

Referensområden

En sammanställning och utvärdering av typområdesundersökningar med mera

Svensk Kärnbränslehantering AB

November 2010

Svensk Kärnbränslehantering AB

Swedish Nuclear Fuel
and Waste Management Co

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



ISSN 1651-4416

SKB P-10-46

Referensområden

En sammanställning och utvärdering av typområdesundersökningar med mera

Svensk Kärnbränslehantering AB

November 2010

Nyckelord: SKBdoc id 1261300, Platsundersökningar, Typområden, Finska undersökningar, Instrument, Undersökningsmetoder.

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

Förord och läsanvisning

Den 3 juni 2009 beslöt SKB:s styrelse att välja Forsmark som plats för slutförvaret för använt kärnbränsle. Ett mångårigt arbete med att lokalisera en unik anläggning hade därmed nått sitt mål. Lokaliseringsarbetet har omfattat undersökningar av typområden, forskning och utveckling i berglaboratorierna i Stripa och på Äspö, förstudier samt platsundersökningar i Forsmark och Oskarshamn. Platsvalet kunde således göras med stöd av omfattande data och erfarenheter och en bred kunskap om geovetenskapliga faktorer som är viktiga för slutförvaret.

Denna rapport utgjorde ett av flera underlag vid platsvalet. Arbetet att ta fram rapporten inleddes 2005 och avslutades i mars 2009. Rapporten publiceras nu, tillsammans med övrig dokumentation till ansökan för slutförvaret för använt kärnbränsle. I rapporten redovisas ett omfattande referensmaterial från SKB:s typområdesundersökningar, undersökningarna vid Stripa och Äspö samt information från det finska lokaliseringsprogrammet. De undersökningar och utvärderingar av referensområdena som utförts genom åren samt den verksamhet som bedrivits i Stripa och Äspölaboratoriet har haft stor betydelse för den geovetenskapliga kunskapsuppbyggnaden och utvecklingen av metodik för undersökningsmetoder, platsutvärdering, säkerhetsanalyser med mera.

Båda de svenska och finska undersökningarna är väl dokumenterade, dels i sammanfattande rapporter och dels i ämnesspecifika rapporter. Målsättningen för denna rapport har varit att inte i onödan upprepa vad som redan har dokumenterats. Istället har källor och andra viktiga referenser redovisats tydligt. En utmärkt sammanställning av relevanta referenser (både svenska och finska) finns i TR-02-18 ”Swedish deep repository siting programme. Guide to the documentation of 25 years of geoscientific research (1976-2000)”, av Alan Geoffrey Milnes och utgiven av SKB 2002.

Rapporten omfattar enbart faktorer relaterade till berget och bergets egenskaper; miljöförhållanden, miljöpåverkan, infrastruktur med mera som kan påverka lokaliseringsförutsättningarna för slutförvaret har inte avhandlats.

Termen ”platsundersökningar” avser i rapporten platsundersökningarna i Forsmark och Laxemar/Simpevarp; i övrigt används beteckningarna ”typområdesundersökningar” och för Äspö ”förundersökningar”.

Rapporten har tagits fram av en arbetsgrupp under ledning av Roland Johansson. Övriga deltagare har varit Roy Stanfors¹, Leif Stenberg, Marcus Laaksoharju, John Smellie, Eva-Lena Tullborg, Ann-Chatrin Nilsson, Kent Hansson, Bengt Leijon, Jan Sundberg, Kerstin Strandanger och Peter Wikberg.

Rapporten har följande struktur och huvudinnehåll:

Kapitel 1 inleds med en kort resumé av SKB:s inventeringar och undersökningar av den svenska berggrunden. Därefter redovisas syfte med och mål för denna rapport samt huvudaktiviteter som utförts för att ta fram rapporten.

Kapitel 2 ger en orientering om de geologiska förutsättningarna för slutförvaring av använt kärnbränsle och om huvudenheter i den svenska och finska berggrunden samt en översiktlig indelning av Sveriges och Finlands kristallina berggrund.

Kapitel 3 ger en översikt och en kort beskrivning av undersökta områden i Sverige och Finland samt berglaboratorierna i Stripa och på Äspö. Kapitlet avslutas med en redovisning av vilken typ av berggrund (enligt kapitel 2) som de undersökta områdena representerar.

¹ Roy Stanfors avled sommaren 2008. Arbetet med rapporten var då i huvudsak klart.

Kapitel 4 redovisar motiv för och val av referensområden för detta projekt.

Kapitel 5 sammanfattar de säkerhetsbedömningar och säkerhetsanalyser som SKB, Posiva (SKB:s motsvarighet i Finland) och SKI har gjort.

Kapitel 6 redovisar de krav och önskemål mot vilka de valda referensområdena bedöms.

Kapitel 7 innehåller en sammanställning och bedömning för vart och ett av referensområdena. Kapitlet avslutas med en diskussion om hur pass tillförlitliga bedömningarna är.

Referenser

Bilaga 1 utgör underlag till kapitel 7; innehåller en kortfattad beskrivning och redovisning av utförda undersökningar för vart och ett av referensområdena samt resultatet av de beräkningar och bedömningar som gjorts inom projektet.

Bilaga 2 redovisar den bearbetning och beräkning utifrån grunddata som har varit nödvändig för vissa parametrar avseende hydrogeologi och bergets transportegenskaper.

Bilaga 3 redovisar terminologi för och definitioner av begreppet deformationszoner; dels den som användes i Äspöprojektet, dels den som användes under platsundersökningarna i Forsmark och Oskarshamn.

Bilaga 4 kommenterar tilltron till och gjorda bedömningar av hydrogeokemiska data från referensområdena.

Bilaga 5 redovisar undersökningsmetoder som har använts; undersökningarnas omfattning samt utvecklingen av undersöknings- och analysmetoder, mätprecision, kvalitetssäkring och datahantering från typområdesundersökningarna, via Äspö och fram till platsundersökningarna i Forsmark och Laxemar/Simpevarp. I de fall då detta är möjligt redovisas hur skillnader mellan då och nu har förändrat möjligheterna att göra tillförlitliga bedömningar och prognoser.

Bilaga 6 innehåller ordförklaringar.

Sammanfattning

Bakgrund

Arbetet med att ta fram en lämplig metod och finna en plats för slutförvaring av det använda kärnbränslet pågick i mer än 30 år. Redan under de tio första åren – och med Aka-utredningens (Använt kärnbränsle och radioaktivt avfall) förslag som utgångspunkt – utformades grunderna för ett svenskt förvarssystem. Under perioden fram till 1988 byggdes m/s Sigyn, Clab (Centralt mellanlager för använt kärnbränsle) och SFR (Slutförvar för radioaktivt driftavfall). Parallellt pågick aktiviteter för att kunna bestämma förutsättningar och utveckla metoder för slutförvaring av det använda kärnbränslet i den svenska berggrunden.

Det grundläggande kravet på ett slutförvar är att det använda kärnbränslet ska kunna isoleras under så lång tid som behövs för att aktiviteten ska ha avklingat till en nivå som är jämförbar med vad man kan finna i naturen. Utifrån detta grundläggande krav och med de förutsättningar som den svenska berggrunden erbjuder blev inriktningen redan tidigt att förvaret skulle placeras i det svenska urberget på cirka 500 meters djup. Närmare preciserat innebär detta kristallin berggrund av prekambrisk ålder belägen inom den Baltiska Skölden, med undantag främst av de delar av Skölden som täcks av Fjällkedjan i väster, vissa områden med stor malmpotential och delar som täcks av tjocka lager med fanerozoisk sedimentär berggrund till exempel i Skåne och på Gotland.

Att skaffa sig god kunskap om den svenska berggrunden och vilka egenskaper berget måste ha för att kravet på en säker slutförvaring skulle kunna uppnås var en av huvuduppgifterna under det inledande arbetet. Geologiska studier genomfördes över hela landet och i olika geologiska miljöer. Med hjälp av flygbilder och geologiska kartor identifierades ett stort antal möjliga områden. Nästa steg var fältbesök och enkla geologiska karteringar. Därefter följde mer omfattande undersökningar av några områden som bedömdes ha bra förutsättningar att uppfylla kraven på ett långsiktigt säkert slutförvar. Parallellt pågick utvecklingen av bättre och anpassade undersökningsmetoder. Under åren 1977–1985 genomfördes typområdesundersökningar på åtta platser; 85 kärnborrhål med en sammanlagd längd av mer än 45 kilometer borrades. Förutom typområdesundersökningarna genomfördes större forskningsinsatser i berglaboratorierna vid Stripa gruva och på Äspö.

Motsvarande studier och platsundersökningar utfördes i Finland inom ramen för Posivas lokaliseringsprogram. Posiva har också deltagit i forskningsprojekt i både Stripa och Äspö-laboratoriet. Eftersom den finska berggrunden har stora likheter med vår och KBS-3-metoden är huvudalternativ för slutförvaring även i Finland gav data och kunskap från de finska områdena en betydande breddning av referensunderlaget till platsvalet.

Syfte och huvudinnehåll

Rapportens syfte är att, mot en bredare bakgrund av kunskap om förhållanden i den svenska och finska berggrunden, underlätta en värdering av Forsmarks och Laxemars meriter som platser för slutförvaret. I rapporten redovisas och värderas geovetenskapliga data och erfarenheter från typområden, berglaboratorier och finska undersökningsområden på ett strukturerat sätt.

De krav och önskemål som redovisas i rapporten ”Vilka krav ställer djupförvaret på berget” /0-1/, har tillsammans med nyare kunskap varit utgångspunkt när data från tidigare undersökta områden har bearbetats, strukturerats och värderats. Föreliggande rapport redogör översiktligt för den utveckling som skett – från tiden för typområdesundersökningarna, via Stripa och Äspö och fram till platsundersökningarna i Forsmark och Oskarshamn – avseende undersöknings- och analysmetoder, datahantering och kvalitetssäkring.

Säkerhetsanalyser och säkerhetsbedömningar som utförts för studerade områden genom åren redovisas översiktligt.

Rapporten redovisar enbart faktorer relaterade till berget och bergets egenskaper; miljöförhållanden, miljöpåverkan, infrastruktur med mera har inte behandlats.

Undersökta områden, val av referensområden

Tabell 1 ger en komprimerad översikt av områden i Sverige och Finland där undersökningar gjorts i olika skeden, undersökningarnas omfattning samt det urval av referensområden som gjorts för denna utredning. SKB har utfört typområdesundersökningar på åtta platser samt begränsade undersökningar (SKB eller Prav²) på ytterligare nio platser. Vid berglaboratorierna i Stripa och på Äspö har omfattande undersökningar, tester och försök utförts. Figur 1 visar läget av de aktuella platserna. I Finland utfördes inledande undersökningar på fem platser och därefter mer omfattande på tre av dessa (Olkiluoto, Kivetty och Romuvaara) samt vid Hästholmen, se figur 2.

För att ett område ska kunna bidra med jämförelseunderlag krävs att det är möjligt att värdera och jämföra egenskaper som i något avseende har betydelse för platsens lämplighet. För att kunna göra en meningsfull värdering av ett område krävs att undersökningarna varit tillräckligt omfattande eller att området av annat skäl är av särskilt intresse. Exempelvis kan ett undersökt område vara av intresse – även om undersökningarna inte är särskilt omfattande – i det fall områdets berggrund är sådan att det bidrar till den geologiska bredden på det samlade underlaget.

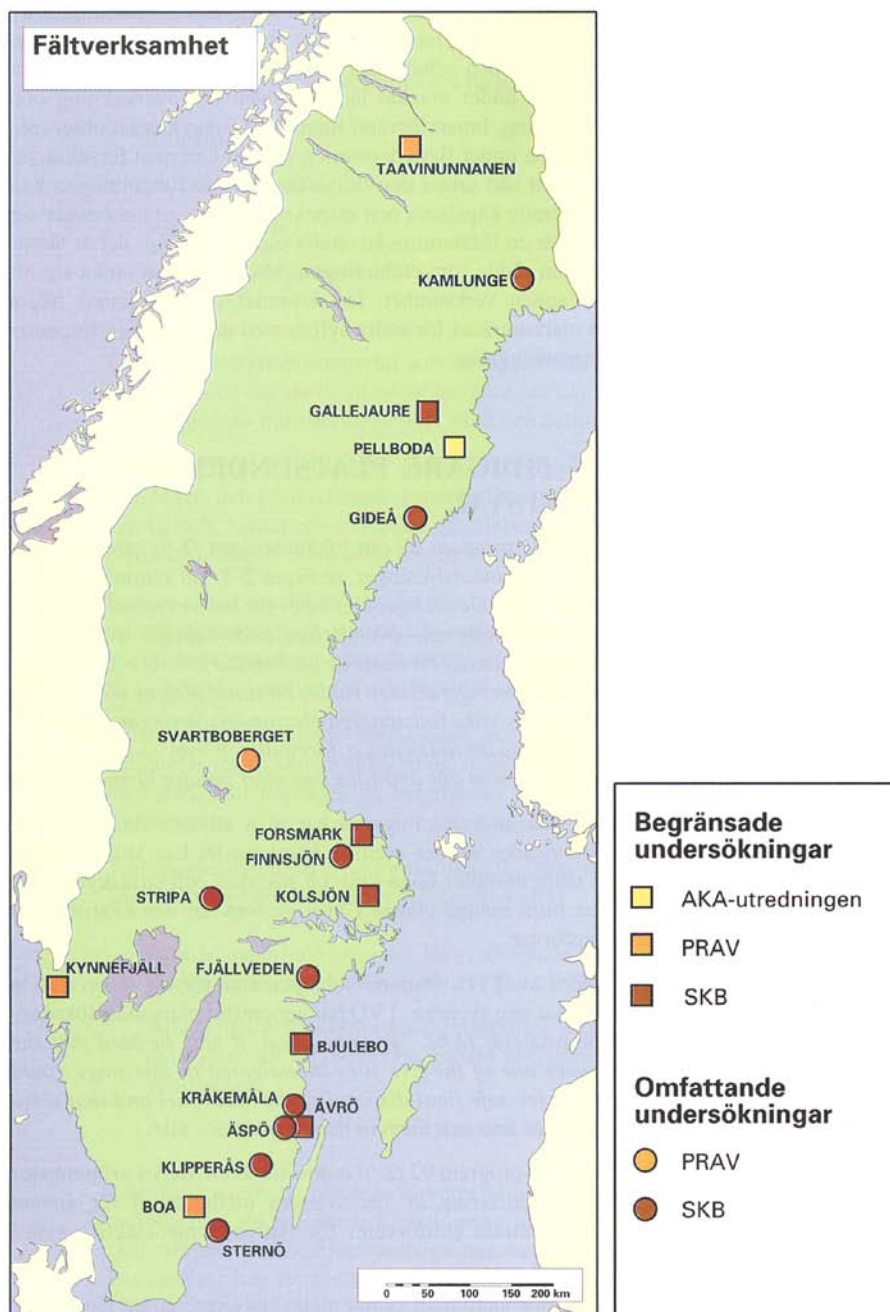
Tillräckligt omfattande undersökningar har utförts inom SKB:s typområden. Dessa tas därför med som referensområden. Därutöver har områdena Kråkemåla och Taavinunnanen tagits med i jämförelsen, trots de jämförelsevis begränsade undersökningarna på dessa platser. Skälet är att de bidrar med data från geologiska miljöer (ung, kvartsrik granit respektive gabbro, det vill säga basisk berggrund) som skiljer sig från övriga områden. Äspölaboratoriet har varit och är av central betydelse för utveckling, provning och demonstration av KBS-3-metoden, undersökningsutrustning och undersökningsmetoder med mera. Omfattande förundersökningar utfördes innan bygget av berganläggningarna på Äspö startade. Baserat på resultat från förundersökningarna utarbetades prognoser för platsens geologiska, hydrogeologiska, hydrogeokemiska och bergmekaniska förhållanden. Prognoserna kontrollerades sedan när nedfartstunneln byggdes.

Tabell 1. En översikt av undersökta områden, undersökningarnas omfattning samt valda referensområden.

Område	Ansvarig organisation	Undersökningarnas omfattning	Kommentar	Referensområde
Svenska områden				
Sternö	SKB, KBS-projektet	Relativt omfattande men inom ett begränsat område.	Ett av SKB:s åtta typområden.	Ja
Boa	Prav	Begränsade		Nej
Klipperås	SKB	Omfattande	Ett av SKB:s åtta typområden.	Ja
Ävrö	SKB, KBS-projektet	Relativt omfattande men inom ett begränsat område.	Ingår i det regionala modellområdet för platsundersökningen i Oskarshamn (delområde Simpevarp).	Nej
Äspö	SKB	Mycket omfattande; både från markytan och i berget under jord.	Berglaboratorium.	Ja

² Programrådet för radioaktivt avfall.

Område	Ansvarig organisation	Undersökningarnas omfattning	Kommentar	Referensområde
Kråkemåla	SKB	Relativt omfattande men inom ett begränsat område och endast tre kärnborrhål.	Ett av de första områdena där KBS-projektet utförde undersökningar. Ett av SKB:s åtta typområden.	Ja
Bjulebo	SKB	Omfattande på markytan (berggrundskartering och markgeofysik). Inga borrhål.		Nej
Kynnefjäll	Prav	Begränsade		Nej
Fjällveden	SKB	Omfattande	Ett av SKB:s åtta typområden.	Ja
Stripa	SKB	Mycket omfattande, huvudsakligen under mark.	Berglaboratorium	Nej
Kolsjön	SKB	Begränsade	Gabbromassiv	Nej
Finnsjön	SKB	Omfattande; mer omfattande än övriga typområden.	Ett av SKB:s åtta typområden.	Ja
Forsmark	SKB, KBS-projektet	Begränsade	Avser det område norr om kärnkraftverket som undersöktes 1977.	Nej
Svartboberget	Prav, SKB	Omfattande	Ett av SKB:s åtta typområden.	Ja
Gideå	SKB	Omfattande	Ett av SKB:s åtta typområden.	Ja
Pellboda	Aka-utredningen	Begränsade	Undersökningarna avsåg främst test av olika undersökningsmetoder.	Nej
Gallejaur	SKB	Begränsade	Gravimetriskt tolkad gabbro som på förvarsdjup inte kunde bekräftas med det kärnborrhål som borrades.	Nej
Kamlunge	SKB	Omfattande	Ett av SKB:s åtta typområden.	Ja
Taavinunnanen	SKB	Begränsade	Gabbromassiv	Ja
Finska områden				
Hästholmen	POSIVA	Omfattande	Ett av fyra områden i Posiva:s urvalsunderlag.	Ja
Kivetty	POSIVA	Omfattande	Ett av fyra områden i Posiva:s urvalsunderlag.	Ja
Olkiluoto	POSIVA	Omfattande	Ett av fyra områden i Posiva:s urvalsunderlag. Valt som plats för Finlands slutförvar; bygge av forskningsanläggningen ONKALO pågår.	Ja
Romuvaara	POSIVA	Omfattande	Ett av fyra områden i Posiva:s urvalsunderlag.	Ja
Syyry	POSIVA	Omfattande	Undersökningarna hade ungefär samma omfattning som i SKB:s typområden.	Nej
Veitsivaara	POSIVA	Omfattande	Undersökningarna hade ungefär samma omfattning som i SKB:s typområden.	Nej



Figur 1. I arbetet med att bygga upp allmän kunskap om berggrunden i landet och de förhållanden som kan påverka funktionen hos ett slutförvar har geologiska undersökningar utförts på ett stort antal platser i Sverige /0-2/.

Undersökningar från tunneln bekräftade i huvudsak de prognoser som gjordes i förundersökningsskedet. Särskilt för modeller i regional och lokal skala var överensstämmelsen mycket god. För detaljmodeller i tunnelskala var överensstämmelsen sämre. Data från Äspö har också använts i säkerhetsanalyser, senast i SR 97 som också omfattade säkerhetsanalyser med data från typområdena Finnsjön och Gideå. Äspö utgör således en unik och särskilt värdefull referens när undersökningsresultat från andra undersökta områden ska värderas.

Stripa däremot, kan aldrig utgöra ett jämförelseobjekt eftersom undersökningarna där utfördes i en störd miljö, vilket begränsar möjligheterna att göra relevanta jämförelser. Stripa ingår därför inte bland referensområdena.



Figur 2. I Finland har platsundersökningar utförts på sex platser; på fyra av dessa – Kivetty, Olkiluoto, Romuvaara och Hästholmen – har detaljerade undersökningar utförts.

I Finland startade arbetet att finna en plats för slutförvaring av kärnavfall i slutet av 1970-talet. Åren 1983–1985 genomfördes översiktliga studier över hela Finland, varvid ett relativt stort antal områden bedömdes lämpliga för fortsatta undersökningar. Sedan resultatet av de översiktliga studierna granskats av myndigheterna valdes fem områden – Veitsivaara, Romuvaara, Syyry, Kivetty och Olkiluoto – för preliminära platsundersökningar. Områdena representerar den finska berggrundens huvudtyper och skiljer sig från varandra beträffande både bergarter och ålder. Resultaten från de preliminära platsundersökningarna avrapporterades 1992. Därefter har detaljerade platsundersökningar och MKB-förfarande utförts för fyra platser: Romuvaara, Kivetty, Olkiluoto och Hästholmen. Hästholmen inkluderades i undersökningsprogrammet 1997. År 1999 presenterade Posiva en säkerhetsanalys, TILA-99, för dessa fyra platser. Samma år lämnade Posiva in en ansökan om att lokalisera slutförvaret till Olkiluoto, intill det ena av Finlands två kärnkraftverk. Hästholmen i Lovisa ligger intill det andra kärnkraftverket. Sedan både statsrådet och riksdagen godkände Posiva:s ansökan har undersökningarna vid Olkiluoto fortsatt och år 2004 kunde bygget av den underjordiska forskningsanläggningen, ONKALO starta. De fyra områden (Romuvaara, Kivetty, Olkiluoto och Hästholmen) där Posiva utfört detaljerade platsundersökningar har tagits med bland referensområdena, vilket ger en betydande breddning av referensunderlaget till platsvalet.

Hur har data från referensområdena utvärderats?

Inför platsundersökningsskedet utarbetade SKB vägledande krav och önskemål som ställs på berget på platsen för slutförvaret. Syftet var i första hand att få ett verktyg, baserat på mätbara parametrar, för utvärderingar i tidiga skeden av undersökningarna. Kraven och önskemålen redovisades i rapporten ”Vilka krav ställer djupförvaret på berget? Geovetenskapliga lämplighetsindikatorer och kriterier för lokalisering och platsutvärdering” /0-1/. Rapporten ingick i underlaget till Fud-K och har därmed granskats av en rad remissinstanser, bland andra SKI och SSI.

- *Krav* är absoluta villkor som måste uppfyllas. De avser verkliga förhållanden och om ett krav inte kan uppfyllas för en plats, så innebär det också att platsen bedöms som olämplig.
- *Önskemål* avser förhållanden som bör, men inte måste, vara uppfyllda. Många önskemål kan formuleras och att uppfylla alla är inte realistiskt. Slutförvaret kan mycket väl visa sig vara säkert även om flera önskemål inte är uppfyllda. Ett uppfyllt önskemål kan ge fördelar i form av exempelvis större säkerhetsmarginaler, förenklad förvarskonstruktion, eller lägre kostnader.

De krav och önskemål som redovisas i rapporten ”Vilka krav ställer djupförvaret på berget?” /0-1/ gäller ett förvar för använt kärnbränsle av typ KBS-3 och avser i första hand faktorer med bäring på den långsiktiga säkerheten. Kraven och önskemålen formulerades utifrån den kunskap och de erfarenheter som kommit fram under SKB:s mångåriga forsknings- och utvecklingsarbete; inte minst arbetet med säkerhetsanalysen SR 97. I rapporten betonas också att kraven och önskemålen är vägledande, i första hand för prioritering av undersökningsinsatser, och att de inte kan ersätta samlade och fullständiga säkerhetsanalyser.

För att bedöma informationen från de valda referensområdena enligt tabell 1 har, så långt det varit möjligt, krav och önskemål enligt ovan /0-1/ använts. För att kunna tillämpa önskemålen på data från referensområdena har det i några fall varit nödvändigt med en viss anpassning. I ett fall har ny kunskap motiverat en ändring av önskemålet (önskemålet att ostört grundvatten på förvarsnivå bör ha ett visst innehåll av kalcium och magnesium $[Ca^{2+}]+[Mg^{2+}]$ har ändrats från $> 4 \text{ mg/l}$ till $> 40 \text{ mg/l}$) /0-3³.

Syftet med att bedöma referensområdena mot krav och önskemål har varit att:

- belysa i vilka avseenden – och i vilken grad – tillgänglig information från referensområdena ger underlag för utvärderingar mot gällande krav och önskemål,
- i möjlig mån få en uppfattning om referensområdenas meriter med avseende på lämpligheten för ett slutförvar,
- därmed klargöra om och hur referensområdena kan nyttjas som jämförelseobjekt vid utvärdering av de två kandidatplatserna för slutförvaret.

Sammanfattande bedömning

Vid bedömningen av referensområdena mot krav och önskemål enligt ovan har i första hand platsspecifik information om de parametrar, som angivna krav och önskemål avser, värderats. I de fall när data för en parameter saknas har detta noterats och i de flesta fall har ingen bedömning gjorts. För vissa parametrar är det dock möjligt att göra värderingar utifrån enbart generell bakgrundkunskap, det vill säga utan tillgång till direkta platsspecifika mätningar av parametern ifråga. Exempelvis saknas ofta en del hydrogeokemiska data från de äldre undersökningarna. Men, utifrån dagens kunskap om grundvattenkemin på stort djup i kristallint berg, är det ändå rimligt att tro att kraven och önskemålen är uppfyllda. Detta diskuteras i bilaga 4. Ett annat exempel är bergets värmeledningsförmåga, som kan skattas ganska väl med ledning av kunskap om förekommande bergarter. För vissa parametrar avseende hydrogeologi

³I SR-Site /0-4/ redovisas en reviderad, och mer generell, formulering av detta önskemål.

och bergets transportegenskaper har det varit nödvändigt att gå tillbaka till grunddata för att få fram parametervärden som möjliggjort utvärdering mot krav och önskemål. Tillvägagångssättet redovisas i bilaga 2.

Att värdera referensområdena mot uppställda krav och önskemål på det sätt som redovisas i rapporten är förknippat med svårigheter. Platserna är geologiskt olika och de undersökningar som bedömningarna baseras på varierar en hel del i omfattning och kvalitet. Även för de områden där det finns data från relativt omfattande undersökningar finns det osäkerheter och frågetecken som skulle kräva nya undersökningar för att kunna besvaras. Trots dessa reservationer torde bedömningarna vara rimligt trovärdiga. Den tillämpade metodiken har fördelen att den kan följas och värderas. Samma metodik har tillämpats för samtliga områden – bedömningarna har gjorts parameter för parameter enligt uppställda krav och önskemål. Kraven och önskemålen baseras på ett gediget underlag. För att komplettera bilden kommenteras i rapporten, för varje område, möjligheterna att göra bedömningar.

Det geometriska kravet att ett slutförvar ska kunna inrymmas på platsen bestäms dels av hur mycket använt kärnbränsle som ska slutförvaras och dels av bergets egenskaper, särskilt värmeledningsförmågan och hur förvaret kan inplaceras mellan vattenförande deformationszoner. Hur mycket använt kärnbränsle som ska slutförvaras har ändrats under de år som undersökningarna pågått. KBS-3-projektet hade som förutsättning att kärnkraften skulle avvecklas 2010 och att mängden använt bränsle var högst 7 000 ton uran. Idag är kravet att bygga ett förvar som rymmer 12 000 ton uran. Ökningen beror främst på väsentligt längre drifttider men också på att reaktorerna byggs om och får högre effekt. Även i Finland har förutsättningarna ändrats. Inledningsvis gällde studierna ett slutförvar för bränsle från enbart de två reaktorerna i Olkiluoto och 40 års drift, vilket innebar 2 000 ton uran. När bränsleavtalet med Ryssland upphörde tillkom bränsle från de två reaktorerna i Lovisa. När sedan den tredje reaktorn i Olkiluoto beställdes och drifttiden utsträcktes till 50 à 60 år ökade bränslemängden till cirka 6 500 ton uran. Dessa i tiden förändrade mängder har påverkat kravet på bergvolym betydligt och därmed i viss mån också omfattningen av bergundersökningarna.

För sju av områdena (Äspö, Finnsjön, Gideå, Olkiluoto, Hästholmen, Kivetty och Romuvaara) har säkerhetsanalyser utförts. För dessa områden finns det alltså en integrerad bedömning av den långsiktiga säkerheten. Lämpligheten kan därmed bedömas på en annan nivå för dessa platser än för övriga. En genomgång mot krav och önskemål är ändå motiverad därför att det ger en uppfattning om tillförlitlighet/osäkerheter hos parametrar som är väsentliga för säkerhetsanalysen. Dessutom är underlaget för säkerhetsanalyserna varierande. För flera områden skulle det krävas ytterligare undersökningar för att få en tillräckligt bra beskrivning av platsen. I dessa fall blir bedömningen knappast säkrare med en säkerhetsanalys än med den jämförelse parameter för parameter som tillämpats för denna rapport.

Med dessa reservationer i minnet har genomgången av de fjorton referensområdena resulterat i följande sammanfattande bedömningar:

Det är endast ett område, Olkiluoto, för vilket data visar att samtliga krav och samtliga önskemål är uppfyllda. Några väsentliga osäkerheter i data, som försvårat möjligheterna att göra bedömningar mot krav och önskemål, har inte noterats för Olkiluoto.

För Sternö, Fjällveden, Finnsjön, Gideå, Kamlunge, Hästholmen, Kivetty och Romuvaara är det troligt att kraven är uppfyllda, men data är inte tillräckligt omfattande eller säkra för att alla krav ska kunna bedömas. Särskilt gäller detta kravet om att grundvattnet på förvarsnivå inte får innehålla löst syre. Utifrån tillgängliga kemidata från dessa platser går det inte att bedöma om kravet är uppfyllt. Men dagens kunskap om grundvattenkemin på stort djup i kristallint berg talar ändå för att det råder reducerande förhållanden på förvarsdjup.

Abstract

The efforts to develop a suitable method and find a suitable site for final disposal of the spent nuclear fuel from the Swedish nuclear power plants has now been in progress for more than 30 years. The basic principles for a Swedish repository system were formulated during the first decade. During the period up until 1988, the following facilities were built and taken into operation: m/s Sigyn (special vessel for transport of spent nuclear fuel and radioactive waste), Clab (central interim storage facility for spent nuclear fuel) and SFR (final repository for radioactive operational waste). At the same time, activities were being pursued to determine premises and develop methods for final disposal of the spent nuclear fuel in the Swedish bedrock.

Acquiring good knowledge of the Swedish bedrock and determining what properties the rock must have to satisfy the requirement on safe final disposal was one of the main tasks during the initial phase of the work. Geological studies were conducted all over the country and in different geological environments. A large number of candidate areas for investigations were identified with the aid of aerial photos and geological maps. The next step was field visits and simple geological mapping. This was followed by more comprehensive investigations of a few sites that were judged to have good potential for satisfying the requirements on a long-term safe final repository. At the same time, development of better and adapted investigation methods was being pursued. During the period 1977–1985, study site investigations were conducted on eight sites. Besides study site investigations, major research activities were conducted in the underground hard rock laboratories at the Stripa Mine and on Äspö.

During the period 1993–2000, SKB conducted feasibility studies in eight municipalities. The purpose of the feasibility studies was to determine whether premises existed for further siting studies for a final repository in the municipality in question, at the same time as the municipality and its inhabitants were given an opportunity to form an opinion, without commitments, on the final repository project and their possible further participation. A principal task was to identify areas with bedrock that could have potential for a final repository. Geological studies therefore comprised a main component, but no drilling was done at this point. Technical, environmental and societal conditions were also studied.

In 2002, after a comprehensive evaluation of material from research, investigations and feasibility studies as well as the go-ahead from concerned municipalities and the Government, SKB commenced site investigations in Östhammar (Forsmark) and in Oskarshamn (Simpevarp/Laxemar). The investigations were concluded in 2008, and on 3 June 2009 SKB's Board of Directors decided to select Forsmark as the site for the final repository for spent nuclear fuel. Many years of work aimed at siting a unique facility had thereby achieved its objective.

This report was one of many documents that served as a basis for selecting the site. Work to produce the report began in 2005 and was concluded in March 2009. The report is now being published together with other documentation for the licence application for the final repository for spent nuclear fuel. The report presents extensive reference material from SKB's study site investigations and the investigations at Stripa and Äspö, as well as information from the Finnish siting programme. The investigations and evaluations of the reference sites that have been carried out through the years, as well as the activities that have been conducted in Stripa and the Äspö HRL, have been of great importance for the accumulation of geoscientific knowledge and the development of methodology for investigations, site evaluation, safety assessments etc.

The report only includes factors related to the bedrock and its properties; environmental conditions, environmental impact, infrastructure etc. that can affect the siting premises for the final repository have not been addressed.

In order for a site to be of interest as a reference site and contribute comparison material, it must be possible to evaluate and compare properties that are in some respect relevant for the suitability of the site. In order to make a meaningful evaluation of a site, the investigations

must have been sufficiently comprehensive or the site must be of particular interest for other reasons. For example, an investigated site can be of interest – even if the investigations are not particularly comprehensive – if the sites’s bedrock is such that it contributes to the geological breadth of the combined body of information.

Prior to the site investigation phase, SKB formulated guiding requirements and preferences for the rock on the site for the final repository. The main purpose was to obtain a tool, based on measurable parameters, for evaluations in early stages of the investigations. Requirements and preferences were presented in the report “What requirements does the KBS-3 repository make on the host rock? Geoscientific suitability indicators and criteria for siting and site evaluation /0-5/. The reference sites, presented in this report have been judged on the basis of these requirements and preferences.

- *Requirements* are absolute conditions that must be satisfied. They refer to actual conditions, and if a requirement cannot be satisfied on a site, the site is judged to be unsuitable.
- *Preferences* are conditions that ought to be, but do not have to be, satisfied. Many preferences can be formulated, and satisfying all of them is not realistic. The final repository may very well turn out to be safe even though several preferences are not satisfied. A satisfied preference can offer advantages such as larger safety margins, simplified repository construction or lower costs.

The purpose of judging the reference sites against requirements and preferences has been to:

- show in what respects – and to what degree – available information from the reference sites provides a basis for evaluations against relevant requirements and preferences,
- as far as possible, get an idea of the merits of the reference sites in terms of their suitability for a final repository,
- thereby clarify whether and how the reference sites can be utilized as comparison objects in evaluating the two candidate sites for the final repository.

In judging the reference sites, site-specific information on the parameters to which the stipulated requirements and preferences apply has been evaluated. In cases where data on a parameter are lacking, this has been noted and in most cases no judgement has been made. For certain parameters, however, it is possible to make assessments based solely on general background knowledge, i.e. without access to direct site-specific measurements of the parameter in question. For example, some hydrogeochemical data are often lacking from the older investigations. Nevertheless, based on present-day knowledge of the groundwater chemistry at great depth in crystalline rock, it is reasonable to believe that the requirements and preferences are satisfied. This is discussed in an appendix to the report. Another example is the rock’s thermal conductivity, which can be estimated fairly well based on knowledge of occurring rock types. For certain parameters pertaining to hydrogeology and the rock’s transport properties, it has been necessary to go back to basic data in order to obtain parameter values that have permitted evaluation against requirements and preferences. This is described in an appendix to the report.

Evaluating the reference sites against stipulated requirements and preferences in the manner described in the report is associated with certain difficulties. The sites are geologically different and the investigations on which the judgements are based vary quite a bit in scope and quality. Even in the case of those sites where data are available from relatively comprehensive investigations, there are uncertainties and questions that would require new investigations to answer. Despite these reservations, the judgements are believed to be reasonably credible. The employed methodology has the advantage that it can be followed and evaluated. The same methodology has been employed for all sites; the judgements have been made parameter for parameter in accordance with stipulated requirements and preferences. The requirements and preferences are based on a solid body of knowledge. In order to supplement the picture, the feasibility of making judgements is commented on in the report for each site.

