Bormaskinen drivs med tryckluft från en kompressor som dras av någon typ av terrängfordon, se figur A-11 nedan. Om jordtäcket är tunt blottläggs bergytan och en eldriven handhållen bormaskin av typ Hilti används. Elförsörjningen kommer då från en elgenerator.



Figur A-11. Förberedelser för borrning och laddning för reflektionssesimik.

Andra markgeofysiska mätinsatser, till exempel markradarmätningar eller tyngdkraftsmätningar, som eventuellt kommer att utföras under den fortsatta platsundersökningen, ger inte upphov till annan miljöstörning än att människor rör sig inom undersökningsområdet.

Miljöpåverkan

Vid seismiska undersökningar ger kompressorn som används för borring av laddningshål upphov till avgaser. Om motordriven borrhandsvagn används uppkommer avgaser även från denna. Sprängladdningarna avger spränggaser vid detonationerna.

Bullernivåerna från de reflektionsseismiska mätningarna är låga. Refraktionsseismikens detonationer är något kraftigare. De ger en knall som kan uppfattas av en människa på ett avstånd av ett par hundra meter. Vid sprängning av utskott (de detonationspunkter som ligger längst bort från geofonerna) vid refraktionsseismik är knallen ännu högre. Bullret är kortvarigt men detonationerna kan störa fåglar och däggdjur.

Påverkan på mark bedöms som mycket liten efter reflektionsseismisk mätning. Vid enstaka detonationer direkt på frilagda hållar kan dock en viss sprickighet uppkomma i hällytan. Normaldetonationen vid refraktionsseismik på jordlager bildar en upphöjning i markytan med en diameter av cirka en halv meter, där jorden är uppluckrad under upphöjningen. Upphöjningen avjämnas innan platsen lämnas varför påverkan bedöms som obetydlig. Detonationer på längre avstånd från geofonerna kräver större laddningar vilket ger större gropar och uppkast av jord och sten. Kratrarna kan uppgå till en meter i diameter, med ett djup av ett par decimeter. De mest varaktiga förändringarna i terrängen är de spår som terränggående fordon lämnar efter sig, i de fall de måste lämna skogsbilvägarna för transport av kompressor.

Vid detonationer i vatten påverkas fisk som befinner sig i närheten av detonationen. De närmaste fiskarna dör medan fiskar som befinner sig längre från detonationen bedövas. Utbredningen av påverkansområdet är svår att uppskatta. Om seismiska undersökningar i vatten genomförs kommer det att utnyttjas för registrering av fiskfaunan i de områden som berörs.

Vid användning av slaghammare åstadkoms ett skarpt knattrande ljud som är hörbart några hundra meter från traktorn. Den senare ger upphov till avgaser.

Åtgärder

För samtliga profiler kontrolleras sträckningen mot tillgänglighetskartan. I de fall profilerna inte följer befintliga vägar utan går i naturen kontrolleras natur- och kulturvärden även i fält. Syftet med detta är att styra färdvägen för terrängfordon och placeringen av skottpunkter så att risken för skada på känsliga miljöer minimeras. Med utgångspunkt från tillgänglighetskartan kan undersökningsprofilernas lägen justeras och tidpunkten under året anpassas så att störningarna på känslig natur begränsas. Kratrar som uppstår i marken återfylls med löst liggande material och jämnas till.

Kompressor och banddriven bormaskin placeras på fiberduk för att samla upp eventuellt oljespill. För att undvika transporter i terrängen ställs sådan utrustning i möjligaste mån upp vid vägar.

I samband med sprängning finns vakter utplacerade för att varna för pågående arbeten. Förvaring, transport och hantering av sprängmedel följer gällande lagar och föreskrifter. Bland annat ska seismikentreprenören inneha sprängkort och tillstånd för sprängningsarbeten.

Seismiska undersökningar som innebär terrängkörning och profiler genom orörd terräng kommer att föregås av kompletterande samråd med Länsstyrelsen.