Innehåll

1	Inledning	17
1.1	Bakgrund	17
1.1.1	Villkorslagen och KBS-projektet	17
1.1.2	Typområdesundersökningar, forskningslaboratorier med flera studier	18
1.2	Syfte	19
1.3	Mål och huvudaktiviteter	19
2	Geologiska förutsättningar för slutförvaring av använt kärnbränsle	21
2.1	Sveriges berggrund	21
2.2	Finlands berggrund	21
2.3	Platsen för slutförvaret ska sökas i kristallin berggrund	24
2.4	Översiktlig indelning av Sveriges och Finlands kristallina berggrund	24
3	Genomförda undersökningar – en översikt	27
3.1	Svenska undersökningar	27
3.1.1	Sternö	28
3.1.2	Boa	30
3.1.3	Klipperås	30
3.1.4	Ävrö	30
3.1.5	Kråkemåla	30
3.1.6	Bjulebo	31
3.1.7	Kynnefjäll	31
3.1.8	Fjällveden	32
3.1.9	Kolsjön	32
3.1.10	Finnsjön	32
3.1.11	Forsmark	33
3.1.12	Svartboberget	33
3.1.13	Gideå	33
3.1.14	Pellboda	34
3.1.15	Gallejaur	34
3.1.16	Kamlunge	34
3.1.17	Taavinunnanen	35
3.2	Undersöknings- och analysmetoder	35
3.3	Finska undersökningar	43
3.3.1	Hästholmen	44
3.3.2	Olkiluoto	44
3.3.3	Kivetty	45
3.3.4	Romuvaara	45
3.3.5	Syyry	45
3.3.6	Veitsivaara	45
3.4	Berglaboratorier	46
3.4.1	Stripa	46
3.4.2	Äspö	46
3.5	Slutsats	47
4	Val av referensområden	49
5	Säkerhetsbedömningar och säkerhetsanalyser	51
5.1	KBS-3	51
5.2	SKB 91	51
5.3	SR 95	52
5.4	SR 97	52

5.5	SKI:s säkerhetsanalyser	54
5.6	Finska säkerhetsanalyser	54
6	Krav och önskemål för utvärdering av referensområden	57
6.1	Krav och önskemål	57
6.2	Krav och önskemål för värdering av referensområden	58
6.2.1	Krav	58
6.2.2	Önskemål	59
7	Sammanfattande bedömning	61
7.1	Svenska områden	61
7.1.1	Sternö	61
7.1.2	Klipperås	63
7.1.3	Äspö	64
7.1.4	Kråkemåla	66
7.1.5	Fjällveden	67
7.1.6	Finnsjön	69
7.1.7	Svartboberget	70
7.1.8	Gideå	72
7.1.9	Kamlunge	73
7.1.10	Taavinunnanen	75
7.2	Finska områden	76
7.2.1	Hästholmen	76
7.2.2	Olkiluoto	78
7.2.3	Kivetty	79
7.2.4	Romuvaara	81
7.3	Bedömning referensområdena – en översikt	82
7.4	Erfarenheter från Äspö	83
	Referenser	87
Bilaga 1	Referensområden – beskrivning, utförda undersökningar samt undersökningsresultat	107
Bilaga 2	Bearbetning och redovisning av data avseende hydrogeologi och transportegenskaper	179
Bilaga 3	Definition av begreppen deformationszon och R-strukturer	183
Bilaga 4	Bedömning av data från hydrogeokemiska undersökningar	185
Bilaga 5	Undersöknings- och analysmetoder	187
Bilaga 6	Ordförklaringar	215

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Arbetet med att ta fram en lämplig metod och finna en plats för slutförvaring av det använda kärnbränslet har pågått i mer än 30 år /1-1/. Redan under de tio första åren – och med Aka-utredningens (Använt kärnbränsle och radioaktivt avfall) förslag som utgångspunkt – utformades grunderna för ett svenskt förvarssystem:

- ett centralt mellanlager för använt kärnbränsle (Clab, som togs i drift 1985),
- ett transportsystem för använt kärnbränsle och annat radioaktivt avfall (m/s Sigyn m m, som togs i drift 1982),
- ett slutförvar för låg- och medelaktivt driftavfall (SFR som togs i drift 1988) samt,
- aktiviteter för att kunna bestämma förutsättningar och utveckla metoder för slutförvaring av det använda kärnbränslet i den svenska berggrunden.

Att skaffa sig god kunskap om den svenska berggrunden och vilka egenskaper berget måste ha för att kravet på en säker slutförvaring skulle kunna uppnås var en av huvuduppgifterna under det inledande arbetet. Först när man hade denna kunskap var det möjligt och lämpligt att börja det egentliga lokaliseringsarbetet för slutförvaret.

Den första samlade insatsen gjordes av Aka-utredningen som tillsattes av regeringen 1973 och som redovisade sitt slutbetänkande 1976 /1-2/. Sedan dess har ett omfattande arbete genomförts i syfte att bygga upp en allmän kunskap om berggrunden i landet och de förhållanden som kan påverka funktionen hos ett slutförvar. De geologiska studier som Aka-utredningen påbörjade drevs vidare och utvidgades av Prav (Programrådet för radioaktivt avfall) och av KBS-projektet (se nedan). Prav tillsattes av regeringen i november 1975 på förslag av Aka-utredningen och var verksamt fram till 1981, då SKB övertog flertalet av Pravs uppgifter. SKB fick samtidigt ett samlat ansvar för hela kärnavfallsprogrammet.

Geologiska studier genomfördes över hela landet och i olika geologiska miljöer. Med hjälp av flygbilder och geologiska kartor identifierades ett stort antal möjliga områden. Valet av områden baserades i första hand på följande kriterier:

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

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

1.1.1 Villkorslagen och KBS-projektet

Villkorslagen, som antogs av riksdagen i april 1977, krävde att en reaktorinnehavare redovisade hur och var en helt säker förvaring av det högaktiva avfallet (efter upparbetning) eller det använda kärnbränslet (utan upparbetning) kunde ske för att reaktorinnehavaren skulle få regeringens tillstånd att tillföra kärnbränsle till nya reaktorer. Att visa detta var under ett par års intensivt arbete en huvuduppgift för Projekt Kärnbränslesäkerhet (KBS-projektet) som drevs av

kärnkraftföretagen. KBS-projektet var till en början administrativt knutet till SKB, men hade en egen styrelse, egen ledning och egen budget. 1979 omorganiserades projektet och blev en avdelning inom SKB.

KBS-projektets geologiska och hydrogeologiska studier syftade till att *klarlägga de berggrunds- och grundvattenförhållanden, som är bestämmande för långtidssäkerheten hos en förvaringsanläggning i svenskt urberg*. För att hinna genomföra erforderliga studier inom projektets snäva tidsramar fick även andra faktorer än rent geologiska och hydrologiska aspekter styra valet av undersökningsområden. Särskilt gällde detta markägarfrågor, transportfrågor samt fördelen med närheten till befintliga kraftverk /1-3/. Den inledande delen av KBS-projektets geologiprogram omfattade provborrningar på fem platser som representerade tre olika urbergsmiljöer:

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

Efter inledande studier valdes Sternö, Kråkemåla och Finnsjön för närmare undersökningar. Programmet omfattade provborrningar, markgeofysiska mätningar, håll- och sprickkartering, utvärdering av borrhåll, borrhållsloggning, TV-granskning av borrhåll, vattenförlustmätningar samt vattenprovtagning för kemisk analys och åldersbestämning /1-4/.

1.1.2 Typområdesundersökningar, forskningslaboratorier med flera studier

Under åren 1977–1985 genomförde SKB typområdesundersökningar på åtta platser; 85 kärnborrhål med en sammanlagd längd av mer än 45 kilometer borrades. Borrhållen kartlades med hjälp av olika mätmetoder. Särskild omsorg lades på att bestämma bergets vattengenomsläpplighet och den kemiska sammansättningen på djupa grundvatten. I flera Fud-redovisningar har SKB – med stöd av resultaten från typområdesundersökningarna – framhållit att det finns möjlighet att finna många platser i Sverige, där de geologiska förutsättningarna är lämpliga för att anlägga ett slutförvar.

Förutom typområdesundersökningarna har SKB genomfört en särskild studie av sprickzoner vid Finnsjön och omfattande forskningsinsatser i berglaboratorierna i Stripa och på Äspö. I Finland har undersökningar gjorts inom ramen för Posivas lokaliseringsprogram, se avsnitt 3.3.

På uppdrag av SKB genomförde SGU (Sveriges geologiska undersökning) under åren 1998–1999 länsvisa geologiska översiktsstudier. Vid den samlade geologiska bedömningen av vilka områden som var lämpliga, respektive olämpliga, för vidare studier var berggrundens sammansättning, malmpotential och förekomst av deformationszoner de viktigaste faktorerna. Bedömningarna varierar i tillförlitlighet, eftersom kvalitén på den tillgängliga geologiska informationen var ojämn /1-5/. Huvudslutsatsen från studierna var: *”i samtliga studerade län finns berggrund som är intressant för vidare studier rörande lokaliseringen av slutförvaret. Samtidigt finns det stora områden som troligen är olämpliga”* /1-6, avsnitt 9.4/.

SKB har också särskilt utrett för- och nackdelar med att lokalisera slutförvaret till norra respektive södra Sverige, samt aspekter på en förläggning vid kusten respektive i inlandet /1-7/. I utredningen ingick att bedöma om de generella trender som finns i perspektiven kust-inland respektive nord-syd är av betydelse i förhållande till de lokala variationer som man vet förekommer. Utredningen pekade på vissa generella skillnader. Ett exempel var att klimatskillnaden mellan norr och söder kan påverka förhållandena även på förvarsdjup, särskilt under kommande nedisningar. Jämförelser mellan förhållandena vid kusten och i inlandet visade främst på skillnader i grundvattenförhållanden. Till exempel är förekomst av salt grundvatten vanligt i kustområdena medan områden över högsta kustlinjen kan förväntas ha sött grundvatten till större djup. Studien kom till slutsatsen att det, utifrån de generella jämförelser och överväganden som gjorts i studien, inte går att förorda vare sig de norra eller de södra delarna av landet med avseende på förutsättningar för en lokalisering. Bedömningar av lämpligheten måste istället

grundas på studier av konkreta områden. Samma slutsats gällde för de jämförande värderingarna av lokaliseringsförutsättningar i kustområdet, respektive i inlandet /1-7/.

I samband med valet av områden för platsundersökningar aktualiserade SKI med flera. åter frågan om områden över högsta kustlinjen – på grund av att grundvattnet är sött och strömningsvägarna för grundvattnet är långa – kan ha fördelar i förhållande till kustlägen /1-8/. SKB har därför ingående analyserat dessa frågeställningar /1-9/. Genomförda studier har inte indikerat någon systematisk skillnad mellan kust- och inlandslägen vad avser förekomsten av gynnsamma strömningsförhållanden. Studierna visar att det är lokala flödesmönster, styrda av berggrundens vattengenomsläpplighet och andra lokala förhållanden, som har störst betydelse för om en enskild plats är lämplig med hänsyn till grundvattenströmning.

1.2 Syfte

Syftet med denna rapport har varit att inför platsvalet ta fram referensunderlag från SKB:s typområdesundersökningar, undersökningarna vid Stripa och Äspö samt från det finska lokaliseringsprogrammet. I arbetet har ingått att identifiera parametrar av betydelse för förverkets säkerhet, bygge och drift och att för dessa parametrar redovisa och sammanfatta resultat från tidigare undersökta platser. De undersökningar och utvärderingar av referensområdena som utförts genom åren samt den verksamhet som bedrivits i Stripa och Äspölaboratoriet har haft stor betydelse för den geovetenskapliga kunskapsuppbyggnaden och utvecklingen av metodik för undersökningsmetoder, platsutvärdering, säkerhetsanalyser med mera. Avsikten med arbetet har således varit att bidra med referensmaterial, som kunde ge perspektiv på kandidatplatsernas egenskaper mot en bredare kunskap om geologiska och andra för slutförvaret viktiga förhållanden.

1.3 Mål och huvudaktiviteter

Projektets mål har varit:

- att inför valet av plats för slutförvaret redovisa en kunskapsbank baserad på det breda geovetenskapliga referensunderlag som finns,
- att utifrån dagens kunskaper bearbeta, strukturera och värdera detta underlag mot gällande krav och önskemål avseende geovetenskapliga parametrar för lokalisering och platsutvärdering.

Projektet har omfattat följande aktiviteter:

- att identifiera tidigare undersökta områden som ska ingå i projektet,
- att samla in, granska och sammanställa data och tidigare gjorda utvärderingar från dessa områden,
- att redovisa historik och syfte med tidigare genomförda undersökningar,
- att välja parametrar som underlag för jämförelser mellan områdena,
- att översiktligt redovisa hur undersöknings- och analysmetoder, datahantering och kvalitets-säkring utvecklats från tiden för typområdesundersökningarna, via Stripa och Äspö och fram till platsundersökningarna i Forsmark och Oskarshamn,
- att översiktligt redovisa utförda säkerhetsanalyser.

Projektet har enbart omfattat faktorer relaterade till berget och bergets egenskaper; miljöförhållanden, miljöpåverkan, infrastruktur med mera har inte avhandlats.

2 Geologiska förutsättningar för slutförvaring av använt kärnbränsle

2.1 Sveriges berggrund

Sveriges berggrund består av tre huvudenheter, urberget, rester av ett sedimentbergartstäck och fjällberggrunden. Urberget utgör en del av ett i geologisk mening stabilt område, en så kallad urbergssköld (Baltiska skölden). Denna är uppbyggd av bergarter bildade under prekambrisk tid, det vill säga från tiden för jordens bildning för cirka 4 600 miljoner år sedan och fram till kambrium för cirka 545 miljoner år sedan.

De äldsta bergarterna i Sverige är arkeiska, det vill säga mer än 2 500 miljoner år gamla, och har vid åldersbestämningar givit åldrar mellan 2 800 och 2 600 miljoner år. Bergarter av arkeisk ålder finns i begränsad omfattning i nordligaste Sverige. Bergarterna i den övriga delen av norra samt östra och sydöstra Sverige är i huvudsak 2 000–1 650 miljoner år gamla. De är bildade och i många fall också omvandlade i samband med den så kallade svekokarelska bergskedjebildningen. Berggrunden i sydvästra Sverige är mellan 1 700 och 550 miljoner år gammal och har omvandlats kraftigt under den så kallade svekonorvegiska bergskedjebildningen som ägde rum för 1 100–900 miljoner år sedan. I södra Västsverige och Blekinge finns även rester av omfattande omvandlingar av berggrunden för omkring 1 450–1 400 miljoner år sedan.

Ovanpå urbergsskölden förekommer sedimentära bergarter som är yngre än cirka 545 miljoner år. Dessa täcker idag urberget i stora delar av Skåne, Öland och Gotland, Östgöta- och Närke-slätten, Västgötabergan, samt trakten kring Siljan i Dalarna och längs fjällranden. De yngsta bergarterna i Sverige är tertiära, cirka 55 miljoner år gamla bildningar, och finns i sydligaste och sydvästligaste Skåne.

Den yngsta bergskedjebildningen i Sveriges berggrund är den kaledoniska, som inträffade för omkring 510–400 miljoner år sedan. Då fick bergarterna i den svenska fjällkedjan sin nuvarande utformning.

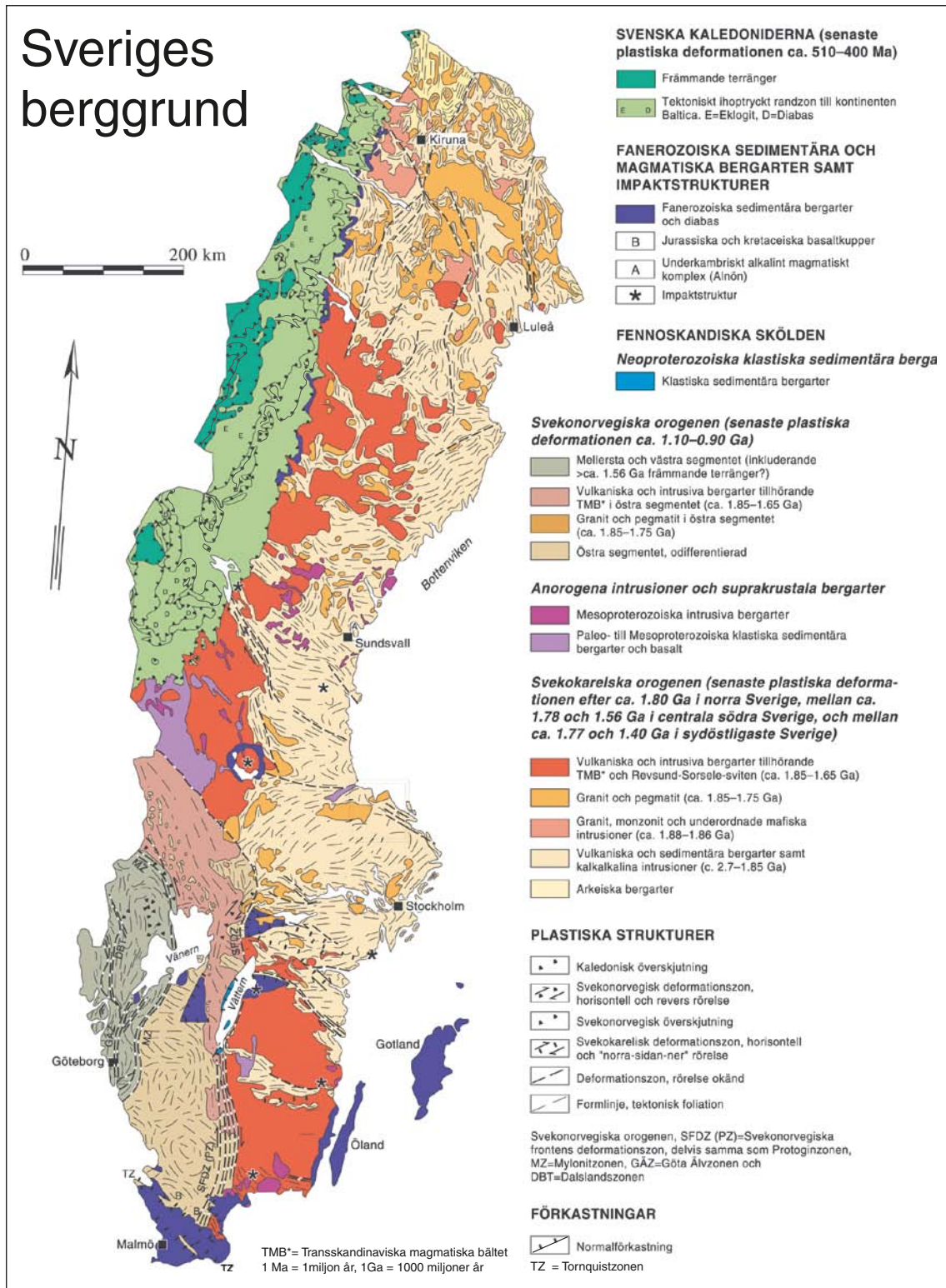
2.2 Finlands berggrund

Finlands kristallina berggrund är en del av den omfattande prekambrisk Baltiska skölden, som även utgör en betydande del av Sveriges berggrund. Det arkeiska urbergskomplexet i nordöstra Finland utgör den äldsta delen (3 100–2 500 miljoner år före nutid) och består av tonalitiska och granodioritiska gnejser. I detta urbergskomplex förekommer smala bälten av basiska bergarter som består av metavulkaniska och metasedimentära bergarter.

Den övervägande delen av Finlands berggrund består av metamorfa och intrusiva bergarter. Berggrundens långa historia med vulkanism, sedimentation och intrusiv aktivitet kulminerade i den Svekofenniska orogenesen (1 900–1 800 miljoner år före nutid). Senare intruderades den stabiliserade jordskorpan av rapakivigraniter (1 650–1 540 miljoner år före nutid), som bildades genom partiell uppsmältning på stort djup i jordskorpan.

Den finska berggrundens yngsta bergarter är jotniska sandstenar (1 400–1 300 miljoner år före nutid) som genomsetts av yngre gångar av olivindiabas (1 270–1 250 miljoner år före nutid) och de 1 100 till 1 000 miljoner år gamla Salla- och Laanilagångarna i norra Finland.

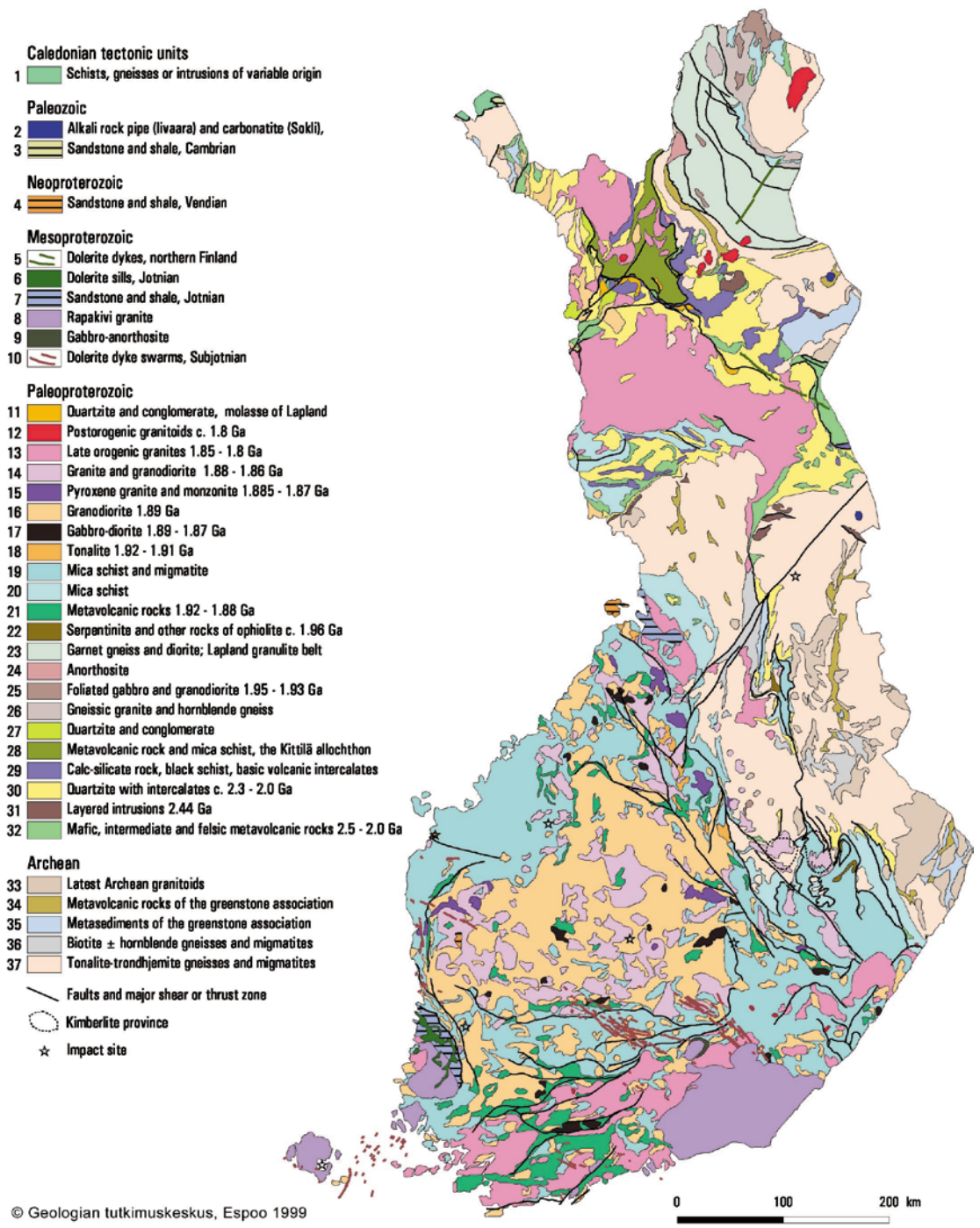
Sveriges berggrund



Figur 2-1. Förenklad karta över Sveriges berggrund. Kartan är sammanställd av Michael B Stephens, Carl-Henric Wahlgren och Per Weihed, SGU 1994.

Bedrock of Finland

1 : 5 000 000



Figur 2-2. Berggrundskarta över Finland. Geological Survey of Finland, 1999.

2.3 Platsen för slutförvaret ska sökas i kristallin berggrund

Det grundläggande kravet på ett slutförvar är att det använda kärnbränslet ska kunna isoleras under så lång tid som behövs för att aktiviteten ska ha avklingat till en nivå som är jämförbar med vad man kan finna i naturen. Utifrån detta grundläggande krav och med de förutsättningar som den svenska berggrunden erbjuder blev inriktningen redan tidigt att förvaret skulle placeras i det svenska urberget på cirka 500 meters djup /2-1, 2-2, 2-3, 2-4/. Närmare preciserat innebär detta kristallin berggrund av prekambrisk ålder belägen inom den Baltiska skölden, med undantag främst av de delar av Skölden som täcks av Fjällkedjan i väster, vissa områden med stor malmpotential och delar som täcks av tjocka lager med fanerozoisk sedimentär berggrund till exempel i Skåne och på Gotland.

Även i Finland är inriktningen att slutförvaret ska placeras i kristallin berggrund, vilket är naturligt eftersom den finska berggrunden har stora likheter med vår.

Andra länder med andra geologiska förutsättningar har valt andra alternativ, till exempel förvaring i saltformationer eller i leror.

I avsnitt 1.1 ovan anges de kriterier som Aka-utredningen, Prav och KBS-projektet formulerade för arbetet att finna lämpliga geologiska formationer.

2.4 Översiktlig indelning av Sveriges och Finlands kristallina berggrund

De vanligaste bergarterna i den ”kristallina berggrunden” är graniter och gnejser med varierande struktur och mineralogisk sammansättning. Även om variationen i Sveriges och Finlands kristallina berggrund är mycket stor, betingad av såväl heterogen sammansättning som komplex strukturell uppbyggnad, kan en grov indelning i tre stora kategorier vara befogad /2-5/. Som framgår av figur 2-3 täcker dessa tre huvudkategorier av kristallin berggrund tillsammans drygt 70 % av den Baltiska sköldens yta i Sverige och Finland.

1. Massformiga, övervägande granitiska bergarter

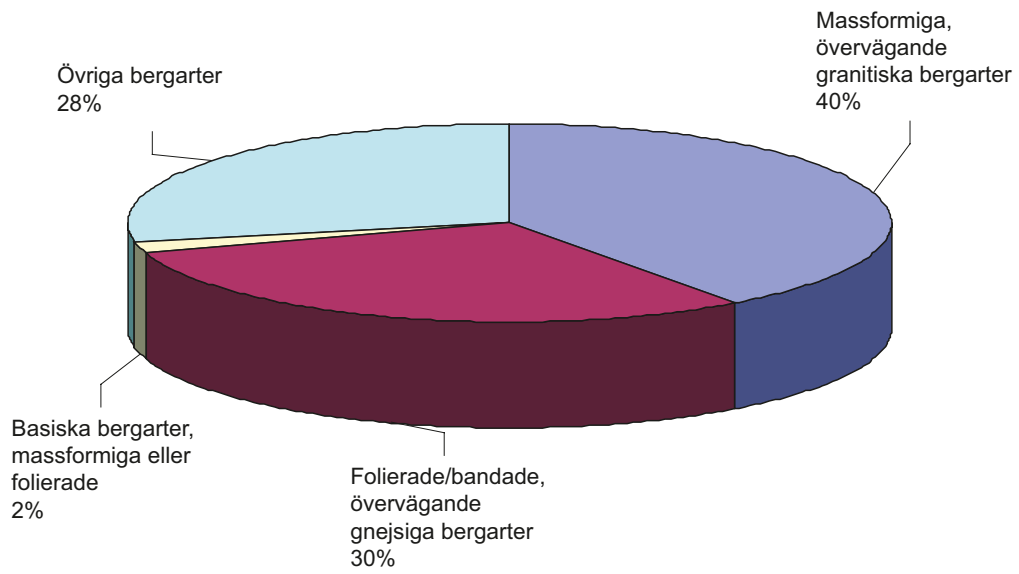
Domineras av ljusa mineral som till exempel kvarts och fältspat. Dessa bergarter saknar påtaglig struktur som foliation och bandning. De ingår ofta i vidsträckta magmatiska intrusioner. Typfall är granitgruppens bergarter.

2. Folierade/bandade, övervägande gnejsiga bergarter

Domineras oftast av kvarts och fältspat med alternerande parallella skikt av mörka mineral som biotit och amfiboler. Dessa bergarter ingår vanligen i veckade metamorfa komplex vars ursprungliga komponenter kan vara såväl magmatiska som sedimentära. Typfall för denna grupp är olika varianter av gnejs.

3. Basiska bergarter, massformiga eller folierade

Domineras av mörka mineral som pyroxen, amfibol och biotit. Kvarts saknas i regel. I jämförelse med de ovan nämnda grupperna uppträder dessa bergarter oftast som relativt små intrusioner. Typfall är gabbrogruppens bergarter.



Figur 2-3. Ungefärlig areell fördelning av huvudkategorier av bergarter inom de svenska och finska delarna av den Baltiska skölden.

3 Genomförda undersökningar – en översikt

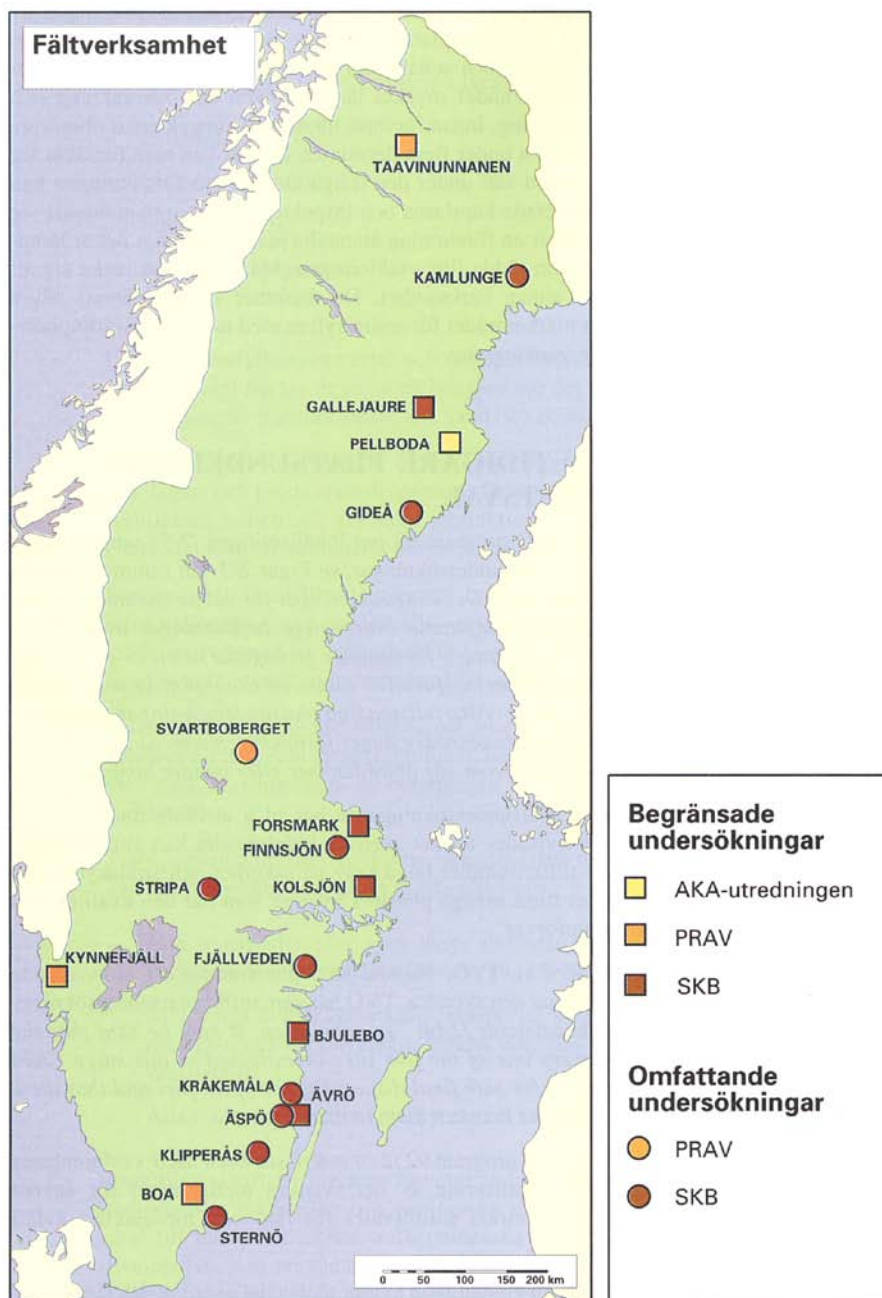
3.1 Svenska undersökningar

Som framgår av kapitel 1 har SKB utfört typområdesundersökningar på åtta platser samt begränsade undersökningar (SKB eller Prav) på ytterligare nio platser. Vid berglaboratorierna i Stripa och på Äspö har omfattande undersökningar, tester och försök utförts. Figur 3-1 visar när undersökningarna utfördes och figur 3-2 läget av de aktuella platserna.

I tabell 3-1 redovisas undersökningarnas omfattning för respektive område. Bedömningarna ”stor omfattning”, ”medelstor omfattning” respektive ”begränsad omfattning” grundar sig så långt som möjligt på det standardprogram som togs fram för SKB:s typområdesundersökningar /3-2, 3-3/. De undersökningar inom ett visst ämnesområde som i huvudsak hade den omfattningen som angavs i standardprogrammet har fått bedömningen ”stor omfattning” eller ”medelstor omfattning”. Gränsen mellan ”stor omfattning” och ”medelstor omfattning” är inte exakt. Men i princip innebär ”stor omfattning” att standardprogrammet genomfördes fullt ut och ”medelstor omfattning” att insatsen var mindre (färre borrhål; ett eller flera moment genomfördes inte; eller liknande). De undersökningar inom ett visst ämnesområde där endast ett fåtal moment enligt standardprogrammet utfördes har fått bedömningen ”begränsad omfattning”. Standardprogrammet innefattade inga bergmekaniska undersökningar. I de fall sådana gjorts för typområdena har det (med undantag för berglaboratorierna) handlat om bergspänningsmätningar och/eller parameterbestämningar i enstaka borrhål, vilket har klassats som ”begränsad omfattning”.

	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004					
Metodutveckling																																			
Pellboda	■																																		
Typområden																																			
Finnsjön		■									■																								
Sternö	■																																		
Kräkemåla	■																																		
Svartboberget						■																													
Fjällveden						■																													
Gideå						■																													
Kamlunge						■																													
Klipperås								■																											
Områden med gabbro																																			
Taavinunnanen							■																												
Gallejaure									■																										
Kolsjön/Almunge											■																								
Övriga områden																																			
Ävrö	■										■																								
Boa				■																															
Kynnefjäll				■																															
Bjulebo									■																										
Forsmark	■																																		
Berglaboratorier																																			
Stripa	■																																		
Äspö											■																								

Figur 3-1. Geologiska undersökningar – omfattande undersökningar från markytan, grön färg och begränsade undersökningar, gul färg – undersökningar från tunnlar och bergrum, violett färg.



Figur 3-2. I arbetet med att bygga upp allmän kunskap om berggrunden i landet och de förhållanden som kan påverka funktionen hos ett slutförvar har geologiska undersökningar utförts på ett stort antal platser i Sverige /3-1/.

3.1.1 Sternö

Typområdet Sternö (Karlshamns kommun, Blekinge län) är beläget vid Blekingekusten omedelbart sydväst om tätorten Karlshamn. Under perioden 1977–1979 utfördes kart- och flygbildstudier, ytgeologisk berggrundskartering, samt borrades fem kärnbrorhålar. I kärnbrorhålen har kärnkartering, brorhålsgeofysisk loggning, vatteninjektionstester samt grundvattenkemisk provtagning utförts. På en del av brorkärnorna togs prover för petrofysikalisk analys. Inläckagedata från berggrum i Karlshamnstrakten sammanställdes. Under 1983 utfördes en markgeofysisk och en flyggeofysisk profilmätning för att bestämma stupningen på den diabasgång som genomkorsar Sternö i nordost-sydvästlig riktning.

Tabell 3-1. Undersökningarnas omfattning inom respektive undersökningsområde.

OMRÅDE	Berggrundsgeologi	Lineamentskartering	Sprickkartering	Kärnborrhål, antal/bormeter	Hammarborrhål	Bergmekanik	Flyggeofysik	Markgeofysik	Borrhålsgeofysik	Borrhålsradar	Hydrogeologi	Hydrogeokemi	Transportegenskaper	Undersökningsområdets storlek - lokalt, km ²
Sternö	B	C	C	5/3339		C	B	C	B		A	C	C	3
Boa	C	C												
Klipperås	B	C*	C*	14/6963	14			A	A	A	A	B		12
Ävrö	A	B	B	4/2106	14			B	B		B	B		1
Äspö	A	A	A	15/7716	21	A	A	A	A	A	A*	A*	A*	1
Kråkemåla	B/C	B	B	3/1872		C		B	B		B	C		>2
Bjulebo	C						B	B						5
Kynnefjäll	B/C	B/C	B/C					B						5
Fjällveden	A	A	A	15/7591	49			A	A		A	C	B	10
Stripa	A	A	A*	not 1		A*			B	A	A*	B*	A*	-
Kolsjön	B	B	B	1/11				B						4
Finnsjön	A	A	A	11/6014	20	C		A	A	A	A	B	A	5
Forsmark (not 3)	C			1/478					C			C		< 1
Svartboberget	B	B	B	7/4237	17			B	B		A	C	B	5
Gideå	A	A	A	13/8252	24	C		A	A	A	A	C	A	6
Pellboda	C	C	C	4/400				B	B		C			
Gallejaur	C			1/640			B	B						
Kamlunge	A	A	A	16/7778	22			A	A		A	C		7,5
Taavinunnanen	C	C	C	1/700			B	C	C		C	C		not 2

Förklaring

A	= Stor omfattning
A*	= Stor omfattning, under jord
B	= Medelstor omfattning
B*	= Medelstor omfattning, under jord
C	= Begränsad omfattning
C*	= Begränsad omfattning pga låg bergblottningsgrad
	= Utfördes inte

not 1: I Stripa utfördes borrhålen för olika experiment och enbart i tunnlar

not 2: Enligt geofysiska undersökningar är den studerade gabbbron ca 50 km², men det borrades bara ett kärnborrhål; det undersökta området är således mindre än 1 km²

not 3: Avser de undersökningar som utfördes 1977 inom ramen för KBS-projektet

Berggrunden på Sternö är väl blottad. Undersökningsområdet på Sternö domineras av blekinge kustgnejs. Inom den norra delen av undersökningsområdet har ett stort antal gångar av pegmatit och finkornig granit identifierats.

I den södra delen av området penetreras kustgnejsen av ett flertal gångar av karlshamnsgranit. Övergångsformer mellan gnejs och granit förekommer också inom detta område.

Söder om undersökningsområdet består Sternö av karlshamnsgranit, vilken stupar in under kustgnejsen. I borrhålen har fyra bergartstyper identifierats: kustgnejs, veckad granodiorit (ofta benämnd gnejsgranit), karlshamnsgranit samt pegmatit /3-4, 3-5, 3-6/.

3.1.2 Boa

Undersökningsområde Boa (Blekinge län) ligger i den sydöstra delen av Olofströms kommun men når även in ett stycke i Sölvesborgs och Karlshamns kommuner. Under 1979 genomfördes en inledande rekognosering med kartstudier, flygbildstolkning samt kontroll av uttagskapaciteten hos bergborrade brunnar. Men eftersom området visade sig ägas av ett stort antal privata markägare och sonderingar med några av dessa gav negativt resultat avfördes Boaområdet som undersökningsområde.

Berggrunden inom större delen av undersökningsområdet är relativt väl blottad. Området domineras helt av blekinge kustgnejs, som här antas nå stort djup. I gnejsen förekommer pegmatiter som gångar och linser. I den norra delen av undersökningsområdet skjuter en kil av spinkamålagranit ner i undersökningsområdet. I den västligaste delen finns i norr inslag av karlshamnsgranit och längre mot söder den östligaste delen av den vulkanit som ingår i Västanaågruppens bergarter /3-7, 3-8/.

3.1.3 Klipperås

Typområdet Klipperås (Nybro kommun, Kalmar län) ligger cirka fyra kilometer sydväst om Orrefors tätort. Under perioden 1983–1985 utfördes kart- och flygbildstudier, ytgeologisk berggrundskartering, markgeofysiska undersökningar samt borrades 14 kärnborrhål och 14 hammarborrhål. I kärnborrhålen har kärnkartering, borrhålsgeofysisk loggning, borrhålsradarmätning, vatteninjektionstester samt grundvattenkemisk provtagning utförts. I hammarborrhålen utfördes geofysikloggning och hydraultester.

Bergets blottningsgrad är låg men information finns från kärnborrhålen ner till ett djup av maximalt cirka 940 meter. Undersökningsområdet domineras av medelkornig smålandsgranit. Mindre inslag av förskiffrade basiska bergarter förekommer. Graniten genomskärs av smala gångar av aplit samt ost-västligt orienterade, brantstående cirka 10 meter breda porfyrgångar. Områdets yngsta bergarter utgörs av välbevarade 1–10 meter breda diabasgångar med nordlig-nordostlig orientering /3-9, 3-10, 3-11/.

3.1.4 Ävrö

Undersökningsområdet Ävrö (Oskarshamns kommun, Kalmar län) ligger cirka 23 kilometer nordost om Oskarshamns tätort och 1,5 kilometer norr om Oskarshamnsverket. Sedan 1976 har, med vissa avbrott, olika typer av geovetenskapliga undersökningar utförts på Ävrö. Fyra kärnborrhål och 14 hammarborrhål har borrats.

Jordtäcket på Ävrö är tunt. Huvudbergarten är en tämligen homogen hornbländegranit, så kallad ävrögranit med diffusa övergångar mot en mer massformig mikroklinggranit. I en nordost-sydvästlig terrängsänka utgörs berggrunden av metavulkanit (dacit till andesit) helt omgiven av ävrögranit. I graniten finns glest spridda rester av äldre bergarter. Klorit- och kalcitfyllda sprickor dominerar ävröområdet berggrund.

3.1.5 Kråkemåla

Undersökningsområdet Kråkemåla (Oskarshamns kommun, Kalmar län) ligger cirka 26 kilometer nordost om Oskarshamns tätort och cirka sju kilometer norr om Oskarshamnsverket. Under perioden 1976–1978 utfördes ytgeologisk berggrundskartering, markgeofysiska mätningar, tre kärnborrhål, kärnkartering, borrhålsgeofysisk loggning, TV-loggning, vatteninjektionstester samt grundvattenkemisk provtagning.

Blottningsgraden i området är hög. Den grovkorniga Götemargraniten dominerar helt, såväl på ytan som i samtliga kärnborrhål. I graniten finns inslag av samhöriga smala gångar av aplit och pegmatit. Halten uran/torium är högre än normalt för svenska graniter. Linsformade ansamlingar av pyrit och kvarts förekommer liksom centimeterstora hålrum /3-12/.

3.1.6 Bjulebo

Undersökningsområdet Bjulebo (Västerviks kommun, Kalmar län) ligger på en halvö cirka fyra kilometer norr om tätorten Blankaholm och cirka 15 kilometer sydsydväst om Västervik. Under 1983 utfördes berggrundskartering samt geofysiska markmätningar inom området. Men eftersom Bjuleboområdet omfattas av restriktioner enligt naturresurslagens (numera miljöbalkens) hushållningsbestämmelser genomfördes inga ytterligare undersökningar och området avskrevs som undersökningsområde.

Hällblottningsgraden inom undersökningsområdet är hög. Området är beläget i den nordvästra delen av en cirka 11 kilometer lång och cirka 5 kilometer bred granitkropp med nordväst-sydostlig utsträckning. Graniten avgränsas mot söder och väster av sedimentgnejs. Fragment av denna gnejs förekommer i granitkroppen, främst intill kontakten till sedimentgnejsen. Graniten, som är den yngre av de två bergarterna har förhöjd magnetisering och är lågradioaktiv. Flygmagnetiska kartan visar att det granitmassiv som bjulebograniten tillhör har inhomogen magnetisering. Magnetiseringen tycks i stort följa den regionala förskiffringen, vilken inom området svänger från N40°V, brantstående, i den nordvästra delen till ost-västlig, brantstående i den östra delen /3-13/.

3.1.7 Kynnefjäll

Undersökningsområde Kynnefjäll (Tanums kommun, Västra Götalands län) ligger cirka 20 kilometer öster om Tanumshede och cirka 25 kilometer norr om tätorten Munkedal. I slutet av 1970-talet utfördes översiktliga undersökningar av Kynnefjällplatån och 1979–1980 utfördes mer detaljerade studier – flygbildstolkning av regionala lineament, berggrundsgeologisk kartering med sprickstudier samt markgeofysiska mätningar – av ett mindre område av Kynnefjäll. När borringarna skulle inledas 1980 fick dessa avbrytas på grund av lokalt motstånd och demonstrationer på platsen. Inga arbeten har gjorts på Kynnefjäll sedan dess. Kommunfullmäktige i Tanums kommun har uttalat att Kynnefjäll inte är tillgängligt för ett slutförvar.

Bergblottningsgraden inom det 100 km² stora undersökningsområdet är mycket hög i söder och öster, mindre i nordväst. Berggrunden i det cirka 100 km² stora översiktligt undersökta området består av tre nord-sydliga stråk, uppbyggda av var sin bergart. Områdets västra del, det vill säga delen mot Södra Bullaresjön, består av en homogen eller bandad djupbergartsgnejs. Mittstråkets berggrund utgörs av suprakrustalgnejs ur Stora Le-Marsstrandsserien. Områdets östra del består av porfyrisk granit.

Inom ett mindre, cirka fem km², detaljerat undersökt område, beläget i den södra delen av det större området, dominerar sedimentådergnejs (Stora Le-Marsstrandsserien), som upptar 60–70 % av totalarealen, i huvudsak i områdets östra del. Den till ytan näst viktigaste bergarten inom undersökningsområdet utgörs av en djupbergartssvit med tonalitisk till granitisk sammansättning. Denna bergart benämns med samlingsnamnet gnejsgranit och förekommer sammanhängande i den västra delen av undersökningsområdet och i smärre kroppar längre österut.

Berggrunden är inte malmpotentiell i någon del av undersökningsområdet /3-14, 3-15/.

3.1.8 Fjällveden

Typområdet Fjällveden (Nyköpings kommun, Södermanlands län) ligger cirka 20 kilometer nord-nordväst om Nyköping. Under perioden 1981–1983 utfördes geovetenskapliga undersökningar inom området. Bland annat borrades 15 kärnborrhål och 49 hammarborrhål.

Blottningsgraden inom Fjällvedenområdet är relativt hög. Området domineras av ådergnejs (dvs metasediment) med varierande migmatiseringsgrad. Gnejsgraniten dominerar undersökningsområdets nordligaste del (och området norr därom) men utgör endast några procent av den uppborrade bergvolymen i områdets centrala del.

Områdets yngsta bergart utgörs av diabasgångar, vilka har en nordvästlig riktning. De är således orienterade vinkelrätt mot den lokala foliationen. Diabasgångarna har en bredd av 0,4–4 meter. De är vanligast i områdets norra del /3-16, 3-17, 3-18/.

3.1.9 Kolsjön

Undersökningsområde Kolsjön (Uppsala kommun, Uppsala län) ligger cirka 30 kilometer öster om Uppsala och cirka sju kilometer öster om Almunge tätort. SKB:s intresse för Kolsjön berodde på förekomsten av gabbro. Det område som undersöktes av SKB har en yta om cirka fyra km², medan själva gabbrokroppens yta uppgår till två km². Topografin är flack och höjden över havet uppgår till 25–35 meter. Gravimetriska mätningar utfördes för att undersöka den basiska kroppens storlek och djupgående. Under 1985 påbörjades borrning av ett kärnborrhål som fick avbrytas efter omfattande protester.

Den aktuella gabbrokroppen är relativt liten, men uppvisar många ur slutförvarssynpunkt intressanta egenskaper. Bergblottningsgraden är relativt hög inom undersökningsområdet och jordtäcket tunt. Gabbrokroppens form är elliptisk och bedöms stå som en oregelbunden cylinder i omgivande bergarter. Baserat på gravimetri och densitetsbestämningar på gabbro och omgivande bergarter beräknades gabbrokroppens djupgående till approximativt 1 200 meter.

Gabbro är oftast medelkornig och omvandlingsgraden är troligen låg. Undantagsvis kan foliation och en gnejsig slirighet iaktas. Genomsättande granitiska eller pegmatitiska sliror är också vanliga. Gabbro omges framför allt av hornbländegranit, hornbländediorit samt leptitgnejs. Undersökningsområdet berörs ej av mineraliseringar. Malm potentiell berggrund finns dock i Bladåkerstrakten, någon mil norrut /3-19/.

3.1.10 Finnsjön

Typområde Finnsjön (Tierps kommun, Uppsala län) ligger cirka 15 kilometer sydväst om Forsmarks kärnkraftverk. I Finnsjöområdet har omfattande geovetenskapliga undersökningar pågått, med kortare eller längre avbrott, från 1977 till 2001. Totalt har elva kärnborrhål och 20 hammarborrhål borrats inom området förutom ett stort antal grunda jordborrhål.

Merparten av de geovetenskapliga undersökningarna som bedrivits i Finnsjöområdet med omfattande borrningar etc har koncentrerats till två delområden, som benämns Brändanområdet och Gåvastboområdet.

Bergets blottningsgrad är hög i västra delen medan den är avsevärt lägre i de östra delarna. Gåvastbo-/Brändanområdet är beläget inom ett 12 km² stort bergparti bestående av förgnejsad (folierad) granodiorit. Granodioritens djupgående är ej känd men överstiger 691 meter, vilket är det största vertikala borrhål i området. Gångar av pegmatit, metabasit och aplit genomkorsar bergvolymen. Förgnejsningens orienteringsriktning varierar mellan nordväst och nordost. Granodioriten är ofta lokalt påverkad av mylonitisering och hydrotermala processer, vilket har medfört rödfärgning i anslutning till många smärre skjuvzoner. Granodioriten begränsas i öster av yngre granit och mot nordost av en äldre, lagrad gabbro. Mot söder och väster gränsar granodioriten mot gamla metavulkaniska bergarter (leptiter) /3-20, 3-21, 3-22, 3-23, 3-24, 3-25, 3-26/.

3.1.11 Forsmark

Undersökningsområde Forsmark (Östhammars kommun, Uppsala län) ligger fyra kilometer nordväst om Forsmarks bruk. (Undersökningsområde Forsmark ska inte förväxlas med det område där SKB utförde platsundersökningar under åren 2002–2007. Det senare området ligger 3–4 kilometer nordost om Forsmarks bruk). Under 1977 utfördes begränsade geologiska ytundersökningar samt borrades ett 478 meter långt kärnborrhål. Geofysisk borrhålsloggning och hydrokemisk provtagning genomfördes i borrhålet.

Enligt ytundersökningarna utgjorde området ett sammanhängande berggrundsblock med låg sprickfrekvens. Resultat från kärnborrhålet bekräftade inte denna bild utan tydde på att området var mindre gynnsamt för ett förvar – nedanför 350 meter blev bergkvaliteten väsentligt sämre än ovanför. Borrningen avbröts därför vid 478 meters djup och området övergavs till förmån för Finnsjöområdet /3-20, 3-27, 3-28/.

3.1.12 Svartboberget

Typområde Svartboberget (Ovanåkers kommun, Gävleborgs län) ligger fem kilometer nordost om tätorten Voxna. Under perioden 1979–82 utfördes berggrundsgeologisk kartering, markgeofysiska mätningar, lineamentstolkning från topografiska kartor och flygbilder samt sammanställning av hydrometeorologiska data. Vidare borrades sju kärnborrhål och 17 hammarborrhål samt utfördes kärnkartering, geofysiska borrhålsundersökningar och hydrauliska tester.

Bergets blottningsgrad i området är låg. Berggrunden domineras av en migmatitiserad gnejs av sedimentärt ursprung. Mäktigheten på denna uppgår till mer än 800 meter vilket konstaterats genom borrning. I ett av de östligast belägna kärnborrhålen påträffades mellan 365–505 meters djup flera lager av grafitisk migmatit med en kolhalt på 9–13 viktprocent. Lagren stupar flackt mot sydväst. Migmatiten innehåller även en granitisk komponent som benämns migmatitgranit. Denna uppträder i små oregelbundna medel- till grovkorniga kroppar.

Basiska bergarter utgör några få procent av berggrunden vid Svartboberget. De uppträder i lager och som linser parallella med migmatitens foliationsriktning. I genomsnitt är tjockleken på dessa lager mindre än en meter, men i något fall har ett 15 meter mäktigt lager påträffats.

I Svartbobergets västra del indikerar markgeofysiska mätningar två brant stupande, uthålliga diabasgångar orienterade i nord-nordvästlig riktning. Gångarna har undersökts genom borrning och befunnits vara mindre än en meter breda.

Gnejsgranit utgör en obetydlig del av bergmassan inom typområdet och uppträder som decimetertjocka gångar och fragment i migmatiten /3-29, 3-30/.

3.1.13 Gideå

Typområde Gideå (Örnsköldsviks kommun, Västernorrlands län) ligger cirka fem kilometer öster om tätorten Gideå. Under perioden 1981–83 utfördes berggrundsgeologisk kartering, markgeofysiska mätningar, lineamentstolkning från topografiska kartor och flygbilder samt sammanställning av hydrometeorologiska data. Vidare borrades 13 kärnborrhål och 24 hammarborrhål samt utfördes kärnkartering, geofysiska borrhålsundersökningar och hydrauliska tester.

Gideåområdet är beläget på en relativt flack platå omgiven av större sprickzoner. Bergets blottningsgrad är relativt hög. Typområdets berggrund domineras av gnejs av sedimentärt ursprung med varierande migmatitiseringsgrad. Migmatitiseringen har resulterat i två bergartstyper: ådergnejs (som är huvudbergarten) och (underordnat) migmatiserad granit. Under den senaste delen av den svekokarelska bergskedjebildningen trängde gångar av granit in i den äldre bergarten. Den deformation som blev resultatet av detta har gett upphov till veckning av granitgångarna liksom av ådergnejsen och den äldre, migmatitiserade graniten. Graniten omvandlades därvid till gnejsgranit. Veckningen har i Gideåområdet huvudstrykningen nordost-sydväst och stupar vanligen 10–30° mot nordväst. Granitgångarna följer troligen foliationen. Brantstående diabasgångar förekommer frekvent i berggrunden /3-31, 3-32, 3-24, 3-33/.

3.1.14 Pellboda

Undersökningarna vid Pellboda (Robertsfors kommun, Västerbottens län) syftade främst till att studera om metoder som tagits fram för malmletning även kunde användas för att identifiera vattenförande sprickzoner av betydelse för ett slutförvar. Undersökningarna omfattade berggrundsgeologisk kartering och markgeofysiska mätningar. Vidare borrades fyra kärnborrhål (längd 100 meter, lutning 50°) samt utfördes vatteninjektionstester i kärnborrhålen, kartering av borrhäror samt borrhålsgeofysiska mätningar.

Den dominerande bergarten i borrhäror från alla fyra borrhålen är medelkornig, granatförande gnejs. Partier av pegmatit förekommer i längder upp till tio meter i ett av borrhålen. I de övriga begränsas pegmatitpartierna till längder av fyra meter. Även basiska gångar förekommer, dock i betydligt mindre omfattning /3-34, 3-35/.

3.1.15 Gallejaur

Undersökningsområde Gallejaur ligger i gränsområdet mellan Arvidsjaur (Norrbottens län) och Norsjö kommuner (Västerbottens län), cirka 25 kilometer norr om centralorten Norsjö. Gallejaur är ett av de områden som SKB studerade i början av 1980-talet med syfte att få data från basisk urbergsmiljö, i första hand gabbro /3-19/.

Blottningsgraden i området är mycket låg, mindre än två procent. Den gabbro som var av intresse vid SKB:s undersökningar går ej i dagen, utan är endast indikerad på flygmagnetiska kartor och genom gravimetriska mätningar. Underlaget indikerade en gabbrokropp som gett upphov till en cirkelrund magnetisk anomali med en diameter om cirka 10 kilometer, en tjocklek av 4–4,5 kilometer och med överytan på 300 meters djup /3-36/.

1983 borrades ett 640 meter långt kärnborrhål ungefär i mitten av den förväntade gabbrokroppen. Borrhålet ansattes i en metagranitoid och en tolkning av gravimetriska data visade att en gabbrokropp kunde förekomma på några hundra meters djup. Vid borrhningen påträffades ingen gabbro utan borrhningen avbröts. På några hundra meters djup övergick bergarten till en mer basisk monzonit med högre densitet. Detta var orsaken till att man felbedömt djupet till gabbrons överyta. I verkligheten ligger denna mycket djupare än tidigare beräknat.

Hela Gallejaurområdets berggrund räknas som malmkritisk eller malmpotentiell. Av störst intresse är koppar- och guldmineraliseringar. Delar av området täcks av aktiva inmutningar.

3.1.16 Kamlunge

Typområde Kamlunge (Kalix kommun, Norrbottens län) ligger cirka 25 kilometer nordväst om centralorten Kalix. Under perioden 1981–83 utfördes berggrundsgeologisk kartering, markgeofysiska mätningar, lineamentstolkning från topografiska kartor och flygbilder samt sammanställning av hydrometeorologiska data. Vidare borrades 16 kärnborrhål och 22 hammarborrhål samt utfördes kärnkartering, geofysiska borrhålsundersökningar och hydrauliska tester.

Berggrunden i området är övervägande väl blottad. Merparten av ytarealen inom typområdet Kamlunge tillhör den så kallade Sockbergetgruppen bestående av i huvudsak två metasedimentära bergarter, kvartsitisk gnejs och biotitgnejs. Dessa bergarter är de äldsta inom typområdet. På större djup i berggrunden överväger graniter tillhörande den så kallade Linaserien. Linagraniterna är betydligt yngre än Sockbergetgruppens bergarter. Även granodiorit tillhörande Haparandaserien har observerats inom typområdet men i liten omfattning. Smärre kroppar av basiska bergarter, exempelvis amfibolit och gabbro, är vanligt förekommande både vid ytan och på större djup.

De dominerande bergarterna inom Kamlungeområdet är ofta migmatitomvandlade, och granit- och pegmatitgångar förekommer frekvent. Detta medför att Kamlungeområdet är ett av de litologiskt sett mest heterogena av SKB:s typområden /3-37/.

3.1.17 Taavinunnanen

Undersökningsområde Taavinunnanen (Kiruna kommun, Norrbottens län) ligger inom raket-uppskjutningsfältet Esrange, cirka 35 kilometer nordost om Kiruna. Valet av Taavinunnanen baserades på att berggrunden till största delen består av bergarten gabbro. Våren 1981 borrades ett 700 meter djupt kärnbråhåll. Borrkärnan undersöktes med avseende på bergarter, sprickfördelning, sprickmineral samt hållfasthetsegenskaper. Dessutom utfördes geofysisk bråhållsloggning, vatteninjektionstester för bestämning av hydrauliska egenskaper samt grundvattenkemisk provtagning i bråhålet. Taavinunnanenmassivet domineras av en högplatå som på toppen och den branta nordostsluttningen har väl blottad berggrund som domineras av bergarten gabbro.

Taavinunnanengabbron uppvisar en lagrad struktur med stor variation i den mineralogiska sammansättningen vinkelrätt lagerställningen. Lagringen har utbildats i samband med stelningsprocesser i gabbron. Variationen mellan de olika lagren beror på skillnader i proportioner mellan huvudmineralen plagioklas, pyroxen och olivin. I gabbron förekommer brottstycken av kvartsit.

Bergarten i det cirka 700 meter djupa kärnbråhålet består till helt övervägande del av lagrad gabbro. Lagren kan variera i tjocklek mellan några millimeter upp till flera hundra meter och har olika mineralogisk sammansättning. Delar av berget i bråkärnan har omvandlats till en finkornig, biotitrik bergart. Gångar av aplit och granit är relativt vanliga och enstaka basiska gångar förekommer.

Berggrunden, som omger Taavinunnanens gabbromassiv, består i norr och öster av migmatitiserad gnejs, i huvudsak av sedimentärt ursprung. I söder och väster vidtar så kallad Linagranit samt basisk vulkanit /3-38, 3-19 (Appendix), 3-39/.

3.2 Undersöknings- och analysmetoder

I bilaga 5 redovisas undersökningarnas omfattning samt utvecklingen av undersöknings- och analysmetoder, mätprecision, kvalitetssäkring och datahantering från typområdesundersökningarna, via Äspö och fram till platsundersökningarna i Forsmark och Oskarshamn. I bilagan redovisas också – i de fall då detta är möjligt – hur skillnader mellan då och nu har förändrat möjligheterna att göra tillförlitliga bedömningar och prognoser.

En viktig skillnad mellan då och nu är att samordningen av undersökningarna idag är väsentligt bättre än den var tidigare. Numera drar man nytta av resultat från andra discipliner redan vid planeringen av kommande undersökningsinsatser. Detta medför rimligen bättre resultat och underlättar möjligheterna att göra tillförlitliga bedömningar.

Tabell 3-2 ger en översikt av de undersöknings- och analysmetoder som beskrivs i bilaga 5. Tabellen sammanfattar mycket kortfattat användningen av metoderna vid typområdesundersökningarna, vid förundersökningen inför utbyggnaden av Äspölaboratoriet samt vid platsundersökningarna i Forsmark och Oskarshamn.

I huvudsak användes samma instrument och undersökningsmetoder vid de finska platsundersökningar som vid de svenska. Men en viktig skillnad är att de finska undersökningarna utfördes senare än de svenska. När Posiva utförde preliminära undersökningar i Veitsivaara, Romuvaara, Syyry, Kivetty och Olkiluoto kunde man dra nytta av erfarenheter från undersökningarna i de svenska typområdena, vilket i vissa fall gav bättre noggrannhet i resultaten. Och när Posiva sedan utförde detaljerade platsundersökningar i Romuvaara, Kivetty, Olkiluoto och Hästholmen kunde man dra nytta av metod- och instrumentutvecklingen i Stripa och förundersökningarna vid Äspö. På motsvarande sätt kunde de svenska platsundersökningarna i Forsmark och Oskarshamn dra nytta av den fortsatta metodutveckling som skedde i samband med de finska detaljundersökningarna under 1990-talet. Dessa aspekter är av intresse i samband med de bedömningar av osäkerheter i underlaget som redovisas senare i rapporten.

Tabell 3-2. En översikt av använda undersöknings- och analysmetoder vid typområdesundersökningar, förundersökningar inför utbyggnaden av Äspölaboratoriet samt vid platsundersökningarna i Forsmark och Oskarshamn. Sammanställningen baseras på redovisningen i bilaga 5.

Ämnesområde	Användning – metod och omfattning – vid			Kommentar om förbättrade möjligheter att bestämma viktiga parametrar
	typområdesundersökningar	förundersökning på Äspö	platsundersökningar i Oskarshamn och Forsmark	
Geologi				
Berggrundskartering	Översiktlig kartering som komplement till bef. SGU-kartor. Medelstor omfattning.	Detaljerad kartering. Stor omfattning.	Detaljerad kartering, inkl analys för bergartsbestämning. Stor omfattning.	Förbättrad och enhetlig nomenklatur i och med anpassning till SGU:s nomenklatur.
Jordartskartering	Mycket begränsad omfattning.	Mycket begränsad omfattning.	Detaljerad kartering enl SGU:s metodik. Stor omfattning.	Förbättrad och enhetlig nomenklatur i och med anpassning till SGU:s nomenklatur. Bättre underlag för jordartsmodeller i olika skalor.
Analys av sprickdata	Bestämning av frekvens och orientering av sprickor på hållar. Stor omfattning.	Bestämning av frekvens och orientering av sprickor på hållar och avrymda områden (omfattande linjekartering). Stor omfattning.	Bestämning av frekvens och orientering av sprickor på hållar och avrymda områden (omfattande linjekartering) samt sprickor i borrhålen (Bips). Stor omfattning.	Utökad underlag för diskret spricknätverksmodellering (DFN).
Sprickmineralundersökningar	Kartering av borrhälar; prov på borrhälar för bestämning av mineral och termisk sammansättning. Medelstor omfattning.	Kartering av borrhälar; prov på borrhälar för bestämning av mineral och termisk sammansättning. Stor omfattning.	Kartering av borrhälar; prov på borrhälar för bestämning av mineral och termisk sammansättning; Boremap introducerad. Stor omfattning.	Bättre underlag för relativ och absolut åldersbestämning av sprickmineral.
Geofysiska markmätningar	Refraktionsseismik, magnetmätningar, slingram, resistivitetsmätningar. Stor omfattning.	Refraktionsseismik, magnetmätningar, slingram, resistivitetsmätningar. Stor omfattning.	Refraktionsseismik, magnetmätningar, resistivitetsmätningar. Större omfattning och ökad punkttäthet.	Ökad punkttäthet ger bättre underlag för att tolka och bestämma lokala mindre deformationszoner i längdintervall 10–1 000 m. Bättre underlag för DFN-modellering och för deterministisk modellering i 3D.
Kärnboring	Varierande antal borrhål (1–16 bh; mv = 10 bh). Stor omfattning.	15 borrhål. Stor omfattning. Införande av grovdel (teleskopdel) i övre delen av borrhålet.	Betydligt fler djupa borrhål; införande av triple-tube teknik, större borrhålediameter; utvecklad utrustning. Teleskopdel i övre delen av borrhålet. Stor omfattning.	Införande av triple-tube teknik innebär bättre kärnfångst (nästan 100 %-ig kärntvinnning); lermineral och mjuka mineral kan fångas och spolans inte bort under boring. Grovdel i övre delen av borrhålet (teleskophål) innebär ökad möjlighet till provpumpning och att utrusta borrhålet med installationer för långtidsmätning.

Ämnesområde	Användning – metod och omfattning – vid			Kommentar om förbättrade möjligheter att bestämma viktiga parametrar
	typområdesundersökningar	förundersökning på Äspö	platsundersökningar i Oskarshamn och Forsmark	
Hammarborrning	Varierande antal borrhål (14–49 bh; mv = 24 bh). Stor omfattning.	21 borrhål. Stor omfattning.	Betydande antal hammarborrhål. Stor omfattning.	Ingen större förändring av tekniken.
Geofysisk borrhålsloggning	Standardpaket, resistivitet, susceptibilitet, naturlig gamma, SP, sonic, temperatur, borrhålsvätskans resistivitet. Omfattande.	Standardpaket, resistivitet, susceptibilitet, naturlig gamma, SP, sonic, temperatur, borrhålsvätskans resistivitet, densitet (tillkom). Omfattande.	Standardpaket, resistivitet, susceptibilitet, naturlig gamma, SP, sonic, temperatur, borrhålsvätskans resistivitet, densitet, akustisk televiwer (tillkom). Omfattande.	Införande av akustisk televiwer innebär möjlighet att detektera utfrästa spår och att orientera sprickor som back-up om Bips fallerar (smutsigt vatten eller tappad orientering under loggning). De geofysiska loggarna används i högre grad som stöd till borrhålskarteringen.
Radartolkning	Borrhålsradar (Ramac) började användas 1985. Ingen omfattning för de flesta typområden. Stor omfattning för Klipperås. Två frekvenser, 22 och 60 MHz.	Borrhålsradar användes regelmässigt. Två frekvenser, 22 och 60 MHz. Stor omfattning.	Borrhålsradar: bättre mätsystem; avsevärt snabbare mätningar; tre frekvenser, 20, 100 och 250 MHz. Radar riktantenn introducerades. Stor omfattning.	Införande av tre frekvenser innebär ett komplement för ökad upplösning (högre frekvens) av tolkade mindre deformationszoner samtidigt som den lägre frekvensen ger ökad djupkänning längre in från borrhålet. Införande av radar riktantenn ger information om tolkade mindre deformationszoners orientering i rymden.
Kärnkartering	Kärnkartering skedde manuellt på papper. Resultatet överfördes till ritfilm. Stor omfattning.	Kärnkarteringen datoriserad. Petrocore (föregångare till Boremap) användes. Stor omfattning.	Bips (togs i bruk 1995) och Boremap användes. Stor omfattning.	Introduktion av Bips och Boremap möjliggjorde att informationen från bild av borrhålsväggen (bl a sprickorientering) och information från borrhålskärnan (bl a sprickmineral) kunde integreras. Triple-tube teknik innebär att betydligt mer mjuka sprickmineral kan karteras. Underlag från geofysisk loggning användes som stöd vid kärnkarteringen.
Modellering och visualisering	2D-projektioner gjordes manuellt och ritades för hand. Viss 3D-modellering i block. Liten omfattning.	2D-projektioner ritades i Microstation. Viss 3D-modellering i Microstation. Stor omfattning.	Rock Visualisation System (RVS) introducerades. 2D-projektioner i RVS. Omfattande 3D-modellering i RVS i olika skalor. Stor omfattning.	RVS medförde att modellerna kunde versionshanteras. RVS importerade alla data från Sicada där alla data var kvalitetssäkrade. Genom att versionshantera RVS-modellerna kan även dessa modeller kvalitetssäkras.

Ämnesområde	Användning – metod och omfattning – vid			Kommentar om förbättrade möjligheter att bestämma viktiga parametrar
	typområdesundersökningar	förundersökning på Äspö	platsundersökningar i Oskarshamn och Forsmark	
Längdjustering i borrhål	Brythjul på foderröret; längdmärkt kabel; precision ca 1,5 m/1 000 m. Stor omfattning.	Brythjul på foderröret; längdmärkt kabel; precision ca 1,5 m/1 000 m. Stor omfattning.	Spårfräsning på borrhålsväggen; spåren syns tydligt i Bips och kan detekteras med flertalet mätsonder. Längdjustering efter synliga spår. Precision ca 1,5 dm per 1 000 m. Stor omfattning.	Spårfräsning ger en betydligt bättre precision av lägesbestämningen.
Krökningsmätning i borrhål	Boremac, kompass- och lodbaserad metod. 10–20 m mellan mätpunkterna. Omfattande.	Boremac, kompass- och lodbaserad metod. 10–20 m mellan mätpunkterna. Omfattande.	Maxibor (optiskt baserad metod), akustisk televiwer (3-komponent accelerometrar och magnetometrar), Flexit Smart Tool (3-komponent accelerometrar och magnetometrar). Omfattande.	Krökningsmätning görs med minst två oberoende metoder; utförs var 3:e meter, dels ner i borrhålet och dels upp igen. Upprepade mätningar ger betydligt högre säkerhet i bestämning av borrhålets läge och ökad möjlighet till säkrare bestämning av sprickors och andra objekts orientering i rymden.
Hydrogeologi				
Enhålstester	Stort antal tester (PSS och multivagn) i kärnborrhål.	Stort antal tester (PSS och multivagn) i kärnborrhål.	Stort antal tester i både kärnborrhål (PSS och PFL) och hammarborrhål (HTHB).	Automatisk reglering vid injektionstester, vilket innebär snabb inreglering av tryck och att mätningarna blir mindre beroende av operatören. Införandet av PFL-mätningar gör det möjligt att identifiera enskilda anomalier. Mätningar i hammarborrhål gör det möjligt att utvärdera det ytnära bergets hydrauliska konduktivitet.
Interferenstester	Enstaka tester i hammarborrhål i hälften av typområdena.	Två stora interferenstester i hammar- och kärnborrhål.	Cirka 20 tester i Laxemar/Simpevarp. 10 tester i Forsmark. Utfördes i såväl hammar- som kärnborrhål och jordrör.	Fler tester har medfört fler bestämningar av transmissiviteter längs zoner och hydrauliska konduktiviteter i bergmassan, samt mellan jordlager och övre delen av berget.

Ämnesområde	Användning – metod och omfattning – vid			Kommentar om förbättrade möjligheter att bestämma viktiga parametrar
	typområdesundersökningar	förundersökning på Äspö	platsundersökningar i Oskarshamn och Forsmark	
Bestämning av hydraulisk gradient	Ytliga hydrauliska gradienten beräknades utgående från topografi och grundvattenytor i borrhål och jordborrör. Gradienter på försvarsdjup beräknades med hydrauliska modeller i tre av områdena.	Ytliga hydrauliska gradienten beräknades utgående från topografi och grundvattenytor i borrhål och jordborrör. Gradienter på försvarsdjup beräknades med hydrauliska modeller. Gradienter längs zoner beräknades utgående från sektionsvisa tryckmätningar längs borrhål.	Ytliga hydrauliska gradienten beräknades utgående från topografi och grundvattenytor i borrhål och jordborrör. Gradienter på försvarsdjup beräknades med hydrauliska modeller. Gradienter längs zoner beräknades utgående från sektionsvisa tryckmätningar längs borrhål. Lokala gradienter i anslutning till borrhål beräknades utgående från PFL-mätningar.	Beräkningar av hydrauliska gradienter i olika skalor och på olika djup har förbättrats genom: <ol style="list-style-type: none"> 1. fler mätpunkter av vattentryck längs borrhål samt i jordborrör, 2. ett stort antal bestämningar av lokala gradienter i anslutning till borrhål med hjälp av PFL-mätningar, 3. utveckling av bättre hydrauliska modeller.
Hydrogeokemi				
Metoder för pumpning och uttag av prov	Hydraulisk kolvpump placerad mellan manschetter i borrhålet pumpade upp vatten genom en rörgång. Rören var invändigt klädda med en teflonslag. Under senare delen av typområdesundersökningarna ersattes tefloninklädnaden med en separat slang som gick utanför rörgången. Samtidigt förlängdes manschetterna till en meter för att förhindra att vatten passerade runt manschetterna in i provsektionen.	Ett mobilt fältlaboratorium med in situ-mätning av pH och Eh, provtagning och analys av känsliga komponenter samt provtagning för andra analyser hade utvecklats och togs i rutinmässig drift under förundersökningarna på Äspö.	Fältlaboratorierna utnyttjades fortsättningsvis för mätning och provtagning. En del av de känsliga parametrarna analyserades på Äspö eller i Lentabhallen nära undersökningsborrhålen. Provtagningar genomfördes även i samband med hydrauliska pumptester med PSS och SWIW.	Erfarenheterna från typområdesundersökningarna fram till platsundersökningarna har gjort att provtagning idag kan utföras med större känsla för störningar och tillkortakommanden som beror på i vilket skede av undersökningarna och med vilken metodik provtagning genomförs. Den största svårigheten är att minimera inverkan av spolvatten.
Analys av huvudkomponenter	Våtkemiska analyser kompletterade med AAS (Atomic Absorption Spectrometry).	Våtkemiska analyser, ICP AES (Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry) och AAS; jonkromatografi i mobila kemivagnar.	Färre våtkemiska analyser; flertalet komponenter bestäms med ICP AES.	ICP AES-tekniken har mer än halverat kostnaderna för kemianalyser sedan typområdesundersökningarna.
Analys av närsalter	Våtkemiska metoder och spektrofotometri.	Våtkemiska metoder och spektrofotometri.	Våtkemiska metoder och spektrofotometri, externa lab.	Något lägre detektionsgränser för vissa av analyserna under platsundersökningarna, i övrigt inga avgörande förändringar.