A.3.9 Fältinventeringar och andra undersökningar i känsliga områden

Beskrivning

De stora fältundersökningsinsatserna som ytkartering av bergarter, jordmånsinventering, jordartskartering och kartering av vattendrag genomfördes under den inledande platsundersökningen. Det kommer dock att utföras en del fältundersökningar även under den fortsatta platsundersökningen. De flesta undersökningarna – respirationsmätningar på land och i vatten och fortsatt övervakning av fågelfaunan i området – innebär minimal miljöpåverkan. Andra undersökningar som kommer att genomföras är kompletterande berggrundsgeologisk kartering sydost om Kallrigafjärden och detaljerade sprickarteringar i kandidatområdet nordvästra del. Den berggrundsgeologiska karteringen görs på hållar i området. Vid detaljerad sprickartering friläggs hållar genom att jordtäckets avlägsnas och hållarna rengörs med högtrycksspruta. En del av de undersökningar som planeras kommer eventuellt även att beröra känsliga eller skyddade områden, exempelvis Kallrigareservatet. Vidare kommer kompletterande maringeologiska undersökningar att utföras på botten i havsområden med vattendjup understigande tre meter. Dessa undersökningar genomförs från båt varvid sedimentproppar tas upp från botten. Också en undersökning av finrötter kommer att genomföras i området, vilket kräver grävning av mindre gropar.

Miljöpåverkan

De flesta av de återstående fältinventeringarna och undersökningarna har mycket liten miljöpåverkan, i princip enbart den störning som personalens närvaro i fält kan ge upphov till. I några fall kommer grävning av mindre gropar att genomföras för inventering av rötternas finfraktion. Dessa gropar grävs med spade och är i storleksordningen upp till cirka en halv meter i diameter. Groparna återställs efter provtagning.

Berggrundgeologisk kartering av hållar innebär att mossor och lavar kan behöva avlägsnas tillfälligt inom några mindre områden. Områdena, som är i storleksordningen 0,5–1 m i diameter, återställs efter genomförd kartering.

Detaljerad sprickartering kräver att jordtäckets avlägsnas ner till bergytan med hjälp av grävmaskin. I första hand väljs dock hållar som ligger i dagen eller har ringa jorddjup. Hållarna rengörs därefter med högtrycksspruta eller tryckluft. Grävning ger upphov till buller, damm och avgaser och grävmaskiner kan läcka smörj- och/eller hydraulolja. Kompressorer för drift av högtrycksutrustningar ger också upphov till buller och avgaser.

Under vissa tider på året är djur- och fågelliv särskilt känsligt och närvaro i fält kan då orsaka störningar.

Vid kartering av jordarter i havsområden med djup understigande tre meter behövs båt, vilken ger upphov till buller och avgaser. Undersökningen kan även innebära att personal vistas i Kallrigareservatet.

Åtgärder

Samtliga fältaktiviteter föregås av kontroll mot tillgänglighetskartan och vid behov genomförs fältkontroll av natur- och kulturvärden. Undersökningarna tidplaneras så att djurlivet störs så lite som möjligt. Om undersökningar behöver genomföras i Kallrigareservatet under perioder då tillträdesförbud råder kommer dispens från reservatsföreskrifterna att sökas hos Länsstyrelsen.

Tack vare den monitorering av fåglar och vilt som SKB genomför finns goda möjligheter att planera aktiviteter så att störningarna minimeras.

Fältundersökningar med påverkan på naturmiljön kommer att föregås av kompletterande samråd med Länsstyrelsen.

A.3.10 Sammanfattning

I tabellen nedan sammanfattas de undersökningar som bedöms kunna medföra påverkan på miljön och som i vissa fall kommer att föregås av kompletterande samråd med avseende på ytterligare precisering av tidpunkter, genomförande och lokalisering.

Aktiviteter som kan medföra påverkan på miljön	Uppskattad omfattning	Kommentar
Utbyggnad av vägar	Nya vägar kan behöva byggas i samband med att nya borrhplatser anläggs, se nedan. I övrigt planeras dock inga tillkommande vägar i området. Vägarna ska vara framkomliga för personbilar och lastbilar med släp (längd 24 m, bredd 2,6 m, höjd 4,5 m, totalvikt 50 ton) och vägens bärighet ska tillåta tung trafik året runt.	Under den inledande platsundersökningen har ca 1 km väg anlagts och ca 6 km befintlig väg förstärkts. Utbyggnad av vägar kommer att föregås av kompletterande samråd med Länsstyrelsen.
Anläggande av stickvägar och borrhplatser	Korta vägar kan behöva anläggas till nya borrhplatser. I anslutning till kärnborrhplatser kan vägen behöva utföras bredare. Breddningen används som av- och pålastningsyta och som parkeringsplats. Breddningen kan antingen ske på ena eller bägge sidor om vägen. Kärnborrhplatser kräver en grusad yta om ca 30×40 m och kommer att inhägnas.	Samlad redovisning av vägar, utformning och tillhörande infrastruktur kommer ingå i anmälan för kompletterande samråd avseende tillkommande borrhplatser.
Anläggande av övrig infrastruktur	Behovet av ytterligare el- och signalledningar avgörs av antalet tillkommande borrhplatser och deras placering i förhållande till befintlig infrastruktur. I anslutning till väg förläggs ledningar huvudsakligen i marken i skyddsror. För infrastruktur i anslutning till mät- och övervakningsutrustning, se nedan.	El- och signalledning har dragits till samtliga kärnborrhplatser, undantaget signalledning till borrhplats 3. Vid borrhplatserna 7 och 8 kommer vi att utnyttja befintlig infrastruktur, vilken inte medger eldriven borrhning.