Ämnesområde	Användning – metod och omfattning – vid			Kommentar om förbättrade möjligheter att bestämma viktiga parametrar
	typområdesundersökningar	förundersökning på Äspö	platsundersökningar i Oskarshamn och Forsmark	
Analys av spårmetaller	AAS	AAS med grafitugn.	ICP MS (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry).	ICP MS är helt överlägsen tidigare analysmetoder.
Analys av isotoper	Isotopanalyserna omfattade: tritium, deuterium och syre-18; uran- och toriumisotoper; kol-14 och kol-13. Metoder: masspektrometri, alfa- och gammaspektrometri och LSC (Liquid Scintillation Counting). Vätekarbonat uppkoncentrerades i fält för kolisotopbestämningar genom avdrivning från 130 liter vatten.	Isotopanalyserna omfattade: tritium, deuterium och syre-18; uran- och toriumisotoper; kol-14 och kol-13. Metoder: masspektrometri, alfa- och gammaspektrometri och LSC (Liquid Scintillation Counting). Vätekarbonat uppkoncentrerades i fält för kolisotopbestämningar genom avdrivning från 130 liter vatten.	Nya isotoper: ¹⁰ B, ⁸⁷ Sr, ³⁷ Cl, ²⁴ S. Sänkt detektionsgräns för tritium med hjälp av elektrolys. Acceleratormätningar av kol-14 istället för LSC. ICP MS används mer och mer i stället för alfa- och gamma-spektrometriska metoder.	Sänkning av detektionsgränsen för tritium från 8 TU till 0,8 TU har ökat värdet av tritium-analyserna. Acceleratormätningar av kol-14 har förenklats provtagningen eftersom uppkoncentrering av vätekarbonat inte är nödvändigt längre.
On-linemätningar	Eh, pH, konduktivitet, syrehalt och temperatur bestämdes på markytan.	Eh, pH och temperatur bestämdes in situ; konduktivitet och syrehalt på markytan.	Eh, pH och temperatur bestämdes in situ; konduktivitet och syrehalt på markytan.	Inför platsundersökningarna modifierades borrhåleelektrodena, vilket gjorde mät-systemet mer robust och andelen lyckade mätningar ökade. I övrigt skedde den stora förbättringen från typområdena till Äspö.
Partiklar/kolloider	Specialinsatta analyser på prov för att bedöma partikelhalt och storleksfördelning.	Filtrering genom seriekopplade filter med successivt mindre poröppningar.	Tre metoder: 1) fraktionering/ultrafiltrering, 2) filtrering av in situ-prov genom seriekopplade filter under argonatmosfär och in situ-tryck, 3) avancerad analys av in situ-prov med Laser induced breakdown metod.	Under platsundersökningarna användes flera metoder för bestämning av kolloider. Detta har gjort det möjligt att jämföra resultat, vilket ger större säkerhet.
Humus och fulvosyror	Specialanalys på prov.	On-line koncentration på jonbytarmassa.	On-line koncentration på jonbytarmassa för kolisotopanalys. Fraktionering/ultrafiltrering för bestämningar med avseende på storlek.	Vanligtvis är halterna av organiskt kol väldigt låga vilket medför att bestämningar av såväl kolisotoper som storleksfraktioner är fortsatt svåra att utföra. Sammantaget kan dock de många fraktioneringsförsöken under platsundersökningarna ge en tydligare och mer samstämmig bild.

Ämnesområde	Användning – metod och omfattning – vid			Kommentar om förbättrade möjligheter att bestämma viktiga parametrar
	typområdesundersökningar	förundersökning på Äspö	platsundersökningar i Oskarshamn och Forsmark	
Gaser	Den gas som avges ur vattnet samlas upp med hjälp av gasfälla.	Provtagning in situ.	Provtagning in situ.	Ny utrustning och förbättrad teknik inför platsundersökningarna: kolvförsedda provbehållare med mottryck förhindrar läskedryckseffekt och förbättrar bestämningen av totalt gasinnehåll.
Mikrober	Ej utfört.	Prov för odling i lab.	In situ-prov och odling i lab.	Successivt ökad kunskap och ny eller förbättrad teknik för olika typer av mikrob-bestämningar. Fler mikrobparametrar har tillkommit med tiden. Under platsundersökningarna tillkom bland annat ATP-bestämningar. Ökade krav på spolvattenkvalitet och rengöring av utrustning infördes vid borring av kemiprioriterade borrhål vid platsundersökningarna för att minimera risken att påverka mikrobpopulationerna.
Bergets transportegenskaper				
Bestämning av formationsfaktorn	Laboratoriebestämningar på ett begränsat antal borrhälar gjordes i cirka hälften av områdena.	Utfördes inte under förundersökningarna utan först under bygget av tunneln.	Ett stort antal laboratoriebestämningar på borrhälar samt ett mycket stort antal in situ-mätningar med elektrisk metod.	Ett utökat antal laboratoriemätningar och ett stort antal in situ-mätningar möjliggör mer representativa bestämningar för hela området. In situ-bestämningarna görs i "rätt miljö" och inkluderar naturliga bergspänningar.
Bestämning av transportmotstånd	Bestämningar gjordes i tre områden genom modellberäkningar baserade på bland annat hydrodata.	Bestämningar gjordes genom modellberäkningar baserade på bland annat hydrodata.	Bestämningar gjordes genom modellberäkningar baserade på bland annat hydrodata. Dessutom gjordes ett stort antal enkla skattningar utgående från data från PFL-loggningar.	Förbättrade modeller innebär förbättrade parameterbestämningar.

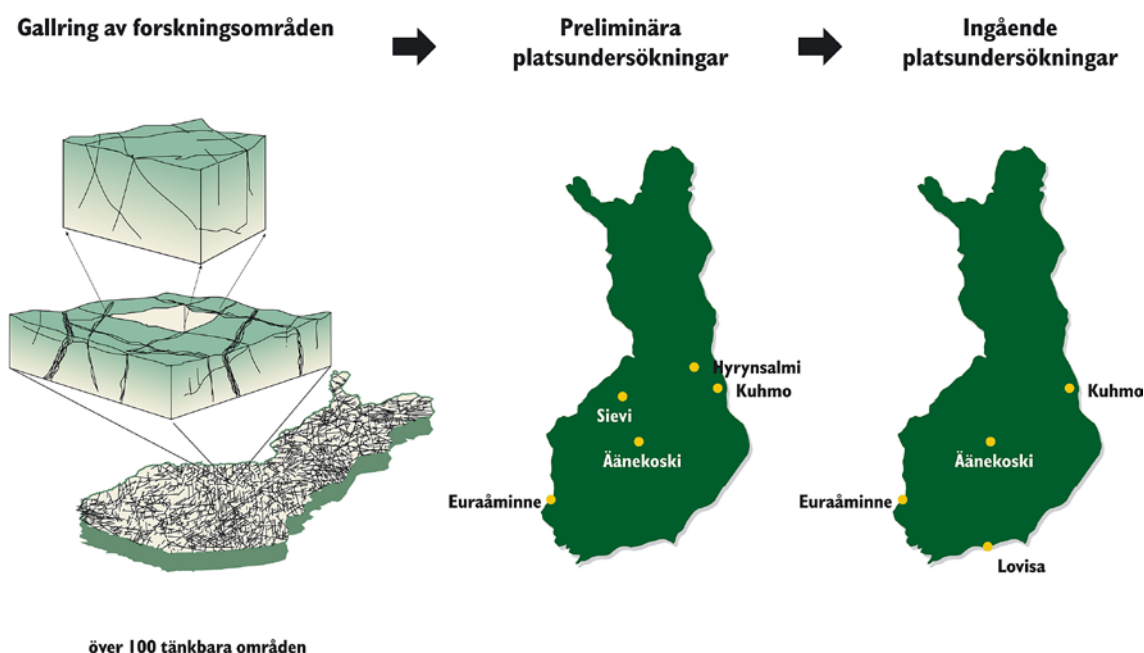
Ämnesområde	Användning – metod och omfattning – vid			Kommentar om förbättrade möjligheter att bestämma viktiga parametrar
	typområdesundersökningar	förundersökning på Äspö	platsundersökningar i Oskarshamn och Forsmark	
Bestämning av övriga transportparametrar	Enstaka spårämnesförsök i ett av områdena.	Två stora spårämnesförsök. Ett stort antal utspädningsmätningar i fast installerad utrustning i kärnborrhål.	Ett stort antal mätningar med utspädningssond. Några SWIW-tester. Ett stort antal utspädningsmätningar i fast installerad utrustning i kärnborrhål. Ett storskaligt spårämnesförsök i vardera området samt flera mindre spårämnesförsök mellan jordlager och övre delen av berget.	Det relativt stora antalet mätningar med utspädningssond och utspädningsmätningar med fast installerad utrustning längs borrhål gör det möjligt att bl a bestämma naturliga flöden längs zoner. Framtagna värden kan användas för att göra jämförelser med beräkningar gjorda med hydrauliska modeller. SWIW-tester innebär att data från fältmätningar kan användas för att bestämma bl a retardationsfaktor. Förbättrade mätinstrument innebär säkrare bestämningar av parametrar vid spårämnesförsök.
Bergets mekaniska och termiska egenskaper				
Bergspänningar	I några fall hydraulisk spräckning, enstaka borrhål.	Hydraulisk spräckning och överborring. Betydande omfattning.	Hydraulisk spräckning och överborring. Stor omfattning. Förbättrad registrerings- och utvärderingsteknik.	Mätprinciperna i grunden oförändrade, men tekniken har förbättrats och omfattningen ökat väsentligt. Kunskaperna om hur data kan tillämpas för analyser i olika skalor har utvecklats väsentligt.
Mekaniska egenskaper	I några fall standardtester på borkärnor. Liten omfattning.	Standardtester på borkärnor. Betydande omfattning.	Omfattande program för tester på borkärnor, förbättrade test- och utvärderingsmetoder.	Testmetoder har förfinats och omfattningen ökat. Uppsättningen parametrar som bestäms har också breddats. Kunskaperna om hur data kan tillämpas för analyser i olika skalor har utvecklats väsentligt.
Temperatur	Ingick i standardprogram för geofysisk loggning.	Ingick i standardprogram för geofysisk loggning, viss vidareutveckling av mätteknik.	Ingick i standardprogram för geofysisk loggning, samma teknik som Äspö.	Mätprinciperna i grunden oförändrade, men omfattningen har ökat väsentligt. Begränsningarna ligger normalt inte i mättekniken utan är relaterad till störningar av olika slag, bl a tidpunkten för loggning i förhållande till borring.
Termiska egenskaper	I en del fall bestämningar av vissa parametrar på borkärnor. Liten omfattning.	Parameterbestämningar på borkärnor senare på prover i samband med fältförsök.	Parameterbestämningar på borkärnor. Stor omfattning. Kompletterande fältförsök för vissa parametrar.	Mätprinciperna i lab i grunden oförändrade, men tekniken har förbättrats och omfattningen ökat väsentligt. Laboratoriebestämningar har kompletterats med fältmätningar. Kunskaperna om hur data kan tillämpas för analyser i olika skalor har utvecklats väsentligt.

3.3 Finska undersökningar

Undersökningar för att studera hur den finska berggrunden lämpar sig för slutförvaring av använt kärnbränsle inleddes i slutet av 1970-talet. Till viss del användes samma metoder, konsulter och utrustningar i både de svenska och finska undersökningarna på 1980-talet. Finland deltog också i Stripa-projektet där en del instrument, bland annat borrhålsradar, utvecklades.

År 1983 fastställde den finska regeringen målsättning och tidplan för lokaliseringen av slutförvaret. Den första etappen (1983–1985) omfattade kartläggning och studier i flera steg för att välja ut områden som var lämpade för närmare undersökningar. Arbetet omfattade studier av geologiska förhållanden, tolkning av satellitbilder och flygfoton tillsammans med bedömning av miljö- och samhällsfaktorer, figur 3-3. Resultatet av denna successiva gallring överlämnades i slutet av 1985 till myndigheterna för granskning. Cirka 85 områden hade då identifierats som potentiellt lämpliga för vidare undersökningar. Våren 1987 valdes fem områden (Veitsivaara i Hyrynsalmi, Kivetty i Äänekoski, Romuvaara i Kuhmo, Syyry i Sievi och Olkiluoto i Euraåminne) för preliminära platsundersökningar. Områdena representerar den finska berggrundens huvudtyper och skiljer sig från varandra beträffande både bergarter och ålder. Även markägarförhållanden och diskussioner med kommunerna påverkade valet av undersökningsplatser. På varje område utfördes detaljerade geologiska och geofysiska undersökningar, borrhning av ett antal djupa kärnborrhål samt omfattande hydrogeologiska mätningar och tester. Resultatet av de preliminära platsundersökningarna avrapporterades 1992. Därefter har detaljerade platsundersökningar och MKB-förfarande genomförts på fyra orter, Kivetty, Romuvaara, Olkiluoto samt på Hästholmen i Lovisa. Hästholmen inkluderades i undersökningarna 1997. Motivet var att platsen i likhet med Olkiluoto är en kärnkraftverksort och därför ansågs ha en särställning vid valet av slutförvarsplats. Även i övrigt bedömdes platsen vara lämplig.

Baserat på resultaten från de detaljerade platsundersökningarna, MKB-förfarandet, säkerhetsanalysen TILA-99 (som baserades på platsdata från undersökningarna på dessa fyra orter) samt ett positivt besked från Euraåminne kommun föreslog Posiva Olkiluoto i Euraåminne som plats för slutförvaret /3-40/. 1999 lämnade Posiva in en ansökan till statsrådet (regeringen) om principbeslut med denna inriktning. I slutet av 2000 tillstyrkte statsrådet Posivas ansökan. I maj 2001 godkände riksdagen beslutet med röstsiffrorna 159-3.



Figur 3-3. Valet av plats för det finska slutförvaret har skett genom en urvalsprocess i flera steg /3-41/.

I tabell 3-3 redovisas undersökningarnas omfattning för de sex områden där Posiva utfört platsundersökningar. Vid bedömningen av undersökningarnas omfattning har i huvudsak samma bedömningsgrund tillämpats som för de svenska områdena, se avsnitt 2.1.

3.3.1 Hästholmen

Hästholmen ligger i Lovisa kommun vid kusten i sydöstra Finland. Ön Hästholmen är mycket flack, största delen av ön ligger endast 10 meter över havet. Under perioden 1997–2000 genomfördes omfattande undersökningar, bland annat borrades nio kärnborrhål med en total längd av cirka 8 100 meter.

Berggrunden är relativt väl exponerad, särskilt på skär och utmed kustlinjen. Den består av olika varianter av grovkornig rapakivgranit som ingår i Wiborgbatholiten; ålder cirka 1 650–1 620 miljoner år. Graniten är övervägande homogen men genomskärs av ett antal aplit-pegmatitgångar.

Vid Hästholmen ligger två kärnkraftblock samt det ena av Finlands två förvar för låg- och medelaktivt avfall. Förvaret byggdes under perioden 1993–1996. Under utbyggnaden genomfördes omfattande geovetenskapliga undersökningar /3-40, 3-42, 3-43/.

3.3.2 Olkiluoto

Olkiluoto ligger i Euraåminne kommun vid kusten i sydvästra Finland. Ön Olkiluoto är mycket flack och ligger 5–10 meter över havet. Berggrunden är till största delen jordtäckt, endast cirka fyra procent består av håll. Fram till 1999 genomfördes omfattande undersökningar. Bland annat undersöktes berget med 10 kärnborrhål (total längd cirka 6 100 meter) och grävda diken (total längd cirka 2 400 meter).

Dominerande bergarter är migmatitgnejs och ådergnejs av metasedimentärt ursprung med invecklade, folierade intrusiv av tonalitiska gnejser. Gnejserna är genomsatta av granitiska/pegmatitiska gångar och ådror och lokalt också av en subvertikal, basisk gång. Berggrundens gnejser ingår i den 1 900–1 800 miljoner år gamla Svekokarelska orogensen medan den basiska gången är avsevärt yngre, 1 650–1 250 miljoner år.

Tabell 3-3. Undersökningarnas omfattning inom respektive undersökningsområde.

OMRÅDE	Berggrundsgeologi	Lineamentskartering	Sprickkartering	Kärnborrhål, antal/bormeter	Korta kärnborrhål ≥ 10 m	Bergmekanik	Flyggeofysik	Markgeofysik	Borrhålsgeofysik	Borrhålsradar	Hydrogeologi	Hydrogeokemi	Transportegenskaper	Undersökningsområdets storlek - lokalt, km ²
Hästholmen	A	A	A	9/8133	3	B	A	A	A	A	A	A	A	5
Olkiluoto	A	A	A	10/6143	36	B	A	A	A	A	A	A	A	4
Kivetty	A	A	A	13/7628	30	B	A	A	A	A	A	A	A	5,5
Romuvaara	A	A	A	11/5987	30	B	A	A	A	A	A	A	B	14
Syyry	A	A	A	7/4006	36	C	A	A	A	A	A	B	B	8
Veitsivaara	A	A	A	8/3668	30	C	A	A	A	A	A	B	us	9

Förklaring	A	= Stor omfattning
	B	= Medelstor omfattning
	C	= Begränsad omfattning
	us	= underlag för bedömning saknas

Vid Olkiluoto ligger två kärnkraftblock, ett tredje är under utbyggnad, samt det ena av Finlands två förvar för låg- och medelaktivt avfall. Förvaret (silos 70–100 meter under mark och en cirka 1 000 meter lång tillfartstunnel) byggdes under perioden 1988–1991. Under utbyggnaden genomfördes omfattande geovetenskapliga undersökningar /3-40, 3-43, 3-44/.

Efter riksdagens godkännande år 2001 av statsrådets principbeslut har Posiva fortsatt undersökningarna vid Olkiluoto och förberett bygget av den underjordiska forskningsanläggningen ONKALO. Bygget startade år 2004 och beräknas pågå till 2011. Målet med ONKALO-projektet är att få detaljinformation om berggrunden på slutförvarsplatsen för planeringen och bedömningen av säkerheten samt för att testa slutförvarstekniken under realistiska förhållanden.

3.3.3 Kivetty

Kivetty ligger i Äänekoski kommun, centralt i Finland. Topografin i området är mjukt böljande. Området ligger ovanför högsta kustlinjen, merparten 160–180 meter över havet. Berggrunden är till största delen jordtäckt; endast två procent berg i dagen. Omfattande undersökningar av berggrunden genomfördes under perioden 1988–1999. Bland annat grävdes två undersökningsdiken och borrades 13 kärnborrhål, med en total längd av cirka 7 600 meter.

Berggrunden består av medel-grovkornig granit och granodiorit, med xenoliter av metavulkanit och gabbro, som genomsätts av enstaka skjuvzoner, aplit-pegmatitådror och basiska gångar. Granitoiderna bildades för cirka 1 890–1 880 miljoner år sedan och tillhör den Svekokarelska orogenesisen /3-40, 3-43, 3-45/.

3.3.4 Romuvaara

Romuvaara ligger i Kuhmo kommun i inlandet i nordöstra Finland. Området är svagt kuperat och ligger ovanför högsta kustlinjen, cirka 210–230 meter över havet. Området saknar nästan helt berg i dagen (endast cirka en procent består av håll). Berggrunden, som är undersökt med 11 kärnborrhål (total längd cirka 6 000 meter) och två grävda diken, består av olika typer av gnejs som skärs av såväl sura som basiska gångar. Alla dessa bergarter, inklusive de yngre och odeformerade basiska gångarna, bedöms vara 2 200–2 100 miljoner år. Romuvaara tillhör därmed ett område som inte är påverkat av den Svekokarelska orogenesisen /3-40, 3-43, 3-46/.

3.3.5 Syyry

Undersökningsområdet Syyry ligger i Sievi kommun i västra delen av mellersta Finland. Under perioden 1988–1992 genomfördes geovetenskapliga undersökningar, bland annat borrades sju kärnborrhål med en total längd av cirka 4 000 meter. Det undersökta området utgör en cirka åtta km² stor del av ett omfattande bergblock som begränsas av deformationszoner. Området täcks av tre till sju meter morän och en stor mängd sumpmarker. Finkorniga jordar saknas nästan helt inom området.

Undersökningsområdet ligger i gränsområdet mellan en zon med skiffrika bergarter och mellersta Finlands granitoidkomplex. Områdets berggrund består av vulkanisk och sedimentär skiffer, gnejs samt basiska och sura plutoniska bergarter. Berggrunden består till största delen av tonalit tillsammans med kvartsdiorit och granodiorit. Gångar i berggrunden utgörs av aplitgranit, kvarts och pegmatit. På vissa platser kännetecknas tonaliten av omfattande inneslutningar, framförallt av glimmerskiffer och amfibolit. Berggrundskarta för undersökningsområde Syyry återfinns i bilaga 1, avsnitt C.5 /3-40, 3-47/.

3.3.6 Veitsivaara

Undersökningsområde Veitsivaara ligger i Hyrynsalmi kommun i östra delen av mellersta Finland. Under perioden 1987–1992 genomfördes geovetenskapliga undersökningar, bland annat borrades åtta kärnborrhål med en total längd av cirka 3 700 meter. Det undersökta området

utgör en cirka nio km² stor del av ett omfattande bergblock som begränsas av deformationszoner. Större delen av berggrunden inom området är täckt av morän med en tjocklek av uppskattningsvis, från ett fåtal meter till mer än tio meter. Endast på ett fåtal platser går berget i dagen. Inom området, som ligger mellan 200 och 250 meter över havet, finns rikligt med sumpmarker.

Undersökningsområdet ligger i det gnejsområde, som tillhör den äldsta delen, 2 600–2 800 miljoner år gammal, av den finska berggrunden. Denna består av två helt olika bergarter. I den västra delen av området består berggrunden av senarkeisk tonalitgnejs som kännetecknas av inslag av bandad amfibolit. Den östra delen består av tidig proterozoisk granit med gångar av granitisk porfyr. Båda bergarterna är genomkorsade av gångar av metadiabas som representerar den yngsta (2 100–2 200 miljoner år) bergarten inom området. Graniten i området innehåller höga halter uran och torium. Berggrundskarta för undersökningsområde Veitsivaara återfinns i bilaga 1, avsnitt C.5 /3-40, 3-47/.

3.4 Berglaboratorier

Omfattande geovetenskaplig forskning, utprovning av metoder för platsundersökningar, test och demonstration av förvarskonceptet KBS-3 med mera har utförts inom Stripa-projektet och vid Äspölaboratoriet.

3.4.1 Stripa

Stripa gruva (Lindesbergs kommun, Örebro län) ligger i den nordvästra delen av tätorten Guldsmedshyttan. Gruvdriften i Stripa har anor från medeltiden. Gruvan är anlagd i en synklinal och helt omgiven av metamorfa ytbergarter av såväl vulkaniskt (leptit) som sedimentärt (biotitgnejs, kalksten/dolomit) ursprung. Malmen är en så kallad kvartsjärnmalm med såväl blodstensmalm som svartmalm. Då nedläggning av Stripa gruva blev aktuellt vid mitten av 1970-talet, väcktes idén att SKB (KBS-projektet) skulle utnyttja gruvans infrastruktur för forskningsändamål. Det var inte den malmförande delen av berggrunden som var av intresse utan en närbelägen intrusion av yngre, fin- till medelkornig granit, så kallad stripagranit, som lätt kunde nås från befintliga tunnelsystem.

Olika undersökningar av betydelse för arbetet med slutförvaring av använt kärnbränsle utfördes i graniten. Inledningsvis etablerades ett tunnelsystem i graniten och experiment avseende bland annat bergmassans termomekaniska egenskaper genomfördes, med deltagande huvudsakligen av KBS-projektet och forskningsorganisationer engagerade i det amerikanska kärnavfallsprogrammet. Senare organiserades det internationella Stripaprojektet, ett autonomt samarbetsprojekt inom OECD/NEA med deltagare från nio länder. Syftet var att utveckla och pröva metoder för geologisk karaktärisering av granitisk berggrund samt att undersöka funktionen av bentonitbufferten, borrhålspluggar, tunnelpluggar med mera. Projektet avslutades 1992. Under projektet drevs nya orter från vilka ett flertal undersökningsborrhål borrades för olika försök.

Stripaprojektet ledde till viktiga framsteg i arbetet att utveckla och använda olika undersökningsmetoder. Främst gällde det olika borrhålsmetoder baserade på radarteknik och seismik som används för att detektera sprickzoner, samt metoder för hydrogeologisk och hydrokemisk karaktärisering /3-48, 3-49, 3-50, 3-51/.

3.4.2 Äspö

Äspö (Oskarshamns kommun, Kalmar län) ligger cirka 23 kilometer nordost om Oskarshamns tätort och cirka en kilometer norr om Oskarshamns kärnkraftverk. Berggrunden på Äspö består av två varianter av smålandgranit, lokalt benämnda äspödiorit och ävrögranit. Dessa två bergarter utgör cirka 75 % av bergmassan. Finkornig granit (10–20 %) förekommer som intrusioner i form av smala gångar och oregelbundet formade massiv. Det finns ett klart samband mellan

denna spröda granit och vattenförande sprickzoner. Tunna linser och oregelbundet formade gångar av basiska bergarter (metabasalt) (< 5 %) förekommer som inneslutningar i den granitiska bergmassan. Äspö avgränsas såväl i norr som i söder av regionala deformationszoner. Den topografiskt och geofysiskt indikerade "Äspö skjuvzon" delar ön i två block. Äspölaboratoriet är beläget i det södra blocket. Ett system av brant stupande smala (lokala) sprickzoner med huvudriktning VNV-NV genomsätter speciellt södra delen av ön. Många av dessa zoner är vattenförande.

På Äspö finns Äspölaboratoriets kontors- och förrådslokaler samt kemilaboratorium. Själva berglaboratoriet är beläget cirka 450 meter under markytan och hit leder ett hisschakt från Äspökontoret och en drygt 3,5 kilometer lång tunnel från Simpevarpshalvön.

Äspölaboratoriet har varit och är av central betydelse för utveckling, demonstration och test av KBS-metoden, undersökningsutrustning och undersökningsmetoder med mera. Under perioden 1986–90 utfördes omfattande geovetenskapliga förundersökningar i såväl regional som lokal skala innan tunneldrivningen för berglaboratoriet igångsattes. Bland annat borrades 15 kärnborrhål och 21 hammarborrhål.

En viktig del i verksamheten vid Äspö under perioden 1986–1994 var att pröva och utveckla metodik för plats- och detaljundersökningar. En del i arbetet var att utvärdera i vad mån undersökningar från markytan och i borrhål gav en tillfredställande beskrivning av de förhållanden på förvarsdjup som har betydelse för den långsiktiga säkerheten. En omfattande utvärdering av resultaten från Äspöundersökningarna och tillförlitligheten i upprättade modeller och predikteringar publicerades 1997 /3-52, 3-53, 3-54, 3-55, 3-56/. En sammanfattning av detta arbete finns i /3-57/.

I slutet av 1980-talet borrades ett kärnborrhål (KLX01) i Laxemarområdet nära Äspö som referensborrhål till förundersökningarna på Äspö. I början av 1990-talet borrades ytterligare ett kärnborrhål (KLX02). Insatsen var ett komplement till verksamheten i Äspö HRL. Syftet var att visa att SKB kunde genomföra parameterbestämningar i borrhål till minst dubbla förvarsdjupet, något som efterfrågats av myndigheterna. I borrhålen utfördes bland annat viktiga vattenkemiska provtagningar /3-58/.

3.5 Slutsats

I kapitel 2 redovisas en indelning av den svenska och finska kristallina berggrunden i tre huvudgrupper. I tabell 3-4 har de undersökta områdena inordnats enligt denna indelning.

Utifrån de grundläggande krav som gäller för slutförvaret och med de förutsättningar som den svenska berggrunden erbjuder är inriktningen att förvaret ska placeras i kristallin berggrund av prekambrisk ålder, se avsnitt 2.3. Som framgår av tabellen representerar de undersökta områdena väl de väsentliga huvudgrupperna av svensk och finsk kristallin berggrund.

Tabell 3-4. De undersökta områdenas fördelning på tre huvudkategorier av bergarter inom Sveriges och Finlands kristallina berggrund.

	Massformiga, övervägande granitiska bergarter	Folierade/bandade, övervägande gnejsiga bergarter	Basiska bergarter, massformiga eller folierade
Svenska undersökningsområden	Klipperås, Ävrö, Äspö, Kräkemåla och Finnsjön samt Stripa och Bjulebo	Gideå, Kamlunge, Fjällveden, Svartboberget och Sternö samt Kynnefjäll, Boa och Pellboda	Taavinunnanen, Gallejaur och Kolsjön
Finska undersökningsområden	Kivetty, Hästholmen, Syry och Veitsivaara (delvis)	Olkiluoto, Romuvaara och Veitsivaara (delvis)	

4 Val av referensområden

Som framgår av kapitel 3 har SKB (i något fall Prav) och Posiva utfört mer eller mindre omfattande undersökningar inom ett stort antal områden.

För att ett område ska kunna bidra till det jämförelseunderlag som SKB ska redovisa vid valet av plats för slutförvaret krävs att det är möjligt att värdera och jämföra egenskaper som i något avseende har betydelse för platsens lämplighet. För att kunna göra en meningsfull värdering av ett område krävs att undersökningarna varit tillräckligt omfattande eller att området av annat skäl är av särskilt intresse. Exempelvis kan ett undersökt område vara av intresse – även om undersökningarna inte är särskilt omfattande – i det fall områdets berggrund är sådan att den geologiska bredden ökar.

Valet av områden måste baseras på geovetenskapliga faktorer. För övriga aspekter saknas – åtminstone för de flesta områdena – information. Inte förrän i samband med förstudierna breddades lokaliseringsarbetet till att – åtminstone översiktligt – inkludera alla för en MKB väsentliga frågeställningar /4-1/. Vid valet av områden för platsundersökningar – som ledde fram till Forsmark och Oskarshamn – kunde därför alla relevanta aspekter beaktas. Vad som då saknades var provborrningar för att bekräfta om berggrunden uppfyller säkerhetskraven /4-2/.

Tillräckligt omfattande undersökningar har utförts inom typområdena. Dessa tas därför med som referensområden. Eftersom berggrunden i Kråkemålaområdet representerar en ung kvartsrik granitintrusion tas även Kråkemåla med i jämförelsen, trots att endast tre kärnborrhål borrades inom området. Därutöver har Taavinunnanområdet tagits med eftersom det bidrar med data om förhållanden i basisk berggrund (gabbro), medan övriga områden representerar berggrund med huvudsakligen sura eller intermediära bergarter.

Äspölaboratoriet har varit och är av central betydelse för utveckling, provning och demonstration av KBS-metoden, undersökningsutrustning och undersökningsmetoder med mera. Omfattande förundersökningar utfördes innan bygget av berganläggningarna på Äspö startade. Baserat på resultat från förundersökningarna utarbetades prognoser för platsens geologiska, hydrogeologiska, hydrogeokemiska och bergmekaniska förhållanden. Prognoserna kontrollerades sedan när nedfartstunneln byggdes. Undersökningarna från tunneln bekräftade i huvudsak de prognoser som gjordes i förundersökningsskedet. Särskilt för modeller i regional och lokal skala var överensstämmelsen mycket god. För detaljmodeller i tunnelskala var överensstämmelsen sämre. Data från Äspö har också använts i säkerhetsanalyser för ett hypotetiskt förvar, dels av SKI i SITE-94 /4-3/, dels av SKB i SR 97 (SR 97 omfattade även säkerhetsanalyser med data från typområdena Finnsjön och Gideå) /4-4/. Äspö utgör således en unik och särskilt värdefull referens när undersökningsresultat från andra undersökta områden ska värderas.

Stripa däremot, kan aldrig utgöra ett jämförelseobjekt eftersom undersökningarna där utfördes i en störd miljö, vilket begränsar möjligheterna att göra relevanta jämförelser. Stripa ingår därför inte bland referensområdena.

Relativt omfattande undersökningar har utförts på Ävrö nära Simpevarp. Området ingår i den regionala modellen för delområde Simpevarp och värderas därmed inom ramen för platsundersökningen i Oskarshamn. Ävrö tas därför inte med bland referensområdena.

Inom det finska slutförvarsprogrammet har omfattande undersökningar utförts på fyra platser: Kivetty, Olkiluoto, Romuvaara och Hästholmen. Dessa områden har också tagits med i studien.

Denna studie omfattar således tio undersökningsområden i Sverige och fyra i Finland: Sternö, Klipperås, Äspö, Kråkemåla, Fjällveden, Finnsjön, Svartboberget, Gideå, Kamlunge och Taavinunnanen samt Kivetty, Olkiluoto, Romuvaara och Hästholmen. Dessa områden benämns fortsättningsvis referensområden.

För sju av områdena (Äspö, Finnsjön, Gideå, Kivetty, Olkiluoto, Romuvaara och Hästholmen) har säkerhetsanalyser utförts. Analyserna visar i samtliga fall att områdena har förutsättningar att uppfylla kraven för ett långsiktigt säkert slutförvar.

5 Säkerhetsbedömningar och säkerhetsanalyser

Säkerhetsbedömningar och säkerhetsanalyser har utförts för flera av referensområdena. I samband med KBS-3-utredningen gjordes de första säkerhetsbedömningarna baserade på verkliga platsdata. I SKB 91 redovisades en första större säkerhetsanalys som sedan följdes av den omfattande analysen i SR 97. I början av 90-talet utförde SKI en säkerhetsanalys, SITE 94, som ett led i myndighetens egen kunskaps- och kompetensuppbyggnad. I Finland har såväl Posiva som säkerhetsmyndigheten genomfört flera säkerhetsanalyser.

Man kan inte utan vidare jämföra innehåll i och resultat från de olika analyserna. Metoder, beräkningsmodeller och datorkapacitet för att utföra säkerhetsanalyser har utvecklats väsentligt genom åren. Vidare har forskning och utveckling – inte minst vid Åspölaboratoriet – bidragit till att underlaget för säkerhetsanalyserna idag är både mer omfattande och säkrare. Den viktigaste uppgiften för de tidiga säkerhetsanalyserna var att identifiera vilka förhållanden som var särskilt viktiga med hänsyn till den långsiktiga säkerheten. De gav också underlag till att bedöma vilka forskningsinsatser som var särskilt angelägna.

Resultaten från säkerhetsanalyserna – särskilt SR 97 – var ett av de viktigaste underlagen när SKB identifierade och formulerade krav och önskemål inför platsundersökningarna /5-1/.

5.1 KBS-3

Resultatet av KBS-3-utredningen /5-2/ utgjorde en grund för ansökningarna om att ta kärnkraftreaktorerna Forsmark 3 och Oskarshamn 3 i drift. Efter en omfattande granskningsprocess fann regeringen att *metoden i sin helhet i allt väsentligt befunnits kunna godtas med hänsyn till säkerhet och strålskydd* och godkände laddningsansökan för de två reaktorerna i juni 1984.

Den antagna utformningen av förvaret liknade dagens planer. En skillnad var att kapselns inre i den utredningen antogs vara fylld med bly istället för att, som planeras idag, förses med en insats av gjutjärn. Berggrundsdata från typområdena Fjällveden, Gideå och Kamlunge användes.

Utgående från ett troligt händelseförlopp analyserades följderna av bland annat initiala kapsel-skador, transport av radionuklider med kolloider, konsekvenserna av jordskalv och mänskliga intrång. Konsekvensen av utsläpp till bland annat brunn, insjö och torvmosse analyserades.

Slutsatserna av säkerhetsanalysen var i korthet att kopparkapseln bedömdes förbli tät och buffertfunktionen intakt i åtminstone en miljon år. Om kapslar skulle skadas eller redan initialt ha skador blir konsekvenserna för människor i förvarets närhet betydligt lägre än de gränsvärden (liknande dagens) som angavs av strålskydds- och säkerhetsmyndigheter.

5.2 SKB 91

SKB 91 /5-3/ skiljer sig från KBS-3-utredningen i flera avseenden. Kunskapsunderlaget hade utökats, vilket gjorde det möjligt att ta hänsyn till förhållanden som tidigare behandlats på ett förenklat sätt. Utökad beräkningskapacitet i datorerna och nya modeller gjorde det möjligt att ta hänsyn till variabiliteten i bergets vattengenomsläplighet och till en platsanpassad förvarsgeometri.

I säkerhetsanalysen SKB 91 användes Finnsjöområdet som exempelplats. Det fanns sedan tidigare ett omfattande dataunderlag från området, vilket var en huvudanledning till valet att använda data om topografi, geologi och övriga platsspecifika karaktäristika från just detta område. SKB 91 behandlar förvarets säkerhet under förvarsskedet, det vill säga tiden efter att

förvaret har förslutits. Slutsatsen i SKB 91 är att *ett förvar anlagt djupt ner i svenskt urberg och med långtidsstabila tekniska barriärer med god marginal uppfyller av myndigheterna uppställda säkerhetskrav*. SKB 91 granskades av myndigheterna med flera i samband med granskningen av Fud-program 92. SKI med flera framhöll att kommande säkerhetsanalyser måste vara mer omfattande i olika avseenden.

5.3 SR 95

Huvudsyftet med SR 95 /5-4/ var inte att genomföra en ”riktig” säkerhetsanalys utan att ta fram en mall för hur analyser av den långsiktiga säkerheten bör genomföras och redovisas. Förutom själva mallen innehöll SR 95 en illustrerande sammanställning av då tillgängliga metoder och numeriska verktyg för att genomföra analyser av den långsiktiga säkerheten, tillämpning av scenariemetodik samt hantering av osäkerheter. Strukturen för redovisningen i form av den mall som presenterades i SR 95 vidareutvecklades sedan i SR 97.

5.4 SR 97

Säkerhetsanalysen SR 97 /5-5/, som SKB redovisade i december 1999, hade begärts av regeringen. SR 97 var föremål för en omfattande granskning, både internationellt och nationellt. Den internationella granskningsgruppens huvudslutsats var: *Slutförvarsmetoden KBS-3 har de grundläggande elementen i en sund princip för deponering av använt kärnbränsle i ett geologiskt slutförvar. Metoden erbjuder djupförvar i form av en uppsättning passiva barriärer med multipla säkerhetsfunktioner. Metoden bygger på väletablerad vetenskap och har en god teknisk grund. Metoden är väldefinierad och förefaller genomförbar. SR 97 ger en utmärkt illustration av KBS-3-metodens potentiella säkerhet och tar hänsyn till förhållandena i svensk berggrund, utgående från data från tre platser. Dokumentationen är generellt sett välskriven och argumenten är väl presenterade, men det finns utrymme för förbättringar sett till fullständigheten i motiveringarna, spårbarheten och transparensen /5-6/.*

SR 97 hade fyra konkreta syften, baserade på vad som begärts av SKI:

1. ge underlag för att påvisa möjligheten att finna en plats i svensk berggrund där KBS-3-metoden för djupförvaring av använt kärnbränsle uppfyller de krav på långsiktig säkerhet och strålskydd som anges i SSI:s och SKI:s föreskrifter,
2. demonstrera metodik för säkerhetsanalys,
3. ge underlag för att precisera de faktorer som ligger till grund för val av områden för platsundersökningar och för att härleda vilka parametrar som behöver bestämmas och vilka övriga krav som bör ställas på en platsundersökning,
4. ge underlag för att härleda preliminära funktionskrav på kapseln och de övriga barriärerna.

I SR 97 analyserades fiktiva förvar med verkliga berggrundsdata från tre olika platser, Äspö (i SR 97 benämnt Aberg), Finnsjön (Beberg) och Gideå (Ceberg).

Avsikten med SR 97 var att använda data från de tre platserna för att belysa olika förhållanden i svensk granitisk berggrund vad gäller geologi, grundvattenomsättning, vattenkemi, närhet till kust, nordlig eller sydlig förläggning, omgivande biosfär etc.

Säkerhetsanalysens slutsats är att *ett säkert djupförvar för använt kärnbränsle enligt KBS-3-metoden kan byggas på en plats där förhållandena liknar dem vid såväl Aberg, Beberg som Ceberg. Säkerhetsmarginalerna beräknas bli stora vid samtliga platser. SR 97 har inte givit underlag för att tillmäta skillnader i den långsiktiga säkerheten mellan de tre platserna någon avgörande betydelse vid en tänkt sammanvägning av alla de faktorer som påverkar*

lokaliseringen av ett djupförvar. Dessa rör t ex teknik, ekonomi, användning av mark, ingrepp i miljö och konsekvenser för samhället /5-5/.

Både KBS-3-utredningens säkerhetsbedömning och säkerhetsanalysen i SR 97 bygger på beskrivningar av ett initialt tillstånd för slutförvar och plats och hanterar därefter olika scenarier, missöden och extrema händelser som skulle kunna ske, för att avsluta med en utvärdering och bedömning av hela materialet. I SR 97 analyseras slutförvaret ur ett systemperspektiv, där systembeskrivningen, val och analys av scenarier och utvärderingsmetodikerna är betydligt mer utvecklade än i KBS-3-utredningen. Därtill kommer det ökade kunskapsunderlaget och den kraftigt förbättrade datortekniken under den tid som gick mellan KBS-3-utredningen och SR 97.

Metodikerna som tillämpades i SR 97 var att först beskriva förvarets egenskaper då det just förslutits och därefter analysera systemets förändring i tiden till följd av dels inre processer i förvaret, dels yttre påverkan. Förvarssystemets framtida utveckling analyserades som fem scenarier. Det första var ett basscenario där förvaret tänktes vara byggt helt enligt specifikationer och där dagens förhållanden i omgivning, bland annat klimatet, tänktes bestå. I de fyra övriga scenarierna visades hur utvecklingen skiljer sig från den i basscenarioet om förvaret innehåller ett fåtal initialt defekta kapslar, vid klimatförändringar, vid jordskalv och vid framtida oavsiktliga mänskliga intrång. I alla scenarier beaktades olika relevanta processer – termiska, hydrauliska, kemiska, mekaniska och strålningsrelaterade. Syftet med analyserna var ytterst att utreda förvarets förmåga att dels isolera avfallet med hjälp av kapslarna, dels fördröja ett eventuellt utsläpp av radionuklider om kapslar skulle skadas. Tidsperspektivet för analyserna var (i enlighet med myndigheternas föreskrifter) som längst en miljon år.

De skillnader mellan platserna som redovisas i SR 97 handlar om:

- **Geografiskt läge** – som bland annat påverkar istäckets mäktighet vid en glaciation. Det tjockaste istäcket förväntas vid Ceberg, där isen också ligger kvar längst. Detta gör att de mekaniska påfrestningarna på kapseln, både till följd av ökat grundvattentryck och mekanisk belastning på berggrunden blir störst vid Ceberg och minst vid Aberg.
- **Risk för jordskalv** – sannolikheten för att jordskalv ska orsaka kapselskador är liten och likvärdig vid de tre platserna. Skillnader mellan platserna orsakas av skillnader i den lokala sprickstrukturen i kombination med den valda förvarsinläggningen samt av skillnader i regional jordskalvsstatistik. Skalvsstatistiken utgör en av de största osäkerheterna i analysen av jordskalv.
- **Hydraulisk genomsläpplighet i bergmassan** – som bland annat påverkar spridningen av radionuklider i det fall att ett antal kapslar skulle vara defekta; bergmassan i Aberg och Beberg är cirka 100 gånger mer genomsläpplig än den i Ceberg (med reservation för att också undersökningsmetodikerna skiljde sig mellan platserna).
- **Termiska förhållanden** – skiljer något mellan platserna vad gäller temperatur på förvarsdjup och värmeledningsförmåga i berget. De platsspecifika termiska förhållandena bestämmer tillsammans med sprickstrukturen hur stor del av förvarsberget som måste tas i anspråk för att hysa en given mängd bränsle. Det styrande kriteriet är att temperaturen på kopparkapselns yta inte får överstiga 100 °C. Vid Aberg har de termiska förhållandena i kombination med ett relativt begränsat undersökningsområde lett till att en förvarsutformning i två plan föreslagits, medan enplansförvar föreslås i Beberg och Ceberg. Skillnaderna i termiska förhållanden har i första hand ekonomisk betydelse eftersom det termiska kriteriet alltid kan uppfyllas om en tillräcklig bergvolym tas i anspråk /5-5/.

SR 97 utgjorde ett viktigt underlag för att formulera och kvantifiera krav och önskemål som slutförvaret ställer på berget utifrån bland annat perspektivet långsiktig säkerhet /5-1/. Erfarenheter från SR 97 användes i arbetet med att formulera ett samlat program för platsundersökning och utvärdering av platser /5-7 (kap 7.2.8)/.

5.5 SKI:s säkerhetsanalyser

SKI har genomfört två säkerhetsanalyser med det huvudsakliga syftet att bygga upp den egna kompetensen för att granska SKB:s säkerhetsanalyser. År 1991 publicerade SKI säkerhetsanalysen Projekt-90 /5-8/ och 1997 presenterades resultaten av den mer omfattande SITE-94 /5-9/.

Vid avslutningen av Projekt-90 konstaterade SKI att de tidigare slutsatserna som dragits av regeringen (efter genomgången av KBS-3) att säker slutförvaring av använt kärnbränsle i Sverige skulle vara genomförbar, fortfarande var att betrakta som korrekta.

I SITE-94 användes berggrundsdata från ytbaserade undersökningar inför byggandet av Äspö-laboratoriet. Resultaten av utsläppsberäkningarna i SITE-94 är jämförbara med motsvarande beräkningar i SKB:s säkerhetsanalyser. I SITE-94 gör SKI bland annat följande kommentar: *Det arbete som genomförts inom ramen för SITE-94 har inte identifierat någonting som förändrar den generella slutsatsen efter Project-90. SKI anser fortfarande att KBS-3 metoden är ett realistiskt huvudalternativ för SKB:s fortsatta forsknings- och utvecklingsarbete".* SKI konstaterar vidare att *"flera viktiga osäkerheter fortfarande behöver behandlas, såväl med avseende på de tekniska barriärernas långsiktiga funktion som med avseende på geosfärens utveckling. Återkommande säkerhetsanalyser kommer att spela en viktig roll för att styra och integrera framtida forskningsarbete och teknisk utveckling. Det slutliga provet kommer att bestå i att anpassa den valda metoden till plats-specifika egenskaper och att utveckla en säkerhetsanalys för den valda platsen.*

5.6 Finska säkerhetsanalyser

Också i Finland är KBS-3-metoden huvudalternativ för slutförvaring av använt kärnbränsle. Ett antal säkerhetsanalyser har därför genomförts av Posiva för ett slutförvar enligt KBS-3-metoden. Den senaste redovisas i säkerhetsanalysrapporten TILA-99 /5-10/. Säkerhetsanalysen i TILA-99 grundar sig på samma principer som den 1992 publicerade säkerhetsanalysen TVO-92 /5-11/ och den 1996 publicerade TILA-96 /5-12/.

I TILA-99 utgör förvarskonceptet, precis som i SR 97, förvaring i kopparkapslar i ett slutförvar av KBS-3-typ på cirka 500 meters djup i kristallint berg. I TILA-99 studeras också konsekvenserna av flera, mer eller mindre sannolika förhållanden i kapsel, bentonit, berg och biosfärlägen som inverkan av klimatförändringar. Fyra alternativa platser i Finland studerades – Olkiluoto, Kivetty, Romuvaara och Hästholmen.

I TILA-99 dras slutsatsen att alla fyra kandidatplatser med marginal uppfyller regeringens och myndigheternas kriterier för säker slutförvaring av använt kärnbränsle. Trots skillnaderna i geologisk miljö uppvisar säkerhetsanalysen stora likheter för de fyra platserna. En annan slutsats har därför varit att det inte går att rangordna platserna ur aspekten långsiktig säkerhet.

STUK (den finska strålskydds- och kärnsäkerhetsmyndigheten) har förutom sin egen granskning också låtit genomföra en internationell granskning av säkerhetsanalysen och dess vetenskapliga och tekniska bakgrundsmaterial. Den internationella granskningen presenterades under hösten 1999. Slutsatsen var att säkerhetsanalysen i sina huvuddrag kan betraktas som korrekt /5-13, 5-7 (sid 242)/.

I TILA-99 diskuteras ett antal plats-specifika förhållanden och skillnader som underlag för det, vid tidpunkten då TILA-99 presenterades, förestående platsvalet.

- På grund av skillnader i salthalt och den pågående landhöjningen är det svårare att förutsäga den framtida utvecklingen för kustlägen jämfört med inlandslägen. Landhöjningen förväntas medföra att även Olkiluoto och Hästholmen kommer att vara inlandslägen om ett antal tusen år.

- Utsläpp direkt till havet skulle sannolikt medföra betydligt lägre stråldos till omgivningen jämfört med utsläpp till landmiljön. Men, anför TILA-99, dagens biosärsförhållanden bör inte vara en avgörande faktor vid val av plats.
- Grundvattenströmningen är generellt sett mindre i Romuvaara än i Kivetty. Detta beror på att topografin vid Romuvaara är mindre kuperad jämfört med Kivetty. Topografin kring Olkiluoto är flackare än vid Hästholmen.
- De försvarslayouter som tagits fram för Hästholmen och Romuvaara korsas av deformationszoner med betydande transmissivitet, och är mindre gynnsamma än de layoutförslag som tagits fram för Kivetty och Olikiluoto, som inte berörs av zoner.
- På grund av höga salthalter bör ett förvar vid Olkiluoto inte förläggas djupare än cirka 700 meter och vid Hästholmen inte djupare än cirka 800 meter.
- Deformationszoner, bergspänningar och andra bergtekniska förhållanden innebär restriktioner för försvarslayout, byggande och drift av förvaret. TILA-99 ger följande exempel på faktorer som måste beaktas:
 - en svärm av deformationszoner delar försvarsområdet vid Kivetty i två delar,
 - vid Olkiluoto och Hästholmen begränsas det för förvaret lämpliga området av svagt lutande deformationszoner på försvarsdjup,
 - det för ett förvar tillgängliga utrymmet är mindre vid Hästholmen än vid övriga platser, särskilt om man undantar den del av området som ligger under dagens havsyta,
 - höga bergspänningar förekommer inom delar av försvarsplatserna vid Romuvaara, Olikiluoto och Hästholmen, vilket kan ställa särskilda krav (injektering, bergförstärkning, sprutbetong) vid bygge och drift av ett förvar.

6 Krav och önskemål för utvärdering av referensområden

Inför platsundersökningsskedet utarbetade SKB vägledande krav och önskemål som ställs på berget på platsen för slutförvaret. Syftet var i första hand att få ett verktyg, baserat på mätbara parametrar, för utvärderingar i tidiga skeden av undersökningarna. Kraven och önskemålen redovisades i rapporten ”Vilka krav ställer djupförvaret på berget? Geovetenskapliga lämplighetsindikatorer och kriterier för lokalisering och platsutvärdering” /6-1/. Rapporten ingick i underlaget till Fud-K och har därmed granskats av en rad remissinstanser, bland andra SKI och SSI. I sitt yttrande till regeringen var SKI i huvudsak positiv till rapporten och till de lämplighetsindikatorer och kriterier för lokalisering och platsutvärdering som SKB redovisade i rapporten /6-2/.

I utvärderingen av referensområdena har krav och önskemål enligt /6-1/, med de modifieringar som beskrivs i detta kapitel, tillämpats på data från de i kapitel 4 redovisade referensområdena. Syftet med detta har varit att:

- Belysa i vilka avseenden – och i vilken grad – tillgänglig information från referensområdena ger underlag för utvärderingar mot gällande krav och önskemål.
- I möjlig mån få en uppfattning om referensområdenas meriter med avseende på lämpligheten för ett slutförvar.
- Därmed klargöra om och hur referensområdena kan nyttjas som jämförelseobjekt när de två kandidatplatserna för slutförvaret ska utvärderas.

6.1 Krav och önskemål

Krav och önskemål definieras enligt /6-1/ som följer:

- Krav är absoluta villkor som måste uppfyllas. De avser verkliga förhållanden och om ett krav inte kan uppfyllas för en plats, så innebär det också att platsen bedöms som olämplig.
- Önskemål avser förhållanden som bör, men inte måste, vara uppfyllda. Många önskemål kan formuleras och att uppfylla alla är inte realistiskt. Slutförvaret kan mycket väl visa sig vara säkert även om flera önskemål inte är uppfyllda. Ett uppfyllt önskemål kan ge fördelar i form av exempelvis större säkerhetsmarginaler, förenklad förvarskonstruktion, eller lägre kostnader.

De krav och önskemål som redovisas i /6-1/ gäller ett förvar för använt kärnbränsle av typ KBS-3. Kriterierna avser i första hand faktorer med bäring på den långsiktiga säkerheten. /6-1/ och de kriterier som redovisas i rapporten baseras på den kunskap och erfarenhet som kommit fram under SKB:s mångåriga forsknings- och utvecklingsarbete. Speciellt utnyttjades de kunskaper som hade kommit fram i säkerhetsanalysen SR 97. I /6-1/ betonas att kraven och önskemålen är vägledande, i första hand för prioritering av undersökningsinsatser, och att de inte kan ersätta samlade och fullständiga säkerhetsanalyser.

Då det gäller grundläggande bergbyggnadstekniska aspekter, som vatteninläckage och bergstabilitet i tunnlar, konstateras i /6-1/ att *förhållanden som är fördelaktiga ur säkerhets-synpunkt i regel också innebär god byggbarhet och säker arbetsmiljö. En god byggbarhet och en stabil berganläggning är vidare fördelaktigt för säkerheten under anläggningens drift. Det finns därför sällan någon konflikt mellan de krav och önskemål som kan framställas ur olika utgångspunkter.*

6.2 Krav och önskemål för värdering av referensområden

För att bedöma informationen från de valda referensområdena har, så långt det varit möjligt, krav och önskemål enligt /6-1/ använts. I vissa fall har det varit nödvändigt att formulera om ett önskemål för att det ska vara möjligt att tillämpa för referensområdena. I något fall har två önskemål ”slagits ihop”. Den anpassning av kriterierna i /6-1/ som varit nödvändig kommenteras nedan. I ett fall har ny kunskap motiverat SKB att ändra ett önskemål: enligt /6-1/ ”bör **ostört grundvatten på försvarsnivå** ha ett visst innehåll av kalcium och magnesium $[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}] > 4 \text{ mg/l}$ ”. Enligt /6-3/ gäller nu $[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}] > 40 \text{ mg/l}^4$.

Resultaten från undersökningar av referensområdena har således värderats utifrån följande krav och önskemål.

6.2.1 Krav

Krav enligt /6-1 (sid 6)/	Kommentar
Geologi	
Bergarterna inom förvarets deponeringsområde får inte ha malmpotential dvs utgöras av så värdefulla mineral att det skulle kunna motivera brytning på hundratals meters djup.	Kravet enligt /6-1/ gäller oförändrat vid bedömning av resultat för referensområdena.
Regionala plastiska skjvzoner ska undvikas om det inte kan visas att zonens egenskaper inte avviker från berget i övrigt. I närheten av regionala plastiska skjvzoner kan det dock finnas s k tektoniska linser, där berggrunden är homogen och relativt opåverkad.	Kravet enligt /6-1/ gäller oförändrat vid bedömning av resultat för referensområdena. I bilaga 3 redovisas aktuella och tidigare använda definitioner av samlingstermen deformationszon inklusive olika typer av deformationszoner.
Det måste vara möjligt att inplacera förvaret med hänsyn till sprickzonerna på platsen. Deponeringstunnlar och deponeringshål för kapslar får inte passera genom eller placeras för nära regionala och lokala större sprickzoner. Deponeringshål får inte korsa identifierade lokala mindre sprickzoner.	Kravet enligt /6-1/ gäller oförändrat vid bedömning av resultat för referensområdena.
Bergmekanik	
Bergets hållfasthet, sprickgeometri och initiala bergspänningar får inte vara sådana att det uppstår omfattande stabilitetsproblem kring tunnlar eller deponeringshål inom deponeringsområdet Detta kontrolleras genom en mekanisk analys där ingångsvärdena utgörs av tunnlarnas geometri, det intakta bergets hållfasthet och deformationsegenskaper, spricksystemets geometri och de initiala bergspänningarna.	Kravet enligt /6-1/ gäller oförändrat vid bedömning av resultat för referensområdena.
Hydrogeokemi	
Grundvattnet på försvarsnivå får inte innehålla löst syre. Frånvaro av löst syre indikeras av negativa Eh, förekomst av Fe(II) eller förekomst av sulfid.	Kravet enligt /6-1/ gäller oförändrat vid bedömning av resultat för referensområdena.
Den totala salthalten (TDS) i grundvattnet måste understiga 100 g/l på försvarsnivå.	Kravet enligt /6-1/ gäller oförändrat vid bedömning av resultat för referensområdena.

⁴ I /6-3/ anges att den totala koncentrationen av tvåvärdiga katjoner måste vara större än 1 mM, dvs omkring 40 mg/L, för att kemisk erosion av buffert och återfyllning ska förhindras. Detta är ett strängare villkor än det som anges i /6-1/. I SR-Can har två olika återfyllningsmaterial utvärderats och hur de skulle kunna påverkas vid olika salthalt i grundvattnet /6-4/. I SR-Site /6-5/ redovisas en reviderad, och mer generell, formulering av detta önskemål.

6.2.2 Önskemål

Önskemål enligt /6-1(sid 7–8)/	Kommentar
Geologi <p>Eftersom det kan vara svårt att förutspå vilken användning olika bergarter kan ha i framtiden är det önskvärt att ett slutförvar lokaliserar till vanligt förekommande bergarter.</p> <p>Det är önskvärt med måttlig densitet (sprickyta per volym) av lokala mindre sprickzoner och med måttlig densitet av sprickor.</p> <p>Det är önskvärt att berggrunden är homogen med få bergarter och med regelbunden uppsprickning. En småskalig variation i mineralsammansättning, exempelvis en gnejs, är dock ingen nackdel.</p>	<p>Önskemålet enligt /6-1/ gäller oförändrat vid bedömning av resultat för referensområdena.</p> <p>Önskemålet enligt /6-1/ gäller oförändrat vid bedömning av resultat för referensområdena.</p> <p>Normal sprickfrekvens i de kristallina bergarterna i Sveriges berggrund brukar erfarenhetsmässigt anges till 1–4 sprickor per längdmeter mätt på håll eller i borrhälskärna. Vanligen avses ”öppna sprickor” i det intakta berget mellan deformationszonerna.</p> <p>Önskemålet är något omformulerat i förhållande till /6-1/:</p> <p>Litologiskt komplex, inhomogen berggrund bör undvikas. Litologiskt komplex är en berggrund som byggs upp av flera olika bergartstyper med olika egenskaper till exempel ur mekanisk och termisk synpunkt. Med ökad komplexitet försvåras beräkningar och prognoser av bergmassans förhållanden.</p>
Bergmekanik <p>Det är generellt en fördel om de initiala bergspänningarna på tänkt förläggningsdjup inte avviker från vad som är normalt i svensk kristallin berggrund.</p> <p>Det är önskvärt med för svensk berggrund normala hållfasthets- och deformationsegenskaper hos det intakta berget eftersom det erfarenhetsmässigt har visat sig vara möjligt att utföra bergarbeten med goda resultat i sådan berggrund.</p>	<p>Önskemålet enligt /6-1/ gäller oförändrat vid bedömning av resultat för referensområdena.</p> <p>Önskemålet enligt /6-1/ gäller oförändrat vid bedömning av resultat för referensområdena.</p>
Termiska egenskaper <p>Det är önskvärt att temperaturutvidgningskoefficienten har normala värden för svensk berggrund (dvs inom intervallet 10^{-6} till 10^{-5} K⁻¹) och att den inte skiljer sig markant mellan de bergarter som finns i förvarsområdet.</p> <p>Berget bör ha högre värmeledningsförmåga än 2,5 W/(m·K).</p> <p>Områden med stor potential för geotermisk energiutvinning bör undvikas.</p> <p>Den ostörda temperaturen på förvarsdjup bör understiga 25 °C</p>	<p>Önskemålet enligt /6-1/ gäller oförändrat vid bedömning av resultat för referensområdena.</p> <p>Önskemålet enligt /6-1/ gäller oförändrat vid bedömning av resultat för referensområdena.</p> <p>Önskemålet enligt /6-1/ gäller oförändrat vid bedömning av resultat för referensområdena.</p>
Hydrogeologi <p>Det är en fördel om en stor del av bergmassan i deponeringsområdet har en vattengenomsläpplighet (K) som är mindre än 10^{-8} m/s.</p> <p>Sprickzoner som behöver passeras under bygge bör ha så låg vattengenomsläpplighet att passage kan ske utan stora problem vilket innebär att zoner bör ha en transmissivitet (T) som är lägre än 10^{-5} m²/s och att de dessutom inte är byggnadstekniskt besvärliga.</p> <p>Det är en fördel om den lokala hydrauliska gradienten är lägre än 1 % på förvarsnivå, men det är ingen ytterligare fördel med ännu lägre värden</p>	<p>Önskemålet enligt /6-1/ gäller i princip oförändrat vid bedömning av resultat för referensområdena. Se kommentar i bilaga 2.</p> <p>Önskemålet enligt /6-1/ gäller i princip oförändrat vid bedömning av resultat för referensområdena. Se kommentar i bilaga 2.</p> <p>Önskemålet enligt /6-1/ gäller i princip oförändrat vid bedömning av resultat för referensområdena. Se kommentar i bilaga 2.</p>

Önskemål enligt /6-1(sid 7–8)/	Kommentar
<p>Hydrogeokemi</p> <p>Ostört grundvatten på förvarsnivå bör ha ett pH i intervallet 6–10, ha en låg halt av organiska ämnen ([DOC] < 20 mg/l), låg kolloidhalt (lägre än 0,5 mg/l), låga ammoniumhalter, visst innehåll av kalcium och magnesium ($[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}] > 4$ mg/l) och låga halter av radon och radium.</p>	<p>Enligt /6-1/ bör ostört grundvatten på förvarsnivå ha ett visst innehåll av kalcium och magnesium $[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}] > 4$ mg/l. Enligt /6-3/ gäller nu $[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}] > 40$ mg/l.</p> <p>I övrigt gäller önskemålet enligt /6-1/ oförändrat vid bedömning av resultat för referensområdena</p>
<p>Bergets transportegenskaper</p> <p>Det är önskvärt att det i en stor del av berget går att finna kapselpositioner som i kapselhålsskala har lägre darcyhastighet än 0,01 m/år eftersom lägre flöden innebär att fördröjningen av viktiga nuklider ökar.</p> <p>Det är ett önskemål att det sker en väsentlig fördröjning av viktiga radionuklider i geosfären. Ett kvantitativt önskemål kan uttryckas i form av transportmotståndet (F-parametern) där darcyhastighet, flödesfördelning och våta ytan per volym berg (eller motsvarande parametrar) är sådana att en stor del av alla strömningsvägar har F större än 10^4 år/m.</p> <p>Det är lämpligt att matrisdiffusivitet och matrisporositet inte är mycket lägre (en faktor 100 eller mer) än de värdeområden som analyserats inom säkerhetsanalysen SR 97. Det maximalt tillgängliga diffusionsdjupet bör åtminstone överstiga någon centimeter.</p>	<p>Parametern har inte bedömts då den vanligtvis har samma innebörd som uppställda önskemål angående bergmassans vattenomsläpplighet, se kommentar i bilaga 2.</p> <p>Önskemålet enligt /6-1/ gäller i princip oförändrat vid bedömning av resultat för referensområdena. Se kommentar i bilaga 2.</p> <p>Önskemålet har omformats till att gälla formationsfaktorn och fått följande formulering: Utgående från skrivningar i SR 97 så bör formationsfaktorn inte vara lägre än cirka 5×10^{-7}, se bilaga 2.</p>

7 Sammanfattande bedömning

I kapitel 3 finns en kort beskrivning av alla undersökta områden. I kapitel 4 redovisas valet av referensområden. I bilaga 1 presenteras referensområdena mer utförligt. Bland annat redovisas utförda undersökningar, undersökningens resultat samt resultat efter de bearbetningar av data som genomförts som en del av denna utredning.

I detta kapitel sammanfattas bedömningar av undersökningens resultat från referensområdena. Bedömningarna baseras helt på de krav och önskemål som redovisas i kapitel 6 och mer fullständigt i /7-1/. I första hand värderas platspecifik information om de parametrar som angivna krav och önskemål avser. I de fall när data för en parameter saknas har detta noterats och vi har i de flesta fall avstått från att göra en bedömning. För vissa parametrar är det dock möjligt att göra värderingar utifrån enbart generell bakgrundskunskap, det vill säga utan tillgång till direkta platspecifika mätningar av parametern ifråga. Exempelvis saknas ofta hydrogeokemiska data från de äldre undersökningarna, men man kan ändå påstå att kraven sannolikt är uppfyllda och att önskemålen troligen också är det. Ett annat exempel är bergets värmeledningsförmåga, som kan skattas ganska väl med ledning av kunskap om förekommande bergarter. Om en bedömning grundas på generell kunskap så framgår det av kommentaren i anslutning till bedömningen.

För vissa parametrar avseende hydrogeologi och bergets transportegenskaper har det varit nödvändigt att gå tillbaka till grunddata för att få fram parametervärden som möjliggjort utvärdering mot krav och önskemål enligt kapitel 6. Tillvägagångssättet med bearbetning och nya beräkningar redovisas i bilaga 2.

7.1 Svenska områden

7.1.1 Sternö

Undersökningarna med kärnborrning är omfattande inom ett begränsat område men otillräckliga speciellt vad gäller geofysik i den regionala omgivningen. Den strukturgeologiska modellens begränsade omfattning innebär en osäkerhet.

Kvaliteten på utförda geologiska och hydrogeologiska undersökningar bedöms vara god. Den hydrogeologiska mätutrustningen som använts vid mätningarna har motsvarande mätområden som de som användes under platsundersökningarna i Forsmark och Oskarshamn. Däremot torde kvaliteten på utvärderade parametrar vara något sämre, se bilaga 5, avsnittet 3.3.4 "Mätområden och mätnoggrannhet vid bestämningar av hydraulisk konduktivitet och transmissivitet".

Vidare är möjligheterna att göra bedömningar begränsade främst beroende på det undersökta områdets ringa storlek samt att det inte finns några undersökningar från den del av området som ligger under havet. Ur hydrogeologisk synpunkt är antalet borrhål för få för att erhålla en detaljerad bild av hela förvarsvolymen.

I KBS-1-rapporten redovisas en bedömning av säkerheten för slutförvaring av högaktivt förglasat avfall⁵ vid Sternö, Finnsjön och Kråkemåla. I sammanfattning bedömdes alla tre områdena ha grundläggande förutsättningar för ett säkert bergförvar för högaktivt avfall. Sternö, med blekinge kustgnejs, bedömdes från geologisk synpunkt vara mest attraktivt för ett slutförvar. Bedömningen av Sternö, och övriga områden, baserades på relativt begränsade undersökningar. Vid Sternö hade då endast ett kärnborrhål borrats men bedömningen grundades också på studier och erfarenheter från det stora oljeburgrum som ligger i anslutning till oljekraftverket i Karlshamn /7-2/.

⁵ Fram till slutet av 1970-talet var inriktningen att det använda kärnbränslet först skulle upparbetas och att det högaktiva avfallet från upparbetningen skulle förglasas innan det slutförvarades. Ganska snart övergavs planerna på upparbetning med slutförvaring av förglasat avfall till förmån för direktdeponering av använt kärnbränsle.

Efter krav från regeringen inför laddningsansökan för Ringhals 3 och Forsmark 1 utförde KBS-projektet kompletterande undersökningar vid Sternö och Finnsjön. Vid Sternö borrades fyra nya kärnborrhål. Det tidigare kärnborrhålet fördjupades. Undersökningarna bekräftade den bild som redovisats i KBS-1-rapporten. Mätresultaten visade på ett enkelt och tydligt sätt att säkerhetsanalysens förutsättningar var väl uppfyllda inom ett tillräckligt stort område /7-3/.

Tabell 7-1. Bedömning av Sternö utifrån krav och önskemål.

Krav	Bedömning
Bergarterna inom förvarets deponeringsområde får inte ha malmpotential .	Någon särskilt studie har inte utförts men utifrån vad som är känt om den omgivande berggrunden bedöms kravet vara uppfyllt.
Regionala plastiska skjuvzoner ska undvikas.	Kravet är uppfyllt.
Det måste vara möjligt att inplacera förvaret med hänsyn till sprickzonerna på platsen.	Med reservation för det undersökta områdets ringa storlek bedöms kravet kunna uppfyllas.
Bergets hållfasthet, sprickgeometri och initiala bergspänningar får inte vara sådana att det uppstår omfattande stabilitetsproblem kring tunnlar eller deponeringshål inom deponeringsområdet	Underlag i form av stabilitetsanalyser och data för bergspänningar saknas. Övriga parametrar indikerar att kravet kan uppfyllas.
Grundvattnet på förvarsnivå får inte innehålla löst syre .	Utifrån tillgängliga kemidata från platsen går det inte att bedöma om kravet är uppfyllt. Men dagens kunskap om grundvattenkemin på stort djup i kristallint berg talar ändå för att det råder reducerande förhållanden på förvarsdjup, se bilaga 1 och 4.
Den totala salthalten (TDS) i grundvattnet måste understiga 100 g/l på förvarsnivå.	Kravet är uppfyllt.
Önskemål	Bedömning
Önskvärt att ett slutförvar lokaliseras till vanligt förekommande bergarter .	Någon särskilt studie har inte utförts men utifrån vad som är känt om den omgivande berggrunden bedöms önskemålet vara uppfyllt.
Det är önskvärt med måttlig densitet (sprickyta per volym) av lokala sprickor och av mindre sprickzoner .	Önskemålet är uppfyllt.
Litologiskt komplex, inhomogen berggrund bör undvikas.	Önskemålet är uppfyllt.
Det är generellt en fördel om de initiala bergspänningarna på tänkt förläggningsdjup inte avviker från vad som är normalt i svensk kristallin berggrund.	Bedömningsunderlag saknas.
Det är önskvärt med för svensk berggrund normala hållfasthets- och deformationsegenskaper hos det intakta berget.	Önskemålet är uppfyllt, med reservation för att dataunderlaget är mycket begränsat.
Det är önskvärt att temperaturutvidgningskoefficienten har normala värden.	Data från platsen saknas. Med ledning av litologiska förhållanden bedöms önskemålet vara uppfyllt.
Berget bör ha högre värmeledningsförmåga än 2,5 W/(m·K). Områden med stor potential för geotermisk energiutvinning bör undvikas. Den ostörda temperaturen på förvarsdjup bör understiga 25 °C.	Data för värmeledningsförmåga saknas, men med ledning av litologiska förhållanden bedöms önskemålet sannolikt vara uppfyllt. Övriga önskemål uppfyllda.
Det är en fördel om en stor del av bergmassan i deponeringsområdet har en vattengenomsläpplighet (K) som är mindre än 10 ⁻⁸ m/s.	Önskemålet är uppfyllt.
Sprickzoner som behöver passeras under bygge bör ha så låg vattengenomsläpplighet att passage kan ske utan stora problem vilket innebär att zoner bör ha en transmissivitet (T) som är lägre än 10 ⁻⁵ m ² /s och att de dessutom inte är byggnadstekniskt besvärliga.	Önskemålet är uppfyllt.

Det är en fördel om **den lokala hydrauliska gradienten** är lägre än 1 % på förvarsnivå, men det är ingen ytterligare fördel med ännu lägre värden

Önskemålet är uppfyllt.

Ostört grundvatten på förvarsnivå bör ha ett **pH** i intervallet 6–10, ha en låg halt av **organiska ämnen** ([DOC] < 20 mg/l), låg **kolloidhalt** (lägre än 0,5 mg/l), låga **ammoniumhalter**, visst innehåll av **kalций och magnesium** ([Ca²⁺]+[Mg²⁺] > 40 mg/l) och låga halter av **radon och radium**.

Utifrån dagens kunskap om grundvattenkemin på stort djup i kristallint berg är det rimligt att tro att önskemålen är uppfyllda även om detta inte går att verifiera med tillgängliga kemidata från platsen, se bilaga 1 och 4.

Det är ett önskemål att det sker en väsentlig fördröjning av viktiga radionuklider i geosfären. En stor del av alla strömningsvägar har ett transportmotstånd F som är större än 10⁴ år/m.

Uppgifter om transportmotstånd saknas.

Utgående från de skrivningar som finns i SR 97 så bör inte formationsfaktorn vara lägre än cirka 5×10⁻⁷, se bilaga 2.

Önskemålet är uppfyllt.

7.1.2 Klipperås

De geologiska undersökningsinsatserna i såväl lokal som regional skala var omfattande. De geologiska och hydrogeologiska undersökningarna bedöms ha god kvalitet.

Möjligheterna att göra bedömningar försvåras av den ringa blottningsgraden. Bland annat har det varit svårt att samtolka data från ytan med information om djupare belägna zoner.

Bergartsfördelningen och sprickzonernas frekvens och läge är osäkra både på grund av den komplexa litologin och den låga bergblottningsgraden.