Aktiviteter som kan medföra påverkan på miljön	Uppskattad omfattning	Kommentar
Kärnborrning	Ca 12 kärnborrhål, 3–6 månader per borrhål. 2–5 tillkommande borrhål. Ett 1 000 m:s hål kräver minst 1 000 m ³ spolvatten för kylning av borrhåll och uppföring av borrhål. Spolvattenförsörjning sker från närbeläget hammarborrhål. Returvatten leds via sedimentationscontainrar till recipient.	Vintertid kan alternativa recipienter behöva nyttjas på grund av frysrisker om returvattenledningen är för lång. Utbyggnad av nya borrhål i terrängen samt avledning av returvatten till alternativa recipienter kommer att föregås av kompletterande samråd med Länsstyrelsen.
Hammarborrning och jordborrning	Ca 10–15 hammarborrhål, 100–200 m djupa samt 5–10 jordborrhål. Kräver i normalfallet ej utbyggnad av väg eller grusad yta vilket innebär att ianspråktagandet av mark blir obetydligt. Borrning pågår i ca 3 respektive 1 dagar/hål.	Kommer i normalfallet ej att föregås av samråd med Länsstyrelsen, om inte tillgänglighetskontroll eller fältkontroll av natur- och kulturvärden ger anledning till detta.
Grävningar för kartering av berggrund m m	Grävning av schakt/diken för undersökning av bergytan vid misstänkta sprickzoner planeras på 3–6 ställen i området. Två diken grävs under hösten 2004. Ytterligare 2–3 diken kommer enligt planerna att grävas under 2005. Dikena är 50–100 m långa och har en bottenbredd på ca 3 m. För att vara genomförbart bör jorddjupet ej överstiga 5 m. Grävning för friläggning av hållar – på en yta av ca 30×30 m – kan bli aktuellt i samband med detaljerad sprickkartering i områdets nordvästra del. I dagsläget planeras för en sådan friläggning.	De lokaler där grävning ska genomföras under hösten 2004 har anmälts för samråd med Länsstyrelsen. Även tillkommande lokaler kommer att föregås av samråd. Större grävarbeten kommer att föregås av samråd med Länsstyrelsen avseende lokalisering och omfattning.
Seismiska undersökningar	Under hösten 2004 kommer refraktionsseismiska undersökningar att genomföras för att bestämma jorddjup på de lokaler där grävningar för att undersöka lineament ska genomföras. Under 2004 kommer även reflektionsseismiska undersökningar att genomföras för att undersöka området sydväst och nordost om kandidatområdet. Omfattningen av övriga seismiska undersökningar går ej att uppskatta i dagsläget.	De planerade seismiska undersökningarna har anmälts för samråd med Länsstyrelsen. Kommande seismiska undersökningar kommer att föregås av samråd med Länsstyrelsen om profiler lokaliseras i obanad terräng eller i vatten.
Fältinventeringar och undersökningar i känsliga områden	Ett antal mindre fältundersökningsinsatser kommer att genomföras under den fortsatta platsundersökningen. Bland annat kommer maringeologiska undersökningar att genomföras i havsområden med vattendjup understigande 3 m. Vidare kommer kompletterande berggrundsgeologisk kartering att genomföras i området sydost om Kallrigafjärden.	Om undersökningarna bedöms kunna ge upphov till påverkan på miljön eller behöver utföras i känsliga eller skyddade områden kommer de att föregås av kompletterande samråd med Länsstyrelsen.