Den hydrogeologiska mätutrustningen som användes vid mätningarna har motsvarande mätområden, som de som används under platsundersökningarna i Forsmark och Oskarshamn. Däremot så torde kvaliteten på utvärderade data ändå vara något sämre på grund av att det fanns vissa begränsningar vid mätning av höga hydrauliska konduktiviteter och på grund av att testtiderna var relativt korta. I några av borrhålen var det svårt att skilja bergmassa och sprickzoner. Det kan innebära att vissa hydro-mätvärden som angivits för bergmassan egentligen tillhör en sprickzon. Inga modelleringar gjordes för att belysa flödesförhållandena i den undersökta bergvolymen.

Tabell 7-2. Bedömning av Klipperås utifrån krav och önskemål.

Krav	Bedömning
Bergarterna inom förvarets deponeringsområde får inte ha malmpotential .	Någon särskilt studie har inte utförts men utifrån vad som är känt om den omgivande berggrunden bedöms kravet vara uppfyllt.
Regionala plastiska skjuvzoner ska undvikas.	Osäkert om kravet är uppfyllt, se bilaga 1.
Det måste vara möjligt att inplacera förvaret med hänsyn till sprickzonerna på platsen.	Svårt att bedöma med hänsyn den komplexa litologin och den låga bergblottningsgraden.
Bergets hållfasthet, sprickgeometri och initiala bergspänningar får inte vara sådana att det uppstår omfattande stabilitetsproblem kring tunnlar eller deponeringshål i deponeringsområdet.	Underlag i form av stabilitetsanalyser och data för bergspänningar och hållfastheter saknas. Övriga parametrar indikerar att kravet kan uppfyllas.
Grundvattnet på förvarsnivå får inte innehålla löst syre .	Utifrån tillgängliga kemidata från platsen går det inte att bedöma om kravet är uppfyllt. Men dagens kunskap om grundvattenkemin på stort djup i kristallint berg talar ändå för att det råder reducerande förhållanden på förvarsdjup, se bilaga 1 och 4.
Den totala salthalten (TDS) i grundvattnet måste understiga 100 g/l på förvarsnivå.	Kravet är uppfyllt.

Önskemål	Bedömning
Önskvärt att ett slutförvar lokaliserar till vanligt förekommande bergarter .	Den låga bergbotteningsgraden gör önskemålet svårbedömt. Men troligen är önskemålet uppfyllt.
Det är önskvärt med måttlig densitet av lokala sprickor och av mindre sprickzoner .	Önskemålet är uppfyllt.
Litologiskt komplex, inhomogen berggrund bör undvikas.	Önskemålet är inte uppfyllt.
En fördel om de initiala bergspänningarna på tänkt förlägningsdjup inte avviker från vad som är normalt i svensk kristallin berggrund.	Bedömningsunderlag saknas.
Önskvärt med för svensk berggrund normala hållfasthets- och deformationsegenskaper hos det intakta berget.	Bedömningsunderlag saknas.
Det är önskvärt att temperaturutvidgningskoefficienten har normala värden.	Data från platsen saknas. Med ledning av litologiska förhållanden bedöms önskemålet vara uppfyllt.
Berget bör ha högre värmeledningsförmåga än 2,5 W/(mK). Områden med stor potential för geotermisk energiutvinning bör undvikas. Den ostörda temperaturen på förvarsdjup bör understiga 25 °C.	Data för värmeledningsförmåga saknas, men med ledning av litologiska förhållanden bedöms önskemålet sannolikt vara uppfyllt. Övriga önskemål uppfyllda.
Det är en fördel om en stor del av bergmassan i deponeringsområdet har en vattengenomsläpplighet (K) som är mindre än 10 ⁻⁸ m/s.	Önskemålet är uppfyllt.
Sprickzoner som behöver passeras under bygge bör ha så låg vattengenomsläpplighet att passage kan ske utan stora problem vilket innebär att zoner bör ha en transmissivitet (T) som är lägre än 10 ⁻⁵ m ² /s och att de dessutom inte är byggnadstekniskt besvärliga.	Önskemålet är uppfyllt.
Det är en fördel om den lokala hydrauliska gradienten är lägre än 1 % på förvarsnivå.	Önskemålet är uppfyllt.
Ostört grundvatten på förvarsnivå bör ha ett pH i intervallet 6–10, ha en låg halt av organiska ämnen ([DOC] < 20 mg/l), låg koloidhalt (lägre än 0,5 mg/l), låga ammoniumhalter , visst innehåll av kalcium och magnesium ([Ca ²⁺]+[Mg ²⁺] > 40 mg/l) och låga halter av radon och radium .	Utifrån dagens kunskap om grundvattenkemin på stort djup i kristallint berg är det rimligt att tro att önskemålen är uppfyllda även om detta inte går att verifiera med tillgängliga kemidata från platsen, se bilaga 1 och 4.
Det är ett önskemål att det sker en väsentlig fördröjning av viktiga radionuklider i geosfären. En stor del av alla strömningsvägar bör ha ett transportmotstånd F som är större än 10 ⁴ år/m.	Uppgifter om transportmotstånd saknas.
Utgående från skrivningar i SR 97 så bör inte formationsfaktorn vara lägre än cirka 5×10 ⁻⁷ , se bilaga 2.	Uppgifter om formationsfaktor saknas.

7.1.3 Äspö

Den stora insatsen av undersökningar, uppföljning och analyser av god kvalitet som är en följd av att området används för forskning och utveckling gör området särskilt värdefullt. Möjligheterna att göra bedömningar på basis av förundersökningarna var mycket goda. De kvarstående osäkerheterna avsåg främst utbredning och orientering av vattenförande, mindre sprickzoner. Detta bekräftades under byggskedet, som i huvudsak verifierade de prognoser som gjorts /7-4/.

Baserat på bland annat undersökningar i hål borrade från markytan gjordes flera hydrauliska modelleringar över bergvolymen för det tänkta laboratoriet. Dessa belyste flödesförhållanden före och efter byggnationen av anläggningen.

Det undersökta och utbyggda området är betydligt mindre (drygt 1 km²) jämfört med vad som behövs för slutförvaret.

Äspö var en av de tre platser som analyserades i SR 97. Den övergripande slutsatsen var att *ett säkert djupförvar för använt kärnbränsle enligt KBS-3-metoden kan byggas på en plats där förhållandena liknar dem vid såväl Aberg (Äspö), Beberg (Finnsjön) som Ceberg (Gideå). Säkerhetsmarginalerna beräknas bli stora vid samtliga platser. SR 97 har inte givit underlag för att tillmäta skillnader i den långsiktiga säkerheten mellan de tre platserna någon avgörande betydelse vid en tänkt sammanvägning av alla de faktorer som påverkar lokaliseringen av ett djupförvar /7-5/.*

Bergmassans hydrauliska konduktivitet – som påverkar spridningen av radionuklider i det fall ett antal kapslar skulle vara defekta – är cirka 100 gånger större i fallen Äspö och Finnsjön jämfört med Gideå (med reservation för att också undersökningsmetodikerna skiljer sig mellan platserna).

I SR 97 föreslogs för beräkningsexemplet Äspö en förvarsutformning i två plan. Motivet var de termiska förhållandena i kombination med ett relativt begränsat undersökningsområde. Mindre gynnsamma termiska förhållanden har i första hand ekonomisk betydelse eftersom det termiska kriteriet alltid kan uppfyllas om en tillräcklig bergvolym tas i anspråk.

Tabell 7-3. Bedömning av Äspö utifrån krav och önskemål.

Krav	Bedömning
Bergarterna inom förvarets deponeringsområde får inte ha malmpotential .	I samband med platsundersökningen i Oskarshamn lät SKB utföra en sammanställning och utvärdering av befintlig information om potential för malm, industrimineral och nyttosten i och omkring Simpevarp och Laxemar. Studien visar att kravet är uppfyllt /7-6/.
Regionala plastiska skjuvzoner ska undvikas.	Kravet är inte uppfyllt.
Det måste vara möjligt att inplacera förvaret med hänsyn till sprickzonerna på platsen.	Det undersökta området bedöms uppfylla kravet, med förutsättningar enligt SR 97, men då till priset av en komplicerad förvarsutformning.
Bergets hållfasthet, sprickgeometri och initiala bergspänningar får inte vara sådana att det uppstår omfattande stabilitetsproblem kring tunnlar eller deponeringshål i deponeringsområdet.	Kravet bedöms vara uppfyllt.
Grundvattnet på förvarsnivå får inte innehålla löst syre .	Kravet är uppfyllt.
Den totala salthalten (TDS) i grundvattnet måste understiga 100 g/l på förvarsnivå.	Kravet är uppfyllt.
Önskemål	Bedömning
Önskvärt att ett slutförvar lokaliserar till vanligt förekommande bergarter .	Önskemålet är uppfyllt /7-6/.
Det är önskvärt med måttlig densitet av lokala sprickor och av mindre sprickzoner .	Önskemålet är uppfyllt.
Litologiskt komplex, inhomogen berggrund bör undvikas.	Önskemålet är inte uppfyllt.
En fördel om de initiala bergspänningarna på tänkt förläggingsdjup inte avviker från vad som är normalt i svensk kristallin berggrund.	Önskemålet är uppfyllt.
Önskvärt med för svensk berggrund normala hållfasthets- och deformationsegenskaper hos det intakta berget.	Önskemålet är uppfyllt.
Det är önskvärt att temperaturutvidgningskoefficienten har normala värden.	Önskemålet är uppfyllt.
Berget bör ha högre värmeledningsförmåga än 2,5 W/(m·K). Områden med stor potential för geotermisk energiutvinning bör undvikas. Den ostörda temperaturen på förvarsdjup bör understiga 25 °C.	Önskemålet beträffande värmeledningsförmåga med tvekan uppfyllt. Övriga önskemål är uppfyllda.

Det är en fördel om en stor del av bergmassan i deponeringsområdet har en **vattengenomsläpplighet** (K) som är mindre än 10^{-8} m/s.

Sprickzoner som behöver passeras under bygge bör ha så låg vattengenomsläpplighet att passage kan ske utan stora problem vilket innebär att zoner bör ha en transmissivitet (T) som är lägre än 10^{-5} m²/s och att de dessutom inte är byggnadstekniskt besvärliga.

Det är en fördel om **den lokala hydrauliska gradienten** är lägre än 1 % på förvarsnivå.

Ostört grundvatten på förvarsnivå bör ha ett **pH** i intervallet 6–10, ha en låg halt av **organiska ämnen** ([DOC] < 20 mg/l), låg **kolloidhalt** (lägre än 0,5 mg/l), låga **ammoniumhalter**, visst innehåll av **kalcium och magnesium** ($[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}] > 40$ mg/l) och låga halter av **radon och radium**.

Det är ett önskemål att det sker en väsentlig fördröjning av viktiga radionuklider i geosfären. En stor del av alla strömningsvägar bör ha ett transportmotstånd F som är större än 10^4 år/m.

Utgående från skrivningar i SR 97 så bör inte formationsfaktorn vara lägre än cirka 5×10^{-7} , se bilaga 2.

Önskemålet är med tvekan uppfyllt. Värdet ligger nära den klassgräns som valts för "önskemålet uppfyllt".

Önskemålet är uppfyllt. Värdet ligger nära den klassgräns som uppställts för "Önskemålet med tvekan uppfyllt".

Önskemålet är uppfyllt.

Önskemålen är uppfyllda.

Önskemålet är troligen inte uppfyllt, men kan eventuellt vara med tvekan uppfyllt. Värdet finns bara redovisade för 5:e percentilen och median av flödesvägarna, se bilaga 1 och kommentar i bilaga 2.

Inga uppgifter om formationsfaktor från förundersökningarna (jämför bilaga 1, tabell B-9).

7.1.4 Kråkemåla

Med tanke på områdets relativt homogena karaktär (stor granitintrusion) bedöms möjligheterna att göra bedömningar som goda även om insatsen av geologi- och geofysikundersökningar samt borrhningar var begränsad.

Den hydrogeologiska mätutrustningen som användes vid undersökningarna har ungefär samma mätområde som de som användes under platsundersökningarna i Forsmark och Oskarshamn. Däremot torde kvaliteten på utvärderade parametrar vara något sämre, se avsnitt 3.3.4 "Mätområden och mätnoggrannhet vid bestämningar av hydraulisk konduktivitet och transmissivitet" i bilaga 5. Den hydrogeologiska informationen från förvarsdjup är mycket begränsad. Ingen modellering gjordes för att belysa flödesförhållandena i den undersökta bergvolymen.

Tabell 7-4. Bedömning av Kråkemåla utifrån krav och önskemål.

Krav	Bedömning
Bergarterna inom förvarets deponeringsområde får inte ha malmpotential .	På grund av osäkerheter om möjliga mineraliseringar i granitens randzoner är det tveksamt om kravet är uppfyllt /7-6/.
Regionala plastiska skjuvzoner ska undvikas.	Kravet är uppfyllt.
Det måste vara möjligt att inplacera förvaret med hänsyn till sprickzonerna på platsen.	Inga layoutstudier har gjorts, men kravet bedöms kunna uppfyllas.
Bergets hållfasthet, sprickgeometri och initiala bergspänningar får inte vara sådana att det uppstår omfattande stabilitetsproblem kring tunnlar eller deponeringshål i deponeringsområdet.	Bedömningsunderlag i form av stabilitetsanalyser och data på bergspänningar saknas. Sprick- och hållfasthetsdata indikerar att kravet kan uppfyllas.
Grundvattnet på förvarsnivå får inte innehålla löst syre .	Utifrån tillgängliga kemidata från platsen går det inte att bedöma om kravet är uppfyllt. Men dagens kunskap om grundvattenkemin på stort djup i kristallint berg talar ändå för att det råder reducerande förhållanden på förvarsdjup, se bilaga 1 och 4.
Den totala salthalten (TDS) i grundvattnet måste understiga 100 g/l på förvarsnivå.	Kravet är uppfyllt.

Önskemål	Bedömning
Önskvärt att ett slutförvar lokaliserar till vanligt förekommande bergarter .	Önskemålet är uppfyllt.
Det är önskvärt med måttlig densitet av lokala sprickor och av mindre sprickzoner .	Önskemålet är uppfyllt.
Litologiskt komplex, inhomogen berggrund bör undvikas.	Önskemålet är uppfyllt.
En fördel om de initiala bergspänningarna på tänkt förläggningsdjup inte avviker från vad som är normalt i svensk kristallin berggrund.	Bedömningsunderlag saknas, höga bergspänningar har noterats på platser med liknande geologiska förhållanden.
Önskvärt med för svensk berggrund normala hållfasthets- och deformationsegenskaper hos det intakta berget.	Önskemålet är uppfyllt, med reservation för att dataunderlaget är mycket begränsat.
Det är önskvärt att temperaturutvidgningskoefficienten har normala värden.	Data från platsen saknas. Med ledning av litologiska förhållanden bedöms önskemålet vara uppfyllt.
Berget bör ha högre värmeledningsförmåga än 2,5 W/(m·K). Områden med stor potential för geotermisk energiutvinning bör undvikas. Den ostörda temperaturen på förvarsdjup bör understiga 25 °C.	Data för värmeledningsförmåga saknas, men med ledning av litologiska förhållanden bedöms önskemålet vara uppfyllt. Övriga önskemål uppfyllda.
Det är en fördel om en stor del av bergmassan i deponeringsområdet har en vattengenomsläpplighet (K) som är mindre än 10 ⁻⁸ m/s.	Önskemålet är uppfyllt.
Sprickzoner som behöver passeras under bygge bör ha så låg vattengenomsläpplighet att passage kan ske utan stora problem vilket innebär att zoner bör ha en transmissivitet (T) som är lägre än 10 ⁻⁵ m ² /s och att de dessutom inte är byggnadstekniskt besvärliga.	Önskemålet är uppfyllt.
Det är en fördel om den lokala hydrauliska gradienten är lägre än 1 % på förvarsnivå.	Önskemålet är uppfyllt.
Ostört grundvatten på förvarsnivå bör ha ett pH i intervallet 6–10, ha en låg halt av organiska ämnen ([DOC] < 20 mg/l), låg kolloidhalt (lägre än 0,5 mg/l), låga ammoniumhalter , visst innehåll av kalcium och magnesium ([Ca ²⁺]+[Mg ²⁺] > 40 mg/l) och låga halter av radon och radium .	Utifrån dagens kunskap om grundvattenkemin på stort djup i kristallint berg är det rimligt att tro att önskemålen är uppfyllda även om detta inte går att verifiera med tillgängliga kemidata från platsen, se bilaga 1 och 4.
Det är ett önskemål att det sker en väsentlig fördröjning av viktiga radionuklider i geosfären. En stor del av alla strömningsvägar bör ha ett transportmotstånd F som är större än 10 ⁴ år/m.	Uppgifter om transportmotstånd saknas.
Utgående från de skrivningar som finns i SR 97 så bör inte formationsfaktorn vara lägre än cirka 5×10 ⁻⁷ , se bilaga 2.	Uppgifter om formationsfaktor saknas.

7.1.5 Fjällveden

Utförda geologiska undersökningar bedöms ha god kvalitet och omfattningen är stor. Såväl regional som lokal geologisk modell finns. Viss osäkerhet föreligger beträffande olika bergarters utbredning. Osäkerheten är betydande vad gäller många sprickzoners existens och utbredning.

Utförda hydrogeologiska undersökningar är omfattande och bedöms vara av god kvalitet. Förekomsten av vertikala lager med gnejsgranit, vilka har högre hydraulisk konduktivitet än omgivande ådergnejs gör att bergmassan får varierande genomsläpplighet i olika riktningar. Modellberäkningar har gjorts för att belysa dessa förhållanden.

KBS-3-utredningen genomförde säkerhetsbedömningar baserade på verkliga platsdata för ett slutförvar i Fjällveden, Svartboberget, Gideå respektive Kamlunge. För Fjällveden formulerade KBS-projektet följande slutsats: *Det föreligger sannolikt geologiska och hydrologiska förutsättningar för anläggande av ett slutförvar i Fjällveden. De slumpvis uppträdande brantstående stråken av gnejsgranit med högre vattengenomsläpplighet än omgivande mycket täta berg, gör det emellertid svårt att bedöma hur stor del av det undersökta området, som kan utnyttjas för deponering av bränsle. En slutlig bedömning av områdets lämplighet kan därför inte göras utan kompletterande undersökningar [7-7].*

Tabell 7-5. Bedömning av Fjällveden utifrån krav och önskemål.

Krav	Bedömning
Bergarterna inom förvarets deponeringsområde får inte ha malmpotential .	Någon särskilt studie har inte utförts men utifrån vad som är känt om den omgivande berggrunden bedöms kravet vara uppfyllt.
Regionala plastiska skjuvzoner ska undvikas.	Kravet är uppfyllt.
Det måste vara möjligt att inplacera förvaret med hänsyn till sprickzonerna på platsen.	Kravet bedöms kunna uppfyllas.
Bergets hållfasthet, sprickgeometri och initiala bergspänningar får inte vara sådana att det uppstår omfattande stabilitetsproblem kring tunnlar eller deponeringshål i deponeringsområdet.	Underlag i form av stabilitetsanalyser och data för bergspänningar och hållfastheter saknas. Övriga parametrar indikerar att kravet är uppfyllt.
Grundvattnet på förvarsnivå får inte innehålla löst syre .	Utifrån tillgängliga kemidata från platsen går det inte att bedöma om kravet är uppfyllt. Men dagens kunskap om grundvattenkemin på stort djup i kristallint berg talar ändå för att det råder reducerande förhållanden på förvarsdjup, se bilaga 1 och 4.
Den totala salthalten (TDS) i grundvattnet måste understiga 100 g/l på förvarsnivå.	Kravet är uppfyllt.
Önskemål	Bedömning
Önskvärt att ett slutförvar lokaliseras till vanligt förekommande bergarter .	Önskemålet är uppfyllt.
Det är önskvärt med måttlig densitet av lokala sprickor och av mindre sprickzoner .	Önskemålet är uppfyllt.
Litologiskt komplex, inhomogen berggrund bör undvikas.	Önskemålet är inte uppfyllt, se bilaga 1.
En fördel om de initiala bergspänningarna på tänkt förläggingsdjup inte avviker från vad som är normalt i svensk kristallin berggrund.	Bedömningsunderlag saknas.
Önskvärt med för svensk berggrund normala hållfasthets- och deformationsegenskaper hos det intakta berget.	Bedömningsunderlag saknas.
Det är önskvärt att temperaturutvidgningskoefficienten har normala värden.	Data från platsen saknas. Med ledning av litologiska förhållanden bedöms önskemålet vara uppfyllt.
Berget bör ha högre värmeledningsförmåga än 2,5 W/(m·K). Områden med stor potential för geotermisk energitvinning bör undvikas. Den ostörda temperaturen på förvarsdjup bör understiga 25 °C.	Önskemålen bedöms vara uppfyllda.
Det är en fördel om en stor del av bergmassan i deponeringsområdet har en vattengenomsläpplighet (K) som är mindre än 10 ⁻⁸ m/s.	Önskemålet är uppfyllt.
Sprickzoner som behöver passeras under bygge bör ha så låg vattengenomsläpplighet att passage kan ske utan stora problem vilket innebär att zoner bör ha en transmissivitet (T) som är lägre än 10 ⁻⁵ m ² /s och att de dessutom inte är byggnadstekniskt besvärliga.	Önskemålet är uppfyllt.
Det är en fördel om den lokala hydrauliska gradienten är lägre än 1 % på förvarsnivå.	Önskemålet är uppfyllt.
Ostört grundvatten på förvarsnivå bör ha ett pH i intervallet 6–10, ha en låg halt av organiska ämnen ([DOC] < 20 mg/l), låg kolloidhalt (lägre än 0,5 mg/l), låga ammoniumhalter , visst innehåll av kalcium och magnesium ([Ca ²⁺]+[Mg ²⁺] > 40 mg/l) och låga halter av radon och radium .	Utifrån dagens kunskap om grundvattenkemin på stort djup i kristallint berg är det rimligt att tro att önskemålen är uppfyllda även om detta inte går att verifiera med tillgängliga kemidata från platsen, se bilaga 1 och 4.
Det är ett önskemål att det sker en väsentlig fördröjning av viktiga radionuklider i geosfären. En stor del av alla strömningsvägar bör ha ett transportmotstånd F som är större än 10 ⁴ år/m.	Uppgifter om transportmotstånd saknas.
Utgående från de skrivningar som finns i SR 97 så bör inte formationsfaktorn vara lägre än cirka 5×10 ⁻⁷ , se bilaga 2.	Önskemålet är uppfyllt.

7.1.6 Finnsjön

Omfattande undersökningar, speciellt borrhning, har utförts för att karaktärisera de geologiska förutsättningarna. Det finns även en ingående geologisk dokumentation och analys av subhorisontella zoner, särskilt den så kallade Zon 2. Utförda geologiska undersökningar bedöms ha god kvalitet.

Bedömningarna baseras nästan uteslutande på djupborrningar. Utförda ytundersökningar är inte tillräckligt omfattande för att det ska vara möjligt att fullt ut kunna tolka kopplingen mellan förhållanden på ytan och på djupet. Detta tillsammans med områdets komplicerade tektonik medför att gjorda bedömningar är osäkra.

Utförda hydrogeologiska undersökningar är omfattande och bedöms vara av god kvalitet. Vid utvärderingen av typområdesundersökningarna ansågs sprickzonerna vara osäkra med avseende på stupning varför alla zoner antogs vara vertikala i samband med modelleringen. Under arbetena med det så kallade sprickzonsprojektet gjordes ytterligare undersökningar av det så kallade norra blocket, vilket innebar att två av de mest betydande sprickzonerna kunde bestämmas tredimensionellt. Omfattande hydrogeologiska undersökningar inklusive spårämnesförsök gjordes i den subhorisontella zonen som benämndes Zon 2. Även modelleringar gjordes inom sprickzonsprojektet. I samband med SKB 91 uppdaterades den tektoniska modellen för hela området. Hydrauliska modelleringar gjordes utgående från denna modell.

Finnsjön var en av de tre platser om analyserades i SR 97. Den övergripande slutsatsen var att *ett säkert djupförvar för använt kärnbränsle enligt KBS-3-metoden kan byggas på en plats där förhållandena liknar dem vid såväl Aberg (Äspö), Beberg (Finnsjön) som Ceberg (Gideå). Säkerhetsmarginalerna beräknas bli stora vid samtliga platser. SR 97 har inte givit underlag för att tillmäta skillnader i den långsiktiga säkerheten mellan de tre platserna någon avgörande betydelse vid en tänkt sammanvägning av alla de faktorer som påverkar lokaliseringen av ett djupförvar /7-5/.*

Bergmassans hydrauliska genomsläpplighet – som påverkar spridningen av radionuklider i det fall ett antal kapslar skulle vara defekta – är cirka 100 gånger större i fallen Äspö och Finnsjön jämfört med Gideå (med reservation för att också undersökningsmetodikerna skiljer sig mellan platserna).

Tabell 7-6. Bedömning av Finnsjön utifrån krav och önskemål.

Krav	Bedömning
Bergarterna inom förvarets deponeringsområde får inte ha malmpotential .	Kravet bedöms med viss reservation vara uppfyllt, se bilaga 1.
Regionala plastiska skjuvzoner ska undvikas.	Kravet bedöms vara uppfyllt.
Det måste vara möjligt att inplacera förvaret med hänsyn till sprickzonerna på platsen.	Kravet bedöms vara uppfyllt, med reservation för att dataunderlaget är ofullständigt.
Bergets hållfasthet, sprickgeometri och initiala bergspänningar får inte vara sådana att det uppstår omfattande stabilitetsproblem kring tunnlar eller deponeringshål i deponeringsområdet.	Kravet bedöms vara uppfyllt.
Grundvattnet på förvarsnivå får inte innehålla löst syre .	Utifrån tillgängliga kemidata från platsen går det inte att bedöma om kravet är uppfyllt. Men dagens kunskap om grundvattenkemin på stort djup i kristallint berg talar ändå för att det råder reducerande förhållanden på förvarsdjup, se bilaga 1 och 4.
Den totala salthalten (TDS) i grundvattnet måste understiga 100 g/l på förvarsnivå.	Kravet är uppfyllt.

Önskemål	Bedömning
Önskvärt att ett slutförvar lokaliserar till vanligt förekommande bergarter .	Önskemålet är uppfyllt.
Det är önskvärt med måttlig densitet av lokala sprickor och av mindre sprickzoner .	Önskemålet är uppfyllt.
Litologiskt komplex, inhomogen berggrund bör undvikas.	Önskemålet bedöms vara uppfyllt, se bilaga 1.
En fördel om de initiala bergspänningarna på tänkt förläggningsdjup inte avviker från vad som är normalt i svensk kristallin berggrund.	Önskemålet uppfyllt, med reservation för att dataunderlaget är begränsat.
Önskvärt med för svensk berggrund normala hållfasthets- och deformationsegenskaper hos det intakta berget.	Önskemålet uppfyllt, med reservation för att dataunderlaget är begränsat.
Det är önskvärt att temperaturutvidgningskoefficienten har normala värden.	Data från platsen saknas. Med ledning av litologiska förhållanden bedöms önskemålet vara uppfyllt.
Berget bör ha högre värmeledningsförmåga än 2,5 W/(mK). Områden med stor potential för geotermisk energiutvinning bör undvikas. Den ostörda temperaturen på förvarsdjup bör understiga 25 °C.	Data för värmeledningsförmåga saknas, men med ledning av litologiska förhållanden bedöms önskemålet vara uppfyllt. Övriga önskemål är uppfyllda.
Det är en fördel om en stor del av bergmassan i deponeringsområdet har en vattengenomsläpplighet (K) som är mindre än 10 ⁻⁸ m/s.	Önskemålet är uppfyllt.
Sprickzoner som behöver passeras under bygge bör ha så låg vattengenomsläpplighet att passage kan ske utan stora problem vilket innebär att zoner bör ha en transmissivitet (T) som är lägre än 10 ⁻⁶ m ² /s och att de dessutom inte är byggnadstekniskt besvärliga.	Önskemålet är uppfyllt.
Det är en fördel om den lokala hydrauliska gradienten är lägre än 1 % på förvarsnivå.	Önskemålet är uppfyllt.
Ostört grundvatten på förvarsnivå bör ha ett pH i intervallet 6–10, ha en låg halt av organiska ämnen ([DOC] < 20 mg/l), låg kolloidhalt (lägre än 0,5 mg/l), låga ammoniumhalter , visst innehåll av kalcium och magnesium ([Ca ²⁺]+[Mg ²⁺] > 40 mg/l) och låga halter av radon och radium .	Önskemålen är uppfyllda.
Det är ett önskemål att det sker en väsentlig fördröjning av viktiga radionuklider i geosfären. En stor del av alla strömningsvägar bör ha ett transportmotstånd F som är större än 10 ⁴ år/m.	Önskemålet har bedömts vara med tvekan uppfyllt. Värden finns bara redovisade för 5:e percentilen och median av flödesvägarna, se bilaga 1 och kommentar i bilaga 2.
Utgående från de skrivningar som finns i SR 97 så bör inte formationsfaktorn vara lägre än cirka 5×10 ⁻⁷ , se bilaga 2.	Önskemålet är uppfyllt.

7.1.7 Svartboberget

Geologiska undersökningar utfördes i relativt stor omfattning såväl regionalt som lokalt. Undersökningarna bedöms ha god kvalitet. Men möjligheten att göra bedömningar försvåras på grund av att varken reflektionsseismik eller borrhålsradar ingick i undersökningsprogrammet. Sprickornas utbredning i djupled utgör en osäkerhet. En grafitmineralisering i ett av kärnborrhålen gör att området måste betecknas som malmpotentiellt.

Utförda hydrogeologiska undersökningar är omfattande och bedöms vara av god kvalitet. I området finns ett stort antal lokala sprickzoner med små inbördes avstånd. Detta innebär att utrymmet för ett tänkt förvar blev mycket begränsat och av den anledningen gjordes inga hydrologiska modellberäkningar.

KBS-3-utredningen genomförde säkerhetsbedömningar baserade på verkliga platsdata för ett slutförvar i Fjällveden, Svartboberget, Gideå respektive Kamlunge. För Svartboberget formulerade KBS-projektet följande slutsats: *Analysen av grundvattnet tyder på en sammansättning som ej påverkar säkerheten kring ett slutförvar. Det stora antalet lokala sprickzoner med små inbördes avstånd, innebär att utrymmet för ett förvar är mycket begränsat. Områdets västra*

del uppvisar en lägre andel lokala sprickzoner. Antalet borrhål i detta område är dock för litet för att en godtagbar tolkning av förekommande sprickzoner skall kunna erhållas. Hydrologiska modellberäkningar av grundvattenförhållandena i Svartboberget har ej utförts. Ett slutförvar i Svartboberget innebär praktiska svårigheter beträffande förvarets geometriska utformning då utrymmet mellan de befintliga sprickzonerna är begränsat. Inom området förekommer dessutom en grafitförande gnejs som i en framtid kan bli av ekonomiskt intresse. Av de redovisade områdena (Fjällveden, Svartboberget, Gideå och Kamlunga) är därför Svartboberget minst lämpat för ett slutförvar /7-7/.

Tabell 7-7. Bedömning av Svartboberget utifrån krav och önskemål.

Krav	Bedömning
Bergarterna inom förvarets deponeringsområde får inte ha malmpotential .	Kravet är inte uppfyllt, se bilaga 1.
Regionala plastiska skjuvzoner ska undvikas.	Kravet är uppfyllt.
Det måste vara möjligt att inplacera förvaret med hänsyn till sprickzonerna på platsen.	Kravet är inte uppfyllt.
Bergets hållfasthet, sprickgeometri och initiala bergspänningar får inte vara sådana att det uppstår omfattande stabilitetsproblem kring tunnlar eller deponeringshål i deponeringsområdet.	Underlag i form av stabilitetsanalyser och data för bergspänningar och hållfastheter saknas. Övriga parametrar indikerar att kravet kan uppfyllas.
Grundvattnet på förvarsnivå får inte innehålla löst syre .	Utifrån tillgängliga kemidata från platsen går det inte att bedöma om kravet är uppfyllt. Men dagens kunskap om grundvattenkemin på stort djup i kristallint berg talar ändå för att det råder reducerande förhållanden på förvarsdjup, se bilaga 1 och 4.
Den totala salthalten (TDS) i grundvattnet måste understiga 100 g/l på förvarsnivå.	Kravet är uppfyllt.
Önskemål	Bedömning
Önskvärt att ett slutförvar lokaliseras till vanligt förekommande bergarter .	Önskemålet är uppfyllt.
Det är önskvärt med måttlig densitet av lokala sprickor och av mindre sprickzoner .	Önskemålet är inte uppfyllt.
Litologiskt komplex, inhomogen berggrund bör undvikas.	För 95 % av berggrunden inom det undersökta området är önskemålet uppfyllt, se bilaga 1.
En fördel om de initiala bergspänningarna på tänkt förlägningsdjup inte avviker från vad som är normalt i svensk kristallin berggrund.	Bedömningsunderlag saknas.
Önskvärt med för svensk berggrund normala hållfasthets- och deformationsegenskaper hos det intakta berget.	Bedömningsunderlag saknas.
Det är önskvärt att temperaturutvidgningskoefficienten har normala värden.	Data från platsen saknas. Med ledning av litologiska förhållanden bedöms önskemålet vara uppfyllt.
Berget bör ha högre värmeledningsförmåga än 2,5 W/(m·K). Områden med stor potential för geotermisk energiutvinning bör undvikas. Den ostörda temperaturen på förvarsdjup bör understiga 25 °C.	Data för värmeledningsförmåga saknas, men med ledning av litologiska förhållanden bedöms önskemålet vara uppfyllt för merparten av området. Övriga önskemål uppfyllda.
Det är en fördel om en stor del av bergmassan i deponeringsområdet har en vattengenomsläpplighet (K) som är mindre än 10 ⁻⁸ m/s.	Önskemålet är uppfyllt.
Sprickzoner som behöver passeras under bygge bör ha så låg vattengenomsläpplighet att passage kan ske utan stora problem vilket innebär att zoner bör ha en transmissivitet (T) som är lägre än 10 ⁻⁵ m ² /s och att de dessutom inte är byggnadstekniskt besvärliga.	Önskemålet är uppfyllt.
Det är en fördel om den lokala hydrauliska gradienten är lägre än 1 % på förvarsnivå.	Önskemålet är inte uppfyllt.

Ostört grundvatten på förvarsnivå bör ha ett pH i intervallet 6–10, ha en låg halt av **organiska ämnen** ([DOC] < 20 mg/l), låg **kolloidhalt** (lägre än 0,5 mg/l), låga **ammoniumhalter**, visst innehåll av **kalcium och magnesium** ($[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}] > 40$ mg/l) och låga halter av **radon och radium**.

Det är ett önskemål att det sker en väsentlig fördröjning av viktiga radionuklider i geosfären. En stor del av alla strömningsvägar bör ha ett transportmotstånd F som är större än 10^4 år/m.

Utgående från de skrivningar som finns i SR 97 så bör inte formationsfaktorn vara lägre än cirka 5×10^{-7} , se bilaga 2.

Utifrån dagens kunskap om grundvattenkemin på stort djup i kristallint berg är det rimligt att tro att önskemålen är uppfyllda även om detta inte går att verifiera med tillgängliga kemidata från platsen, se bilaga 1 och 4.

Uppgifter om transportmotstånd saknas.

Önskemålet är uppfyllt.

7.1.8 Gideå

De geologiska undersökningarna har en stor omfattning inom ett relativt begränsat område. Regional modell saknas. Utförda geologiska undersökningar bedöms ha god kvalitet. Inga borrhål går genom regionala deformationszoner. Ett antal diabasgångar skär igenom området.

Utförda hydrogeologiska undersökningar är omfattande och bedöms vara av god kvalitet. Gnejsgraniten i området förekommer i horisontella lager och har högre hydraulisk konduktivitet än ådergnejsen. De anisotropa förhållandena har belysts med hjälp av modeller.

Gideå var en av de tre platser som analyserades i SR 97. Den övergripande slutsatsen var att *ett säkert djupförvar för använt kärnbränsle enligt KBS-3-metoden kan byggas på en plats där förhållandena liknar dem vid såväl Aberg (Åspö), Beberg (Finnsjön) som Ceberg (Gideå). Säkerhetsmarginalerna beräknas bli stora vid samtliga platser. SR 97 har inte givit underlag för att tillmäta skillnader i den långsiktiga säkerheten mellan de tre platserna någon avgörande betydelse vid en tänkt sammanvägning av alla de faktorer som påverkar lokaliseringen av ett djupförvar /7-5/.*

Bergmassans hydrauliska genomsläpplighet, som påverkar spridningen av radionuklider i det fall ett antal kapslar skulle vara defekta, är cirka 100 gånger lägre i Gideå jämfört med Åspö och Finnsjön (med reservation för att också undersökningsmetodiken skiljer sig mellan platserna).

Tabell 7-8. Bedömning av Gideå utifrån krav och önskemål.

Krav	Bedömning
Bergarterna inom förvarets deponeringsområde får inte ha malmpotential .	Kravet är uppfyllt.
Regionala plastiska skjvzoner ska undvikas.	Kravet är uppfyllt.
Det måste vara möjligt att inplacera förvaret med hänsyn till sprickzonerna på platsen.	Kravet är uppfyllt.
Bergets hållfasthet, sprickgeometri och initiala bergspänningar får inte vara sådana att det uppstår omfattande stabilitetsproblem kring tunnlar eller deponeringshål i deponeringsområdet.	Kravet bedöms vara uppfyllt.
Grundvattnet på förvarsnivå får inte innehålla löst syre .	Utifrån tillgängliga kemidata från platsen går det inte att bedöma om kravet är uppfyllt. Men dagens kunskap om grundvattenkemin på stort djup i kristallint berg talar ändå för att det råder reducerande förhållanden på förvarsdjup, se bilaga 1 och 4.
Den totala salthalten (TDS) i grundvattnet måste understiga 100 g/l på förvarsnivå.	Kravet är uppfyllt.
Önskemål	Bedömning
Önskvärt att ett slutförvar lokaliseras till vanligt förekommande bergarter .	Ett antal diabasgångar skär igenom berggrunden. Trots detta är önskemålet uppfyllt.

Det är önskvärt med måttlig densitet av lokala sprickor och av mindre sprickzoner .	Önskemålet är uppfyllt.
Litologiskt komplex, inhomogen berggrund bör undvikas.	Önskemålet är uppfyllt.
En fördel om de initiala bergspänningarna på tänkt förläggingsdjup inte avviker från vad som är normalt i svensk kristallin berggrund.	Önskemålet uppfyllt, med reservation för att dataunderlaget är begränsat.
Önskvärt med för svensk berggrund normala hållfasthets- och deformationsegenskaper hos det intakta berget.	Önskemålet uppfyllt, med reservation för att dataunderlaget är begränsat.
Det är önskvärt att temperaturutvidgningskoefficienten har normala värden.	Data från platsen saknas. Med ledning av litologiska förhållanden bedöms önskemålet vara uppfyllt.
Berget bör ha högre värmeledningsförmåga än 2,5 W/(m·K). Områden med stor potential för geotermisk energiutvinning bör undvikas. Den ostörda temperaturen på förvarsdjup bör understiga 25 °C.	Önskemålen är uppfyllda.
Det är en fördel om en stor del av bergmassan i deponeringsområdet har en vattengenomsläpplighet (K) som är mindre än 10 ⁻⁸ m/s.	Önskemålet är uppfyllt.
Sprickzoner som behöver passeras under bygge bör ha så låg vattengenomsläpplighet att passage kan ske utan stora problem vilket innebär att zoner bör ha en transmissivitet (T) som är lägre än 10 ⁻⁵ m ² /s och att de dessutom inte är byggnadstekniskt besvärliga.	Önskemålet är uppfyllt.
Det är en fördel om den lokala hydrauliska gradienten är lägre än 1 % på förvarsnivå.	Önskemålet är uppfyllt.
Ostört grundvatten på förvarsnivå bör ha ett pH i intervallet 6–10, ha en låg halt av organiska ämnen ([DOC] < 20 mg/l), låg kolloidhalt (lägre än 0,5 mg/l), låga ammoniumhalter , visst innehåll av kalcium och magnesium ([Ca ²⁺]+[Mg ²⁺] > 40 mg/l) och låga halter av radon och radium .	Utifrån dagens kunskap om grundvattenkemin på stort djup i kristallint berg är det rimligt att tro att önskemålen är uppfyllda även om detta inte går att verifiera med tillgängliga kemidata från platsen, se bilaga 1 och 4.
Det är ett önskemål att det sker en väsentlig fördröjning av viktiga radionuklider i geosfären. En stor del av alla strömningsvägar bör ha ett transportmotstånd F som är större än 10 ⁴ år/m.	Önskemålet är uppfyllt.
Utgående från de skrivningar som finns i SR 97 så bör inte formationsfaktorn vara lägre än cirka 5×10 ⁻⁷ , se bilaga 2.	Önskemålet är uppfyllt.

7.1.9 Kamlunge

Utförda geologiska och geofysiska undersökningar i ett väl blottat område ger tillsammans med ett stort antal borrhål goda möjligheter att göra bedömningar.

Utförda hydrogeologiska undersökningar är omfattande och bedöms vara av god kvalitet. De lokala sprickzonerna är smala, brantstående och med stort inbördes avstånd. En horisontell sprickzon finns på cirka 555 meters djup under markytan. Modellberäkningar har gjorts för att belysa flödesförhållanden ovan och under denna zon. Under zonen finns dock mycket lite information från borrhålsmätningar.

KBS-3-utredningen genomförde säkerhetsbedömningar baserade på verkliga platsdata för ett slutförvar i Fjällveden, Svartboberget, Gideå respektive Kamlunge. För Kamlunge formulerade KBS-projektet följande slutsats: *Modellberäkningarna visar att grundvattenflödena på 450 meters djup inom området för tänkt förvar är små, samt att de stora hydrauliska gradienter, som finns i Kamlungekölens randområden, ej berör grundvattenförhållandena inom tänkt förvarsområde. Liksom i tidigare redovisade områden har grundvattnet en sådan sammansättning att det ej påverkar säkerheten kring ett tänkt slutförvar. Området bedöms ha goda förutsättningar för ett enplansförvar på 450 meters djup /7-7/.*

Tabell 7-9. Bedömning av Kamlunge utifrån krav och önskemål.

Krav	Bedömning
Bergarterna inom förvarets deponeringsområde får inte ha malmpotential .	Någon särskild studie har inte utförts men utifrån vad som är känt om den omgivande berggrunden bedöms kravet vara uppfyllt.
Regionala plastiska skjuzoner ska undvikas.	Kravet är uppfyllt.
Det måste vara möjligt att inplacera förvaret med hänsyn till sprickzonerna på platsen.	Kravet är uppfyllt.
Bergets hållfasthet, sprickgeometri och initiala bergspänningar får inte vara sådana att det uppstår omfattande stabilitetsproblem kring tunnlar eller deponeringshål i deponeringsområdet.	Underlag i form av stabilitetsanalyser och data för bergspänningar och hållfastheter saknas. Övriga parametrar indikerar att kravet kan uppfyllas.
Grundvattnet på förvarsnivå får inte innehålla löst syre .	Utifrån tillgängliga kemidata från platsen går det inte att bedöma om kravet är uppfyllt. Men dagens kunskap om grundvattenkemin på stort djup i kristallint berg talar ändå för att det råder reducerande förhållanden på förvarsdjup, se bilaga 1 och 4.
Den totala salthalten (TDS) i grundvattnet måste understiga 100 g/l på förvarsnivå.	Kravet är uppfyllt.
Önskemål	Bedömning
Önskvärt att ett slutförvar lokaliseras till vanligt förekommande bergarter .	Önskemålet är uppfyllt.
Det är önskvärt med måttlig densitet av lokala sprickor och av mindre sprickzoner .	Önskemålet är uppfyllt.
Litologiskt komplex, inhomogen berggrund bör undvikas.	Tveksamt om önskemålet är uppfyllt.
En fördel om de initiala bergspänningarna på tänkt förlägningsdjup inte avviker från vad som är normalt i svensk kristallin berggrund.	Bedömningsunderlag saknas.
Önskvärt med för svensk berggrund normala hållfasthets- och deformationsegenskaper hos det intakta berget.	Bedömningsunderlag saknas.
Det är önskvärt att temperaturutvidgningskoefficienten har normala värden.	Data från platsen saknas. Med ledning av litologiska förhållanden bedöms önskemålet vara uppfyllt.
Berget bör ha högre värmeledningsförmåga än 2,5 W/(m·K). Områden med stor potential för geotermisk energiutvinning bör undvikas. Den ostörda temperaturen på förvarsdjup bör understiga 25 °C.	Önskemålen bedöms vara uppfyllda.
Det är en fördel om en stor del av bergmassan i deponeringsområdet har en vattengenomsläpplighet (K) som är mindre än 10 ⁻⁸ m/s.	Önskemålet är uppfyllt.
Sprickzoner som behöver passeras under bygge bör ha så låg vattengenomsläpplighet att passage kan ske utan stora problem vilket innebär att zoner bör ha en transmissivitet (T) som är lägre än 10 ⁻⁶ m ² /s och att de dessutom inte är byggnadstekniskt besvärliga.	Önskemålet är uppfyllt.
Det är en fördel om den lokala hydrauliska gradienten är lägre än 1 % på förvarsnivå.	Önskemålet är inte uppfyllt.
Ostört grundvatten på förvarsnivå bör ha ett pH i intervallet 6–10, ha en låg halt av organiska ämnen ([DOC] < 20 mg/l), låg kolloidhalt (lägre än 0,5 mg/l), låga ammoniumhalter , visst innehåll av kalcium och magnesium ([Ca ²⁺]+[Mg ²⁺] > 40 mg/l) och låga halter av radon och radium .	Utifrån dagens kunskap om grundvattenkemin på stort djup i kristallint berg är det rimligt att tro att önskemålen är uppfyllda även om detta inte går att verifiera med tillgängliga kemidata från platsen, se bilaga 1 och 4.
Det är ett önskemål att det sker en väsentlig fördröjning av viktiga radionuklider i geosfären. En stor del av alla strömningsvägar bör ha ett transportmotstånd F som är större än 10 ⁴ år/m.	Uppgifter om transportmotstånd saknas.
Utgående från de skrivningar som finns i SR 97 så bör inte formationsfaktorn vara lägre än cirka 5×10 ⁻⁷ , se bilaga 2.	Uppgifter om formationsfaktor saknas.

7.1.10 Taavinunnanen

Utförda undersökningar har mycket begränsad omfattning med koncentration till ett djupt kärnbronhål i ett gabbromassiv. Undersökningarna har godtagbar kvalitet. Begränsningen till ett kärnbronhål innebär bland annat att gabbrons litologiska variationer är mycket osäkra. Utbredningen kan dock fastställas relativt väl med stöd av undersökningarna från ytan.

Eftersom underlagsmaterialet var mycket begränsat gjordes ingen hydraulisk modellering för att belysa flödesförhållanden i den aktuella bergvolymen.

Tabell 7-10. Bedömning av Taavinunnanen utifrån krav och önskemål.

Krav	Bedömning
Bergarterna inom förvarets deponeringsområde får inte ha malmpotential .	Kravet är med tvekan uppfyllt eftersom gabbro har förhöjd potential för mineralisering; någon mineralisering har dock inte påträffats.
Regionala plastiska skjuvzoner ska undvikas.	Kravet är uppfyllt.
Det måste vara möjligt att inplacera förvaret med hänsyn till sprickzonerna på platsen.	Underlaget medger ingen bedömning.
Bergets hållfasthet, sprickgeometri och initiala bergspänningar får inte vara sådana att det uppstår omfattande stabilitetsproblem kring tunnlar eller deponeringshål i deponeringsområdet.	Underlag i form av stabilitetsanalyser och data för bergspänningar och hållfastheter saknas. Övriga parametrar indikerar att kravet kan uppfyllas.
Grundvattnet på försvarsnivå får inte innehålla löst syre .	Utifrån tillgängliga kemidata från platsen går det inte att bedöma om kravet är uppfyllt. Men dagens kunskap om grundvattenkemin på stort djup i kristallint berg talar ändå för att det råder reducerande förhållanden på försvarsdjup, se bilaga 1 och 4.
Den totala salthalten (TDS) i grundvattnet måste understiga 100 g/l på försvarsnivå.	Kravet är uppfyllt.
Önskemål	Bedömning
Önskvärt att ett slutförvar lokaliserar till vanligt förekommande bergarter .	Jämfört med graniter och gnejser är gabbro en sällsynt bergart i Sverige. Önskemålet är således inte uppfyllt.
Det är önskvärt med måttlig densitet av lokala sprickor och av mindre sprickzoner .	Önskemålet är uppfyllt.
Litologiskt komplex, inhomogen berggrund bör undvikas.	Önskemålet är uppfyllt.
En fördel om de initiala bergspänningarna på tänkt förläggingsdjup inte avviker från vad som är normalt i svensk kristallin berggrund.	Bedömningsunderlag saknas.
Önskvärt med för svensk berggrund normala hållfasthets- och deformationsegenskaper hos det intakta berget.	Bedömningsunderlag saknas.
Det är önskvärt att temperaturutvidgningskoefficienten har normala värden.	Data från platsen saknas. Med ledning av litologiska förhållanden bedöms önskemålet vara uppfyllt.
Berget bör ha högre värmeledningsförmåga än 2,5 W/(m·K). Områden med stor potential för geotermisk energiutvinning bör undvikas. Den ostörda temperaturen på försvarsdjup bör understiga 25 °C.	Data för värmeledningsförmåga saknas, men med ledning av litologiska förhållanden bedöms önskemålet inte vara uppfyllt. Övriga önskemål uppfyllda.
Det är en fördel om en stor del av bergmassan i deponeringsområdet har en vattengenomsläpplighet (K) som är mindre än 10 ⁻⁸ m/s.	Önskemålet är uppfyllt.
Sprickzoner som behöver passeras under bygge bör ha så låg vattengenomsläpplighet att passage kan ske utan stora problem vilket innebär att zoner bör ha en transmissivitet (T) som är lägre än 10 ⁻⁵ m ² /s och att de dessutom inte är byggnadstekniskt besvärliga.	Går inte att bedöma eftersom uppgifter om zoners frekvens och transmissivitet saknas.

Det är en fördel om **den lokala hydrauliska gradienten** är lägre än 1 % på förvarsnivå.

Ostört grundvatten på förvarsnivå bör ha ett **pH** i intervallet 6–10, ha en låg halt av **organiska ämnen** ($[\text{DOC}] < 20 \text{ mg/l}$), låg **kolloidhalt** (lägre än 0,5 mg/l), låga **ammoniumhalter**, visst innehåll av **kalcium och magnesium** ($[\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}] > 40 \text{ mg/l}$) och låga halter av **radon och radium**.

Det är ett önskemål att det sker en väsentlig fördröjning av viktiga radionuklider i geosfären. En stor del av alla strömningsvägar bör ha ett transportmotstånd F som är större än 10^4 år/m .

Utgående från de skrivningar som finns i SR 97 så bör inte formationsfaktorn vara lägre än cirka 5×10^{-7} , se bilaga 2.

Önskemålet är inte uppfyllt.

Utifrån dagens kunskap om grundvattenkemin på stort djup i kristallint berg är det rimligt att tro att önskemålen är uppfyllda även om detta inte går att verifiera med tillgängliga kemidata från platsen, se bilaga 1 och 4.

Uppgifter om transportmotstånd saknas.

Uppgifter om formationsfaktor saknas.

7.2 Finska områden

7.2.1 Hästholmen

Omfattande geologiska och geofysiska markundersökningar kompletterade med ett stort antal borrhål har utförts inom området. Alla resultat är väl dokumenterade och analyserade. Detta ger mycket goda möjligheter att göra relativt detaljerade bedömningar.

Utförda hydrogeologiska undersökningar är omfattande och bedöms vara av god kvalitet. Den stora variationen i transmissivitet längs en del strukturer kan vara sann, men den kan också bero på fel i bestämningen av positionen av vissa strukturer längs borrhålen. Hydrauliska modelleringar har gjorts för att belysa flödesförhållanden i den undersökta bergvolymen.

I TILA-99 (se avsnitt 5.6) diskuteras ett antal platsspecifika förhållanden och skillnader. För Hästholmen nämns särskilt följande förhållanden:

- På grund av skillnader i salthalt och den pågående landhöjningen är det svårare att förutsäga den framtida utvecklingen för kustlägen jämfört med inlandslägen. Landhöjningen förväntas medföra att Hästholmen kommer att vara ett inlandsläge om ett antal tusen år.
- Utsläpp direkt till havet skulle sannolikt medföra betydligt lägre stråldos till omgivningen jämfört med utsläpp till landmiljön. Men, anför TILA-99, dagens biosfärsförhållanden bör inte vara en avgörande faktor vid val av plats.
- De förvarslayouter som tagits fram för Hästholmen korsas av deformationszoner med betydande transmissivitet.
- På grund av höga salthalter bör ett förvar vid Hästholmen inte förläggas djupare än cirka 800 meter.

Deformationszoner, bergspänningar och andra bergtekniska förhållanden innebär restriktioner för förvarslayout, byggande och drift av förvaret. TILA-99 ger följande exempel på faktorer som måste beaktas för ett förvar vid Hästholmen: *det för förvaret lämpliga området begränsas av svagt lutande deformationszoner på förvarsdjup; det för ett förvar tillgängliga utrymmet är mindre vid Hästholmen än vid övriga platser, särskilt om man undantar den del av området som ligger under dagens havsyta; höga bergspänningar förekommer inom delar av förvarsplatsen vid Hästholmen, vilket kan ställa särskilda krav (injektering, bergförstärkning) vid bygge och drift av ett förvar.*

Tabell 7-11. Bedömning av Hästholmen utifrån krav och önskemål.

Krav	Bedömning
Bergarterna inom förvarets deponeringsområde får inte ha malmpotential .	Kravet är uppfyllt.
Regionala plastiska skjuvzoner ska undvikas.	Kravet är uppfyllt.
Det måste vara möjligt att inplacera förvaret med hänsyn till sprickzonerna på platsen.	Kravet är uppfyllt, förutsatt att förvaret byggs i två plan (om förvaret ska kunna placeras under fastlandet).
Bergets hållfasthet, sprickgeometri och initiala bergspänningar får inte vara sådana att det uppstår omfattande stabilitetsproblem kring tunnlar eller deponeringshål i deponeringsområdet.	Kravet är uppfyllt, med reservation för osäkerheter beträffande bergspänningarna.
Grundvattnet på förvarsnivå får inte innehålla löst syre .	Kravet är uppfyllt.
Den totala salthalten (TDS) i grundvattnet måste understiga 100 g/l på förvarsnivå.	Kravet är uppfyllt.
Önskemål	Bedömning
Önskvärt att ett slutförvar lokaliserar till vanligt förekommande bergarter .	Önskemålet är uppfyllt.
Det är önskvärt med måttlig densitet av lokala sprickor och av mindre sprickzoner .	Önskemålet är uppfyllt.
Litologiskt komplex, inhomogen berggrund bör undvikas.	Önskemålet är uppfyllt.
En fördel om de initiala bergspänningarna på tänkt förlägningsdjup inte avviker från vad som är normalt i svensk kristallin berggrund.	Underlaget är osäkert, men indikerar att önskemålet inte är uppfyllt.
Önskvärt med för svensk berggrund normala hållfasthets- och deformationsegenskaper hos det intakta berget.	Önskemålet är uppfyllt.
Det är önskvärt att temperaturutvidningskoefficienten har normala värden.	Önskemålet är uppfyllt.
Berget bör ha högre värmeledningsförmåga än 2,5 W/(m·K). Områden med stor potential för geotermisk energiutvinning bör undvikas. Den ostörda temperaturen på förvarsdjup bör understiga 25 °C.	Önskemålen är uppfyllda.
Det är en fördel om en stor del av bergmassan i deponeringsområdet har en vattengenomsläpplighet (K) som är mindre än 10 ⁻⁸ m/s.	Önskemålet är uppfyllt.
Sprickzoner som behöver passeras under bygge bör ha så låg vattengenomsläpplighet att passage kan ske utan stora problem vilket innebär att zoner bör ha en transmissivitet (T) som är lägre än 10 ⁻⁵ m ² /s och att de dessutom inte är byggnadstekniskt besvärliga.	Önskemålet är uppfyllt.
Det är en fördel om den lokala hydrauliska gradienten är lägre än 1 % på förvarsnivå.	Önskemålet är uppfyllt.
Ostört grundvatten på förvarsnivå bör ha ett pH i intervallet 6–10, ha en låg halt av organiska ämnen ([DOC] < 20 mg/l), låg kolloidhalt (lägre än 0,5 mg/l), låga ammoniumhalter , visst innehåll av kalcium och magnesium ([Ca ²⁺]+[Mg ²⁺] > 40 mg/l) och låga halter av radon och radium .	Önskemålen är uppfyllda.
Det är ett önskemål att det sker en väsentlig fördröjning av viktiga radionuklider i geosfären. En stor del av alla strömningsvägar bör ha ett transportmotstånd F som är större än 10 ⁴ år/m.	Önskemålet är uppfyllt.
Utgående från de skrivelser som finns i SR 97 så bör inte formationsfaktorn vara lägre än cirka 5×10 ⁻⁷ , se bilaga 2.	Önskemålet är uppfyllt.

7.2.2 Olkiluoto

Omfattande geologiska och geofysiska markundersökningar kompletterade med ett stort antal borrhål har utförts inom området. Alla resultat är väl dokumenterade och analyserade. Detta ger mycket goda möjligheter att göra relativt detaljerade bedömningar.

Utförda hydrogeologiska undersökningar är omfattande och bedöms vara av god kvalitet. Den stora variationen i uppmätt transmissivitet längs en del strukturer kan återspegla verkligheten, men den kan också bero på fel i bestämningen av positionen av vissa strukturer längs borrhålen. Hydrauliska modelleringar har gjorts för att belysa flödesförhållanden i den undersökta bergvolymen.

I TILA-99 (se avsnitt 5.6) diskuteras ett antal platsspecifika förhållanden och skillnader. För Olkiluoto nämns särskilt följande förhållanden:

- På grund av skillnader i salthalt och den pågående landhöjningen är det svårare att förutsäga den framtida utvecklingen för kustlägen jämfört med inlandslägen. Landhöjningen förväntas medföra att Olkiluoto kommer att vara ett inlandsläge om ett antal tusen år.
- Utsläpp direkt till havet skulle sannolikt medföra betydligt lägre stråldos till omgivningen jämfört med utsläpp till landmiljön. Men, anför TILA-99, dagens biosfärsförhållanden bör inte vara en avgörande faktor vid val av plats.
- Topografin kring Olkiluoto är flackare än vid Hästholmen.
- Den förvarslayout som tagits fram för Olkiluoto bedöms vara gynnsam eftersom den inte berörs av zoner.
- På grund av höga salthalter bör ett förvar vid Olkiluoto inte förläggas djupare än cirka 700 meter.

Deformationszoner, bergspänningar och andra bergtekniska förhållanden innebär restriktioner för förvarslayout, byggande och drift av förvaret. TILA-99 ger följande exempel på faktorer som måste beaktas för ett förvar vid Olkiluoto: *det för förvaret lämpliga området begränsas av svagt lutande deformationszoner på förvarsdjup; höga bergspänningar förekommer inom delar av förvarsplatsen, vilket kan ställa särskilda krav (injektering, bergförstärkning) vid bygge och drift av ett förvar.*

Tabell 7-12. Bedömning av Olkiluoto utifrån krav och önskemål.

Krav	Bedömning
Bergarterna inom förvarets deponeringsområde får inte ha malmpotential .	Kravet är uppfyllt.
Regionala plastiska skjuvzoner ska undvikas.	Kravet är uppfyllt.
Det måste vara möjligt att inplacera förvaret med hänsyn till sprickzonerna på platsen.	Kravet är uppfyllt.
Bergets hållfasthet, sprickgeometri och initiala bergspänningar får inte vara sådana att det uppstår omfattande stabilitetsproblem kring tunnlar eller deponeringshål i deponeringsområdet.	Kravet är uppfyllt.
Grundvattnet på förvarsnivå får inte innehålla löst syre .	Kravet är uppfyllt.
Den totala salthalten (TDS) i grundvattnet måste understiga 100 g/l på förvarsnivå.	Kravet är uppfyllt.
Önskemål	Bedömning
Önskvärt att ett slutförvar lokaliseras till vanligt förekommande bergarter .	Önskemålet är uppfyllt.
Det är önskvärt med måttlig densitet av lokala sprickor och av mindre sprickzoner .	Önskemålet är uppfyllt.

Litologiskt komplex, inhomogen berggrund bör undvikas.	Önskemålet är uppfyllt.
En fördel om de initiala bergspänningarna på tänkt förläggningsdjup inte avviker från vad som är normalt i svensk kristallin berggrund.	Önskemålet är uppfyllt.
Önskvärt med för svensk berggrund normala hållfasthets- och deformationsegenskaper hos det intakta berget.	Önskemålet är uppfyllt.
Det är önskvärt att temperaturutvidgningskoefficienten har normala värden.	Önskemålet är uppfyllt.
Berget bör ha högre värmeledningsförmåga än 2,5 W/(m·K). Områden med stor potential för geotermisk energitvinnning bör undvikas. Den ostörda temperaturen på förvarsdjup bör understiga 25 °C.	Önskemålen är uppfyllda, möjligen med undantag för värmeledningsförmåga i delar av området.
Det är en fördel om en stor del av bergmassan i deponeringsområdet har en vattengenomsläpplighet (K) som är mindre än 10 ⁻⁸ m/s.	Önskemålet är uppfyllt.
Sprickzoner som behöver passeras under bygge bör ha så låg vattengenomsläpplighet att passage kan ske utan stora problem vilket innebär att zoner bör ha en transmissivitet (T) som är lägre än 10 ⁻⁵ m ² /s och att de dessutom inte är byggnadstekniskt besvärliga.	Önskemålet är uppfyllt.
Det är en fördel om den lokala hydrauliska gradienten är lägre än 1 % på förvarsnivå.	Önskemålet är uppfyllt.
Ostört grundvatten på förvarsnivå bör ha ett pH i intervallet 6–10, ha en låg halt av organiska ämnen ([DOC] < 2 0 mg/l), låg kolloidhalt (lägre än 0,5 mg/l), låga ammoniumhalter , visst innehåll av kalcium och magnesium ([Ca ²⁺]+[Mg ²⁺] > 40 mg/l) och låga halter av radon och radium .	Önskemålen är uppfyllda.
Det är ett önskemål att det sker en väsentlig fördröjning av viktiga radionuklider i geosfären. En stor del av alla strömningsvägar bör ha ett transportmotstånd F som är större än 10 ⁴ år/m.	Önskemålet är uppfyllt.
Utgående från de skrivningar som finns i SR 97 så bör inte formationsfaktorn vara lägre än cirka 5×10 ⁻⁷ , se bilaga 2.	Önskemålet är uppfyllt.

7.2.3 Kivetty

Omfattande geologiska och geofysiska markundersökningar kompletterade med ett stort antal borrhål har utförts inom området. Alla resultat är väl dokumenterade och analyserade. Detta ger mycket goda möjligheter att göra relativt detaljerade bedömningar.

Utförda hydrogeologiska undersökningar bedöms vara omfattande och av god kvalitet. Överensstämmelsen mellan karterade öppna sprickor alternativt fyllda sprickor och utvärderad transmissivitet, är inte lika god som för övriga finska områden. Hydrauliska modelleringar har gjorts för att belysa flödesförhållanden i den undersökta bergvolymen.

I TILA-99 (se avsnitt 5.6) diskuteras ett antal plats specifika förhållanden och skillnader. För Kivetty nämns särskilt följande förhållanden:

- Grundvattenströmningen är generellt sett större i Kivetty än i Romuvaara. Detta beror på att topografin vid Kivetty är mer kuperad jämfört med Romuvaara.
- Den förvarslayout som tagits fram för Kivetty bedöms vara gynnsam eftersom den inte berörs av zoner.

Deformationszoner, bergspänningar och andra bergtekniska förhållanden innebär restriktioner för förvarslayout, byggande och drift av förvaret. För Kivetty nämns särskilt den svärm av deformationszoner som delar förvarsområdet vid Kivetty i två delar.

Tabell 7-13. Bedömning av Kivetty utifrån krav och önskemål.

Krav	Bedömning
Bergarterna inom förvarets deponeringsområde får inte ha malmpotential .	Kravet är uppfyllt.
Regionala plastiska skjuvzoner ska undvikas.	Kravet är uppfyllt.
Det måste vara möjligt att inplacera förvaret med hänsyn till sprickzonerna på platsen.	Kravet är uppfyllt.
Bergets hållfasthet, sprickgeometri och initiala bergspänningar får inte vara sådana att det uppstår omfattande stabilitetsproblem kring tunnlar eller deponeringshål i deponeringsområdet.	Kravet är uppfyllt.
Grundvattnet på försvarsnivå får inte innehålla löst syre .	Utifrån tillgängliga kemidata från platsen går det inte att bedöma om kravet är uppfyllt. Men dagens kunskap om grundvattenkemin på stort djup i kristallint berg talar ändå för att det råder reducerande förhållanden på försvarsdjup, se bilaga 1 och 4.
Den totala salthalten (TDS) i grundvattnet måste understiga 100 g/l på försvarsnivå.	Kravet är uppfyllt.
Önskemål	Bedömning
Önskvärt att ett slutförvar lokaliseras till vanligt förekommande bergarter .	Önskemålet är uppfyllt.
Det är önskvärt med måttlig densitet av lokala sprickor och av mindre sprickzoner .	Önskemålet är uppfyllt.
Litologiskt komplex, inhomogen berggrund bör undvikas.	Önskemålet är uppfyllt.
En fördel om de initiala bergspänningarna på tänkt förläggingsdjup inte avviker från vad som är normalt i svensk kristallin berggrund.	Önskemålet är uppfyllt.
Önskvärt med för svensk berggrund normala hållfasthets- och deformationsegenskaper hos det intakta berget.	Önskemålet är uppfyllt.
Det är önskvärt att temperaturutvidgningskoefficienten har normala värden.	Önskemålet är uppfyllt.
Berget bör ha högre värmeledningsförmåga än 2,5 W/(m·K). Områden med stor potential för geotermisk energitvinnning bör undvikas. Den ostörda temperaturen på försvarsdjup bör understiga 25 °C.	Önskemålet beträffande värmeledningsförmåga uppfyllt med undantag för kvartsfattiga bergarter. Övriga önskemål är uppfyllda.
Det är en fördel om en stor del av bergmassan i deponeringsområdet har en vattengenomsläpplighet (K) som är mindre än 10 ⁻⁸ m/s.	Önskemålet är uppfyllt.
Sprickzoner som behöver passeras under bygge bör ha så låg vattengenomsläpplighet att passage kan ske utan stora problem vilket innebär att zoner bör ha en transmissivitet (T) som är lägre än 10 ⁻⁵ m ² /s och att de dessutom inte är byggnadstekniskt besvärliga.	Önskemålet är uppfyllt.
Det är en fördel om den lokala hydrauliska gradienten är lägre än 1 % på försvarsnivå.	Önskemålet är med tvekan uppfyllt.
Ostört grundvattnet på försvarsnivå bör ha ett pH i intervallet 6–10, ha en låg halt av organiska ämnen ([DOC] < 20 mg/l), låg kolloidhalt (lägre än 0,5 mg/l), låga ammoniumhalter , visst innehåll av kalcium och magnesium ([Ca ²⁺]+[Mg ²⁺] > 40 mg/l) och låga halter av radon och radium .	Utifrån dagens kunskap om grundvattenkemin på stort djup i kristallint berg är det rimligt att tro att önskemålen är uppfyllda även om detta inte går att verifiera med tillgängliga kemidata från platsen, se bilaga 1 och 4.
Det är ett önskemål att det sker en väsentlig fördröjning av viktiga radionuklider i geosfären. En stor del av alla strömningsvägar bör ha ett transportmotstånd F som är större än 10 ⁴ år/m.	Önskemålet är uppfyllt.
Utgående från de skrivningar som finns i SR 97 så bör inte formationsfaktorn vara lägre än cirka 5×10 ⁻⁷ , se bilaga 2.	Önskemålet är uppfyllt.

7.2.4 Romuvaara

Omfattande geologiska och geofysiska markundersökningar kompletterade med ett stort antal borrhål har utförts inom området. Alla resultat är väl dokumenterade och analyserade. Detta ger mycket goda möjligheter att göra relativt detaljerade bedömningar.

Utförda hydrogeologiska undersökningar är omfattande och bedöms vara av god kvalitet. Romuvaara var det första av de finska områdena för vilket en strukturmodell utarbetades. Det kan därför finnas strukturer i detta område som i andra områden har klassificerats som bergmassa. Hydrauliska modelleringar har gjorts för att belysa flödesförhållanden i den undersökta bergvolymen.

I TILA-99 (se avsnitt 5.6) diskuteras ett antal platsspecifika förhållanden och skillnader. För Romuvaara nämns särskilt följande förhållanden:

- Grundvattenströmningen är generellt sett mindre i Romuvaara än i Kivetty. Detta beror på att topografin vid Romuvaara är mindre kuperad jämfört med Kivetty.
- Den förvarslayout som tagits fram för Romuvaara korsas av deformationszoner med betydande transmissivitet.

De höga bergspänningar som förekommer inom delar av förvarsplatsen vid Romuvaara kan innebära restriktioner och särskilda krav (injektering, bergförstärkning) för förvarslayout, byggande och drift av förvaret.

Tabell 7-14. Bedömning av Romuvaara utifrån krav och önskemål.

Krav	Bedömning
Bergarterna inom förvarets deponeringsområde får inte ha malmpotential .	Kravet är uppfyllt.
Regionala plastiska skjuvzoner ska undvikas.	Kravet är uppfyllt.
Det måste vara möjligt att inplacera förvaret med hänsyn till sprickzonerna på platsen.	Kravet är uppfyllt.
Bergets hållfasthet, sprickgeometri och initiala bergspänningar får inte vara sådana att det uppstår omfattande stabilitetsproblem kring tunnlar eller deponeringshål i deponeringsområdet.	Kravet är uppfyllt.
Grundvattnet på förvarsnivå får inte innehålla löst syre .	Utifrån tillgängliga kemidata från platsen går det inte att bedöma om kravet är uppfyllt. Men dagens kunskap om grundvattenkemin på stort djup i kristallint berg talar ändå för att det råder reducerande förhållanden på förvarsdjup, se bilaga 1 och 4.
Den totala salthalten (TDS) i grundvattnet måste understiga 100 g/l på förvarsnivå.	Kravet är uppfyllt.
Önskemål	Bedömning
Önskvärt att ett slutförvar lokaliserar till vanligt förekommande bergarter .	Önskemålet är uppfyllt.
Det är önskvärt med måttlig densitet av lokala sprickor och av mindre sprickzoner .	Önskemålet är uppfyllt.
Litologiskt komplex, inhomogen berggrund bör undvikas.	Önskemålet är uppfyllt.
En fördel om de initiala bergspänningarna på tänkt förläggningsdjup inte avviker från vad som är normalt i svensk kristallin berggrund.	Önskemålet är uppfyllt.
Önskvärt med för svensk berggrund normala hållfasthets- och deformationsegenskaper hos det intakta berget.	Önskemålet är uppfyllt.
Det är önskvärt att temperaturutvidgningskoefficienten har normala värden.	Önskemålet är uppfyllt.

Berget bör ha högre värmeledningsförmåga än 2,5 W/(m·K). Områden med stor potential för geotermisk energiutvinning bör undvikas. Den ostörda temperaturen på förvarsdjup bör understiga 25 °C.	Önskemålet beträffande värmeledningsförmåga uppfyllt med undantag för kvartsfattiga bergarter. Övriga önskemål är uppfyllda.
Det är en fördel om en stor del av bergmassan i deponeringsområdet har en vattengenomsläpplighet (K) som är mindre än 10 ⁻⁸ m/s.	Önskemålet är uppfyllt.
Sprickzoner som behöver passeras under bygge bör ha så låg vattengenomsläpplighet att passage kan ske utan stora problem vilket innebär att zoner bör ha en transmissivitet (T) som är lägre än 10 ⁻⁵ m ² /s och att de dessutom inte är byggnadstekniskt besvärliga.	Önskemålet är uppfyllt.
Det är en fördel om den lokala hydrauliska gradienten är lägre än 1 % på förvarsnivå.	Önskemålet är med tvekan uppfyllt.
Ostört grundvatten på förvarsnivå bör ha ett pH i intervallet 6–10, ha en låg halt av organiska ämnen ([DOC] < 20 mg/l), låg kolloidhalt (lägre än 0,5 mg/l), låga ammoniumhalter , visst innehåll av kalcium och magnesium ([Ca ²⁺]+[Mg ²⁺] > 40 mg/l) och låga halter av radon och radium .	Utifrån dagens kunskap om grundvattenkemin på stort djup i kristallint berg är det rimligt att tro att önskemålen är uppfyllda även om detta inte går att verifiera med tillgängliga kemidata från platsen, se bilaga 1 och 4..
Det är ett önskemål att det sker en väsentlig fördröjning av viktiga radionuklider i geosfären. En stor del av alla strömningsvägar bör ha ett transportmotstånd F som är större än 10 ⁴ år/m.	Önskemålet är uppfyllt.
Utgående från de skrivningar som finns i SR 97 så bör inte formationsfaktorn vara lägre än cirka 5×10 ⁻⁷ , se bilaga 2.	Uppgifter om formationsfaktorn saknas. Enbart diffusivitetvärden finns rapporterade /7-8/.

7.3 Bedömning referensområdena – en översikt

Gjorda bedömningar av referensområdena mot krav och önskemål sammanfattats i tabell 7-15 och 7-16. Tabell 7-15 visar bedömningar av om kraven och tabell 7-16 visar bedömningar av om önskemålen enligt kapitel 6 är uppfyllda. I tabell 3-1 och 3-3 redovisas undersökningarnas omfattning för samtliga undersökta områden. Tabellerna är en mycket komprimerad sammanfattning av ett omfattande material. Det är därför viktigt att läsa tabellerna tillsammans med kommentarerna i kapitel 7 och bilaga 1.




Att göra de bedömningar mot uppställda krav och önskemål som redovisas i detta kapitel är förknippat med svårigheter. Platserna är geologiskt olika och de undersökningar som bedömningarna baseras på varierar en hel del i omfattning och kvalitet. Under alla de år som undersökningarna pågått har instrument och undersökningsmetoder utvecklats och förbättrats; i flera fall har nya instrument och metoder introducerats. Resultat från undersökningar som utförts senare är därför mer noggranna än undersökningar från tidiga skeden. Men skillnaderna i noggrannhet är omöjliga att kvantifiera. Detta förhållande försvårar möjligheten att göra rättvisande bedömningar och jämförelser. Även för de områden där det finns data från relativt omfattande undersökningar finns det osäkerheter och frågetecken som skulle kräva data från nya undersökningar för att kunna besvaras. Trots dessa reservationer torde bedömningarna vara rimligt trovärdiga. Den tillämpade metodiken har fördelen att den kan följas och värderas. Samma metodik har tillämpats för samtliga områden – bedömningarna har gjorts parameter för parameter enligt uppställda krav och önskemål. Kraven och önskemålen baseras på ett gediget underlag, se /7-1/. För att komplettera bilden kommenteras, för varje område, möjligheterna att göra bedömningar.

Det geometriska kravet att ett slutförvar ska kunna inrymmas på platsen bestäms dels av hur mycket använt kärnbränsle som ska slutförvaras och dels av bergets egenskaper, särskilt värmeledningsförmågan och hur förvaret kan inplaceras mellan deformationszoner som måste undvikas och som kanske kräver respektavstånd. Hur mycket använt kärnbränsle som ska slutförvaras har ändrats under de år som undersökningarna pågått. KBS-3-projektet hade som förutsättning att

Tabell 7-15. Bedömning av om ett referensområde uppfyller eller inte uppfyller krav enligt avsnitt 6.2.1.

OMRÅDE	KRAV					
	Malpotential	Regionala skjuzoner	Förvaret kan inplaceras - för slutförvaret plats?	Bergmekanik	Inget löst syre	Salthalt < 100 g/l
Sternö	not 5		not 3	not 4	not 1	
Klipperås	not 5		not 6	not 4	not 1	
Äspö						
Kråkemåla				not 4	not 1	
Fjällveden				not 4	not 1	
Finnsjön			not 9		not 1	
Svartboberget				not 4	not 1	
Gideå					not 1	
Kamlunge	not 5			not 4	not 1	
Taavinunnanen			not 8	not 4	not 1	
Hästholmen			not 7	not 2		
Olkiluoto						
Kivetty					not 1	
Romuvaara					not 1	

Teckenförklaring

-  = Kravet är uppfyllt.
-  = Tveksamt om kravet är uppfyllt.
-  = Kravet är inte uppfyllt.
- not 1 = Utifrån tillgängliga kemidata från platsen går det inte att bedöma om kravet är uppfyllt. Men dagens kunskap om grundvattenkemin på stort djup i kristallint berg talar ändå för att det råder reducerande förhållanden på förvarsdjup, se bilaga 1 och 4.
- not 2 = Viss reservation för osäkerheter beträffande bergspänningar.
- not 3 = Med reservation för att det undersökta området inte är tillräckligt stort.
- not 4 = Stabilitetsanalyser och data för bergspänningar saknas.
- not 5 = Särskild studie saknas men kunskap om berggrunden indikerar att kravet är uppfyllt.
- not 6 = Svårt att bedöma med hänsyn till den komplexa litologin och den låga bergblottningsgraden.
- not 7 = Om förvaret ska förläggas enbart under fastlandet krävs sannolikt en utformning i två plan.
- not 8 = Svårt att bedöma eftersom endast ett kärnborrhål borrades.
- not 9 = Kravet bedöms vara uppfyllt, med reservation för att dataunderlaget är ofullständigt.

kärnkraften skulle avvecklas 2010 och att mängden använt bränsle var högst 7 000 ton uran. Idag är kravet att bygga ett förvar som rymmer 12 000 ton uran. Ökningen beror främst på väsentligt längre drifttider men också på att reaktorerna byggs om och får högre effekt. Även i Finland har förutsättningarna ändrats. Inledningsvis gällde studierna ett slutförvar för bränsle från enbart de två reaktorerna i Olkiluoto och 40 års drift, vilket innebar 2 000 ton uran. När bränsleavtalet med Ryssland upphörde tillkom bränsle från de två reaktorerna i Lovisa. När sedan den tredje reaktorn i Olkiluoto beställdes och drifttiden utsträcktes till 50 à 60 år ökade bränslemängden till cirka 6 500 ton uran. Dessa i tiden förändrade mängder har påverkat kravet på bergvolym betydligt och därmed i viss mån också omfattningen av bergundersökningarna.

För sju av områdena (Äspö, Finnsjön, Gideå, Olkiluoto, Hästholmen, Kivetty och Romuvaara) har säkerhetsanalyser utförts. För dessa områden finns det alltså en integrerad bedömning av den långsiktiga säkerheten. Lämpligheten kan därmed bedömas på en annan nivå för dessa platser än för övriga. En genomgång mot krav och önskemål är ändå motiverad därför att det ger en uppfattning om tillförlitlighet/osäkerheter hos parametrar som är väsentliga för säkerhetsanalysen. Dessutom är underlaget för säkerhetsanalyserna varierande. För flera områden skulle det krävas ytterligare undersökningar för att få en tillräckligt bra beskrivning av platsen. I dessa fall blir bedömningen knappast säkrare med en säkerhetsanalys än med den jämförelseparameter för parameter som tillämpats för denna rapport.

7.4 Erfarenheter från Äspö

En viktig del i verksamheten under Äspölaboratoriets förundersöknings- och byggskeden var utveckling och prov av olika undersökningsmetoder samt utveckling och prov av modeller för att beskriva bergets funktion i djupförvarssystemet. Målet var att visa att undersökningar på markytan och i borrhål kan ge tillräckliga data om väsentliga säkerhetsrelaterade egenskaper hos berget på förvarsnivå. Resultaten från undersökningar på marken och i borrhål användes för att successivt bygga upp mer detaljerade modeller över bergarter, geologiska strukturer, geohydrologi, grundvattenkemi samt bergmekaniska förhållanden på Äspö.

Tabell 7-16. Bedömning av om ett referensområde uppfyller eller inte uppfyller önskemål enligt avsnitt 6.2.2.

OMRÅDE	ÖNSKEMÅL																
	GEOLOGI			MEKANIK			VÄRME			HYDROLOGI			KEMI		TRPT		
	Vanlig bergart	Normal sprickfrekvens	Homogen berggrund	Normala bergspänningar	Normal hållfasthet	Normala deformationsegenskaper	Normal temperaturutvidgning	Värmeledning > 2,5 W/m.K ⁻¹	Temperatur < 25 grader C	Vattengenomsläppligheten < 10 ⁻⁸	Inga besvärande sprickzoner	Hydraulisk gradient < 1%	pH 6-10	Kolloider < 0,5 mg/l	Ca+Mg > 40 mg/l	Transportmätstånd > 10 ⁴ år/m	Formationsfaktor > 5x10 ⁷
Sternö				us	not 2	not 2	not 3	not 3					not 5	not 5	not 5	us	
Klipperås	not 1			us	us	us	not 3	not 3					not 5	not 5	not 5	us	us
Äspö																not 9	us
Kråkemåla				not 8	not 2	not 2	not 3	not 3					not 5	not 5	not 5	us	us
Fjällveden				us	us	us	not 3						not 5	not 5	not 5	us	
Finnsjön				not 2	not 2	not 2	not 3	not 3									
Svartboberget				us	us	us	not 3	not 3					not 5	not 5	not 5	us	
Gideå	not 4			not 2	not 2	not 2	not 3						not 5	not 5	not 5		
Kamlunge				us	us	us	not 3						not 5	not 5	not 5	us	us
Taavinunnanen				us	us	us	not 3			us			not 5	not 5	not 5	us	us
Hästholmen				not 6													
Olkiluoto																	
Kivetty								not 7					not 5	not 5	not 5		
Romuvaara								not 7					not 5	not 5	not 5		us

Teckenförklaring

- = Önskemålet är uppfyllt.
- = Tveksamt om önskemålet är uppfyllt.
- = Önskemålet är inte uppfyllt.
- us = Underlag för bedömning saknas.
- not 1 = Svårbedömt på grund av låg bergblottningsgrad.
- not 2 = Önskemålet uppfyllt, med reservation för att dataunderlaget är begränsat.
- not 3 = Data från platsen saknas. Med ledning av litologiska förhållanden bedöms önskemålet vara uppfyllt.
- not 4 = Med undantag för inslaget av basiska gångar bedöms önskemålet vara uppfyllt.
- not 5 = Utifrån dagens kunskap om grundvattenkemin på stort djup i kristallint berg är det rimligt att tro att önskemålet är uppfyllt även om detta inte går att verifiera med tillgängliga kemidata från platsen, se bilaga 1 och 4.
- not 6 = Underlaget är osäkert.
- not 7 = Ej uppfyllt i partier med kvartsfattiga bergarter.
- not 8 = Bedömningsunderlag saknas, höga bergspänningar har noterats på platser med liknande geologi.
- not 9 = Önskemålet är troligen inte uppfyllt men kan vara med tvekan uppfyllt, se bilaga 1 och bilaga 2.

I och med att förundersökningsskedet avslutades hösten 1990 redovisades modeller och prognoser för de bergförhållanden som förväntades vid bygget av tunneln. Dessa förutsägelser kontrollerades sedan i samband med de undersökningar som genomförts under anläggnings-skedet. Arbetet att verifiera förundersökningarna och gjorda bedömningar slutrapporterades 1997 /7-4, 7-9, 7-10, 7-11/. En sammanfattning finns i /7-12/. De metoder som använts och erfarenheterna från deras praktiska användning har också redovisats /7-13, 7-14/. Sammantaget kan man konstatera att tillförlitligheten i prognoserna är stark beroende av i vilken skala prognoserna görs. För Äspölaboratoriet valdes tre skalor, site-skala 100–1 000 meter, blockskala 10–100 meter och detaljskala < 10 meter. I site-skala var överensstämmelsen mycket god mellan förutsägelser och utfall. De allra flesta större sprickzoner och bergartsfördelningarna kunde förutses med god precision, liksom vatteninflödet till anläggningen. I blockskalan visade det sig svårare att nå en god överensstämmelse. Detta gällde läget av mindre deformationszoner

och bergartsgränser. Än svårare var det att för bergblock som ligger mer än 50–100 meter från borrhålet göra prognoser i detaljskala (< 10 m). Däremot är observationerna i undersökningsborrhålet givetvis i detaljskala.

Prediktioner och utfall som de användes i Äspölaboratoriet gav en god uppfattning om vilka storheter som kan bestämmas deterministiskt och vilka som endast kan anges stokastiskt. Denna kunskap användes då programmen för platsundersökningarna förbereddes.

Arbetet med att karakterisera berggrunden vid Äspölaboratoriet har visat att relevanta modeller som väl beskriver förhållandena på en vald plats kan tas fram genom tillämpning av tillgänglig metodik av god kvalitet för karakterisering, dataanalys, modellering och samlad utvärdering. Detta visar att verktyg finns för insamling av data från markytan och i borrhål samt för modellering av en plats så att dess lämplighet för lokalisering av ett slutförvar kan bedömas. De data som insamlats från Äspö har använts i säkerhetsanalyser av ett tänkt förvar på Äspö, dels av SKI i den så kallade SITE-94 och dels av SKB i SR 97. Data på väsentliga säkerhetsrelaterade egenskaper hos berget på förvarsnivå kan således erhållas från markytan och i borrhål. Undersökningarna från Äspötunneln har huvudsakligen bekräftat de modeller som gjordes innan tunneln började byggas. De nya data som erhållits från tunneln har givit underlag för successiv detaljering av modellerna men inte förändrat den grundläggande bilden av förhållandena på Äspö.

Men det är inte givet att man på en annan plats med en annan geologi skulle få lika god överensstämmelse mellan bedömningar baserade på förundersökningar och observationer från bygge av tunnlar och schakt som man har på Äspö. Varje plats har sina specifika egenskaper. En viss försiktighet är därför att rekommendera innan man generaliserar och överför erfarenheter från Äspö till en annan plats.

Referenser

Sammanfattning och Abstract

- 0-1 **Andersson J, Ström A, Svemar C, Almén K-E, Ericsson L O, 2000.** Vilka krav ställer djupförvaret på berget? Geovetenskapliga lämplighetsindikatorer och kriterier för lokalisering och platsutvärdering. SKB R-00-15. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 0-2 **SKB, 1995.** Översiktsstudie 95. Lokalisering av djupförvar för använt kärnbränsle. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 0-3 **SKB, 2004.** Interim main report of the safety assessment SR-Can. SKB TR-04-11. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 0-4 **SKB, 2011.** Long-term safety for the final repository for spent nuclear fuel at Forsmark. Main report of the SR-Site project. SKB TR-11-01, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 0-5 **Andersson J, Ström A, Svemar C, Almén K-E, Ericsson L O, 2000.** What requirements does the KBS-3 repository make on the host rock? Geoscientific suitability indicators and criteria for siting and site evaluation. SKB TR-00-12, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Kapitel 1

- 1-1 **Johansson R, 2006.** Lokalisering av slutförvaret för använt kärnbränsle. En översikt av trettio års arbete. SKB R-06-42. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 1-2 **SOU 1976:41.** Använt kärnbränsle och radioaktivt avfall. Aka-utredningen.
- 1-3 **Ahlbom K, Olkiewicz A, Scherman S, 1979.** Val av platser för fortsatta undersökningar av bergformationer i södra Sverige. Prav 4.11. Programrådet för radioaktivt avfall.
- 1-4 **SKBF/KBS, 1978.** Kärnbränslecykelns slutsteg. Slutförvaring av använt kärnbränsle – KBS-2. Del I–II. Svensk Kärnbränsleförsörjning AB.
- 1-5 **Länsvisa översiktsstudier om geologiska förutsättningar.** Se förteckning sist i referenslistan.
- 1-6 **SKB, 2000.** Fud-K. Samlad redovisning av metod, platsval och program inför platsundersökningsskedet. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 1-7 **Leijon B, 1998.** Nord-syd/Kust-inland. Generella skillnader i förutsättningar för lokalisering av djupförvar mellan olika delar av Sverige. SKB R-98-16. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 1-8 **Voss C, Provost A M, 2001.** Recharge-area. Nuclear Waste Repository in Southeastern Sweden. Demonstration of Hydrogeologic Siting Concepts and Techniques. SKI Rapport 01:44. Statens kärnkraftinspektion.
- 1-9 **Ericsson L O, Holmén J, Rhén I, Blomquist N, 2006.** Storregional grundvattenmodellering – fördjupad analys av flödesförhållanden i östra Småland. SKB R-06-64. Svensk Kärnbränslehantering AB.

Kapitel 2

- 2-1 **SOU 1976:41.** Använt kärnbränsle och radioaktivt avfall. Aka-utredningen.
- 2-2 **SKBF/KBS, 1977.** Kärnbränslecykelns slutsteg. Förglasat avfall från upparbetning – KBS-1. Del I–V. Svensk Kärnbränsleförsörjning AB.

- 2-3 **SKBF/KBS, 1978.** Kärnbränslecykelns slutsteg. Slutförvaring av använt kärnbränsle – KBS-2. Del I–II. Svensk Kärnbränsleförsörjning AB.
- 2-4 **SKBF/KBS, 1983.** Kärnbränslecykelns slutsteg. Använt kärnbränsle – KBS-3. Del I–IV. Svensk Kärnbränsleförsörjning AB.
- 2-5 **Milnes A G, 2002.** Swedish deep repository siting programme. Guide to the documentation of 25 years of geoscientific research (1976–2000). SKB TR-02-18. Svensk Kärnbränslehantering AB.

Kapitel 3

- 3-1 **SKB, 1995.** Översiktsstudie 95. Lokalisering av djupförvar för använt kärnbränsle. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 3-2 **SKBF/KBS, 1983.** Kärnbränslecykelns slutsteg. Använt kärnbränsle – KBS-3. Del II Geologi. Svensk Kärnbränsleförsörjning AB.
- 3-3 **Thoregren U, 1983.** Final Disposal of Spent Nuclear Fuel – Standard Programme for Site Investigations. SKBF/KBS TR 83-31. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 3-4 **Ekman L, Gentzschein B, 1980.** Komplettering och sammanfattning av geohydrologiska undersökningar inom Sternöområdet, Karlshamn. SKBF/KBS TR 80-01. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 3-5 **Ahlbom K, Andersson J-E, Nordqvist R, Ljunggren C, Tirén S, Voss C, 1992.** Sternö study site. Scope of activities and main results. SKB TR 92-02. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 3-6 **SGU, 1998.** Översiktsstudie av Blekinge län: geologiska förutsättningar. SKB R-98-22. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 3-7 **Kornfält K-A, Bergström J, 1991.** Beskrivning till provisoriska, översiktliga Berggrundskartan Karlskrona. SGU-Ba:44. Sveriges geologiska undersökning.
- 3-8 **Pousette J, Fogdestam B, Gustavsson O, Engqvist P, 1983.** Beskrivning och bilagor till hydrogeologiska kartan över Blekinge län. ISBN:91-7158-261-4. Sveriges geologiska undersökning.
- 3-9 **Ahlbom K, Andersson J-E, Andersson P, Ittner T, Ljunggren C, Tirén S, 1992.** Klipperås study site. Scope of activities and main results. SKB TR 92-22. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 3-10 **Nilsson G, Gentzschein B, Sehlstedt S, 1987.** Sammanfattning av resultat från undersökningar utförda på typområde Klipperås. Sammanfattningsrapport. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 3-11 **SGU, 1998.** Översiktsstudie av Kalmar län: geologiska förutsättningar. SKB R-98-24. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 3-12 **Bergman T, Johansson R, Lindén A H, Rudmark L Wahlgren C-H, Follin S, Isaksson H, Lindroos H, Stanfors R, 1999.** Förstudie Oskarshamn. Erfarenheter från geovetenskapliga undersökningar i nordöstra delen av kommunen. SKB R-99-04. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 3-13 **Olkiewicz A, Sehlstedt S, 1984.** Geologisk och geofysisk undersökning av Bjuleboområdet. SKB R-08-20. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 3-14 **Ahlbom K, Olkiewicz A, Scherman S, 1979.** Val av platser för fortsatta undersökningar av bergformationer i södra Sverige. Prav 4.11. Programrådet för radioaktivt avfall.

- 3-15 **Ahlbom K, Ahlin S, Eriksson L, Samuelsson L, 1980.** Berggrundsgeologiska, tektoniska och geofysiska studier på Kynnefjäll. Prav 4.16. Programrådet för radioaktivt avfall.
- 3-16 **Ahlbom K, Andersson J-E, Nordqvist R, Ljunggren C, Tirén S, Voss C, 1991.** Fjällveden study site. Scope of activities and main results. SKB TR 91-52. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 3-17 **SGU, 1998.** Översiktsstudie av Södermanlands län: geologiska förutsättningar. SKB R-98-28. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 3-18 **SKB, 2000.** Förstudie Nyköping. Slutrapport. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 3-19 **Ahlbom K, Leijon B, Liedholm M, Smellie J, 1992.** Gabbro as a host rock for a nuclear waste repository. SKB TR 92-25. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 3-20 **Scherman S, Klockars C-E, Persson O, 1978.** Förarbeten till platsval, berggrundsundersökningar; Berggrundsförhållanden i Finnsjöområdets nordöstra del. KBS TR 60. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 3-21 **Ahlbom K, Andersson J-E, Andersson P, Ittner T, Ljunggren C, Tirén S, 1992.** Finnsjön study site. Scope of activities and main results. SKB TR 92-33. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 3-22 **SGU, 1998.** Översiktsstudie av Uppsala län: geologiska förutsättningar. SKB R-98-32. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 3-23 **SKB, 1992.** SKB 91 – Slutlig förvaring av använt kärnbränsle. Bergrundens betydelse för säkerheten. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 3-24 **SKB, 1999.** Djupförvar för använt kärnbränsle. SR 97 – Säkerheten efter förslutning. Huvudrapport – Del I, Del II och Sammanfattning. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 3-25 **SKB, 2000.** Förstudie Östhammar. Slutrapport. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 3-26 **SKB, 2000.** Förstudie Tierp. Slutrapport. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 3-27 **Hult A, Gidlund G, Thoregren U, Magnusson K-Å, Duran, 1978.** Permeabilitetsbestämningar; Geofysisk borrhålmätning. KBS TR 61. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 3-28 **Gidlund G, 1978.** Analyser och åldersbestämningar av grundvatten på stora djup. KBS TR 62. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 3-29 **Tirén S A, Eriksson L, Henkel H, 1981.** Berggrundsgeologiska, tektoniska och geofysiska studier av Voxnaområdet och det däri belägna typområdet Svartboberget. Prav 4.36. Programrådet för radioaktivt avfall.
- 3-30 **Ahlbom K, Carlsson L, Gentschein B, Jämtlid A, Olsson O, Tirén S, 1983.** Evaluation of the geological, geophysical and hydrogeological conditions at Svartboberget. SKBF/KBS TR 83-55. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 3-31 **Ahlbom K, Albino B, Carlsson L, Nilsson G, Olsson O, Stenberg L, Timje H, 1983.** Evaluation of the geological, geophysical and hydrogeological conditions at Gideå. SKBF/KBS TR 83-53. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 3-32 **Ahlbom K, Andersson J-E, Nordqvist R, Ljunggren C, Tirén S, Voss C, 1991.** Gideå study site. Scope of activities and main results. SKB TR 91-51. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 3-33 **SGU, 1998.** Översiktsstudie av Västernorrlands län: geologiska förutsättningar. SKB R-98-36. Svensk Kärnbränslehantering AB.

- 3-34 **SOU 1976:41.** Använt kärnbränsle och radioaktivt avfall. Aka-utredningen, bilaga 7. 1976.
- 3-35 **Gentzschein B, Scherman S, Thoregren U, 1981.** Undersökningar av fyra borrhål i Aka-område 2 (Pellbodberget), Västerbottens län. Prav 4.24. Programrådet för radioaktivt avfall.
- 3-36 **Enmark T, Nisca D, 1984.** The Gallejaur intrusion in northern Sweden – a geophysical study. Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar, vol 105, 287–300.
- 3-37 **Ahlbom K, Andersson J-E, Andersson P, Ittner T, Ljunggren C, Tirén S, 1992.** Kamlunge study site – Scope of activities and main results. SKB TR 92-15. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 3-38 **Gentzschein B, Tullborg E-L, 1985.** The Taavinunananen gabbro massif. A compilation of results from geological, geophysical and hydrogeological investigations. SKB TR 85-02. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 3-39 **Ahlbom K, Olkiewicz A, 1981.** Rekognoscerande studier för typområden i Västernorrlands och Norrbottens län under 1980–1981. Prav 4.31. Programrådet för radioaktivt avfall.
- 3-40 **McEwen T, Äikäs T, 2000.** The site selection process for a spent fuel repository in Finland – Summary report. Posiva 2000-15. Posiva Oy.
- 3-41 **Posiva, 1999.** Slutdeponeringsanläggning för använt kärnbränsle. Miljökonsekvensbeskrivning. Posiva Oy.
- 3-42 **Anttila P, Ahokas H, Front K, Hinkkanen H, Johansson E, Paulamäki S, Riekkola R, Saari J, Saksa J, Snellman M, Wikström L, Öhberg A, 1999.** Final disposal of spent nuclear fuel in Finnish bedrock – Hästholmen site report. Posiva 99-08. Posiva Oy.
- 3-43 **Vieno T, Nordman H, 1999.** Safety assessment of spent fuel disposal in Hästholmen, Kivetty, Olkiluoto and Romuvaara – TILA-99. Posiva 99-07. Posiva Oy.
- 3-44 **Anttila P, Ahokas H, Front K, Hinkkanen H, Johansson E, Paulamäki S, Riekkola R, Saari J, Saksa J, Snellman M, Wikström L, Öhberg A, 1999.** Final disposal of spent nuclear fuel in Finnish bedrock – Olkiluoto site report. Posiva 99-10. Posiva Oy.
- 3-45 **Anttila P, Ahokas H, Front K, Heikkinen E, Hinkkanen H, Johansson E, Paulamäki S, Riekkola R, Saari J, Saksa J, Snellman M, Wikström L, Öhberg A, 1999.** Final disposal of spent nuclear fuel in Finnish bedrock – Kivetty site report. Posiva 99-09. Posiva Oy.
- 3-46 **Anttila P, Ahokas H, Front K, Hinkkanen H, Johansson E, Paulamäki S, Riekkola R, Saari J, Saksa J, Snellman M, Wikström L, Öhberg A, 1999.** Final disposal of spent nuclear fuel in Finnish bedrock – Romuvaara site report. Posiva 99-11. Posiva Oy.
- 3-47 **TVO, 1992.** Final disposal of spent nuclear fuel in the Finnish bedrock, preliminary site investigations. Report YJT-92-32E. Nuclear Waste Commission of Finnish Power Companies.
- 3-48 **Olsson O (ed), 1992.** Stripa Project. Site Characterization and Validation – Final Report. Stripa Project TR 92-22. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 3-49 **Fairhurst C, Gera F, Gnirk P, Gray M, Stillborg B, 1993.** Stripa Project Overview Report. Vol. I: Executive summary. OECD/NEA International Stripa Project 1980–1992. Svensk Kärnbränslehantering AB.

- 3-50 **Gnirk P, 1993.** Stripa Project Overview Report. Volume II. Natural Barriers. OECD/NEA International Stripa Project 1980–1992. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 3-51 **Gray M, 1993.** Stripa Project Overview Report. Vol. III: Engineered barriers. OECD/NEA International Stripa Project 1980–1992. Svensk Kärnbränslehantering AB
- 3-52 **Stanfors R, Erlström M, Markström I, 1997.** Äspö HRL – Geoscientific evaluation 1997/1. Overview of site characterization 1986–1995. SKB TR 97-02. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 3-53 **Rhén I (ed), Bäckblom G (ed), Gustafson G, Stanfors R, Wikberg P, 1997.** Äspö HRL – Geoscientific evaluation 1997/2. Results from pre-investigations and detailed site characterization. Summary report. SKB TR 97-03. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 3-54 **Stanfors R, Olsson P, Stille H, 1997.** Äspö HRL – Geoscientific evaluation 1997/3. Results from pre-investigations and detailed site characterization. Comparison of predictions and observations. Geology and mechanical stability. SKB TR 97-04. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 3-55 **Rhén I, Gustafson G, Wikberg P, 1997.** Äspö HRL – Geoscientific evaluation 1997/4. Results from pre-investigations and detailed site characterization. Comparison of predictions and observations. Hydrogeology, groundwater chemistry and transport of solutes. SKB TR 97-05. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 3-56 **Rhén I (ed), Gustafson G, Stanfors R, Wikberg P, 1997.** Äspö HRL – Geoscientific evaluation 1997/5. Models based on site characterization 1986–1995. SKB TR 97-06. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 3-57 **SKB, 1996.** Äspö Hard Rock Laboratory. 10 years of Research. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 3-58 **Ekman L, 2001.** Project Deep Drilling KLX02-Phase 2. Methods, scope of activities and results. Summary. SKB TR-01-11. Svensk Kärnbränslehantering AB.

Kapitel 4

- 4-1 **Johansson R, 2006.** Lokalisering av slutförvaret för använt kärnbränsle. En översikt av trettio års arbete. SKB R-06-42. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 4-2 **SKB, 2000.** Fud-K. Samlad redovisning av metod, platsval och program inför platsundersökningsskedet. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 4-3 **SKI, 1996.** Site-94. Deep repository performance assessment project. Vol. I and II. SKI Report 96:36. Statens kärnkraftinspektion.
- 4-4 **SKB, 1999.** Djupförvar för använt kärnbränsle. SR 97 – Säkerheten efter förslutning. Huvudrapport – Del I, Del II och Sammanfattning. Svensk Kärnbränslehantering AB.

Kapitel 5

- 5-1 **Andersson J, Ström A, Svemar C, Almén K-E, Ericsson L O, 2000.** Vilka krav ställer djupförvaret på berget? Geovetenskapliga lämplighetsindikatorer och kriterier för lokalisering och platsutvärdering. SKB R-00-15. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 5-2 **SKBF/KBS, 1983.** Kärnbränslecykelns slutsteg. Använt kärnbränsle – KBS-3. Del I–IV. Svensk Kärnbränsleförsörjning AB.
- 5-3 **SKB, 1992.** SKB 91 – Slutlig förvaring av använt kärnbränsle. Bergrundens betydelse för säkerheten. Svensk Kärnbränslehantering AB.

- 5-4 **SKB, 1995.** SR 95. Mall för säkerhetsrapporter med beskrivande exempel. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 5-5 **SKB, 1999.** Djupförvar för använt kärnbränsle. SR 97 – Säkerheten efter förslutning. Huvudrapport – Del I, Del II och Sammanfattning. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 5-6 **SKI, 2000.** Internationell fristående expertgranskning av Säkerhetsrapport 97: Säkerhet efter förslutning av ett djupförvar för använt kärnbränsle i Sverige. SKI Rapport 00:45. Statens kärnkraftinspektion.
- 5-7 **SKB, 2000.** Fud-K. Samlad redovisning av metod, platsval och program inför platsundersökningsskedet. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 5-8 **SKI, 1991.** Project-90. Volume I, Volume II, Summary. SKI TR 91:23. Statens kärnkraftinspektion.
- 5-9 **SKI, 1997.** SKI SITE 94. Säkerhetsanalysprojekt för djupförvar i kristallint berg. SKI Rapport 97:6. Statens kärnkraftinspektion.
- 5-10 **Vieno T, Nordman H, 1999.** Safety assessment of spent fuel disposal in Hästholmen, Kivetty, Olkiluoto and Romuvaara – TILA-99. Posiva 99-07. Posiva Oy.
- 5-11 **Vieno T, Hautojärvi A, Koskinen L, Nordman H, 1992.** safety analysis of spent fuel disposal. Report YJT-92-33E. Nuclear Waste Commission of Finnish Power Companies, Helsinki.
- 5-12 **Vieno T, Nordman H, 1996.** Interim report on safety assessment of spent fuel disposal. TILA-96. Posiva 96-17. Posiva Oy.
- 5-13 **STUK, 1999.** Posiva's application for a decision in Principle concerning a disposal facility for spent nuclear fuel – A Preliminary Appraisal by the Radiation and Nuclear Safety Authority. Report STUK-YTO 198. Radiation and Nuclear Safety Authority (STUK).

Kapitel 6

- 6-1 **Andersson J, Ström A, Svemar C, Almén K-E, Ericsson L O, 2000.** Vilka krav ställer djupförvaret på berget? Geovetenskapliga lämplighetsindikatorer och kriterier för lokalisering och platsutvärdering. SKB R-00-15. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 6-2 **SKI, 2001.** SKI:s yttrande över SKB:s kompletterande redovisning till FUD-program 98. SKI Rapport 01:20. Statens kärnkraftinspektion.
- 6-3 **SKB, 2004.** Interim main report of the safety assessment SR-Can. SKB TR-04-11. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 6-4 **SKB, 2006.** Long-term safety for KBS-3 repositories at Forsmark and Laxemar – a first evaluation. Main report of the SR-Can project. SKB TR-06-09. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 6-5 **SKB, 2011.** Long-term safety for the final repository for spent nuclear fuel at Forsmark. Main report of the SR-Site project. SKB TR-11-01, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Kapitel 7

- 7-1 **Andersson J, Ström A, Svemar C, Almén K-E, Ericsson L O, 2000.** Vilka krav ställer djupförvaret på berget? Geovetenskapliga lämplighetsindikatorer och kriterier för lokalisering och platsutvärdering. SKB R-00-15. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 7-2 **SKBF/KBS, 1977.** Kärnbränslecykelns slutsteg. Förglasat avfall från upparbetning – KBS-1. Del I–V. Svensk Kärnbränsleförsörjning AB.

- 7-3 **SKBF/KBS, 1979.** Kärnbränslecykelns slutsteg. Förglasat avfall från uppärbetning – Kompletterande geologiska undersökningar. Februari 1979. Svensk Kärnbränsleförsörjning AB.
- 7-4 **Rhén I (ed), Bäckblom G (ed), Gustafson G, Stanfors R, Wikberg P, 1997.** Äspö HRL – Geoscientific evaluation 1997/2. Results from pre-investigations and detailed site characterization. Summary report. SKB TR 97-03. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 7-5 **SKB, 1999.** Djupförvar för använt kärnbränsle. SR 97 – Säkerheten efter förslutning. Huvudrapport – Del I, Del II och Sammanfattning. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 7-6 **Lindroos H, 2004.** The potential for ore, industrial minerals and commercial stones in the Simpevarp area. SKB R-04-72. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 7-7 **SKBF/KBS, 1983.** Kärnbränslecykelns slutsteg. Använt kärnbränsle – KBS-3. Del IV. Säkerhet. Svensk Kärnbränsleförsörjning AB.
- 7-8 **Puukko E, Heikkinen T, Hakanen M, Lindberg A, 1993.** Diffusion of water, Cesium and Neptunium in pores of rocks. Report YJT-93-23. Nuclear Waste Commission of Finnish Power companies.
- 7-9 **Stanfors R, Erlström M, Markström I, 1997.** Äspö HRL – Geoscientific evaluation 1997/1. Overview of site characterization 1986–1995. SKB TR 97-02. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 7-10 **Stanfors R, Olsson P, Stille H, 1997.** Äspö HRL – Geoscientific evaluation 1997/3. Results from pre-investigations and detailed site characterization. Comparison of predictions and observations. Geology and mechanical stability. SKB TR 97-04. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 7-11 **Rhén I, Gustafson G, Wikberg P, 1997.** Äspö HRL – Geoscientific evaluation 1997/4. Results from pre-investigations and detailed site characterization. Comparison of predictions and observations. Hydrogeology, groundwater chemistry and transport of solutes. SKB TR 97-05. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 7-12 **SKB, 1996.** Äspö Hard Rock Laboratory. 10 years of Research. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 7-13 **Almén K-E (ed), Olsson P, Rhén I, Stanfors R, Wikberg P, 1994.** Feasibility and usefulness of site investigation methods. Experiences from the pre-investigation phase. Äspö Hard Rock Laboratory. SKB TR 94-24. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 7-14 **Almén K-E, Stenberg L, 2005.** Äspö Hard Rock Laboratory. Characterisation methods and instruments. Experiences from the construction phase. SKB TR-05-11. Svensk Kärnbränslehantering AB.

Bilaga 1. Avsnitt B – Svenska undersökningar

- B1-1 **Ahlbom K, Andersson J-E, Nordqvist R, Ljunggren C, Tirén S, Voss C, 1992.** Sternö study site. Scope of activities and main results. SKB TR 92-02. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B1-2 **Milnes A G, Gee D, 1992.** Bedrock stability in Southeastern Sweden. Evidence from fracturing in the ordovician limestones of Northern Öland. SKB TR 92-23. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B1-3 **Hult A, Gidlund G, Thoregren U, Magnusson K-Å, Duran O, 1978.** Permeabilitetsbestämningar; Geofysisk borrhålsmätning. KBS TR 61. Svensk Kärnbränslehantering AB.

- B1-4 **Gidlund G, Hansson K, Thoregren U, 1979.** Kompletterande permeabilitetsmätningar i Karlshamnsområdet. SKBF/KBS TR 79-06. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B1-5 **Ahlbom K, Carlsson L, Gidlund G, Klockars C-E, Scherman S, Thoregren U, 1979.** Utvärdering av de hydrogeologiska och berggrundsgeologiska förhållandena på Sternö. SKBF/KBS TR 79-09. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B1-6 **Ekman L, Gentzschlein B, 1980.** Komplettering och sammanfattning av geohydrologiska undersökningar inom Sternöområdet, Karlshamn. SKBF/KBS TR 80-01. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B1-7 **Liu J, Löfgren M, Neretnieks I, 2006.** SR-Can Data and uncertainty assessment. Matrix diffusivity and porosity in situ. SKB R-06-111. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B1-8 **Swan G, 1977.** The mechanical properties of the rocks in Stripa, Kråkemåla, Finnsjön and Blekinge. KBS TR 48. Svensk Kärnbränslehantering AB
- B1-9 **Ahlbom K, Olsson O, Sehlstedt S, 1995.** Temperature conditions in the SKB study sites. SKB TR 95-16. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B1-10 **SKBF/KBS, 1983.** Kärnbränslecykelns slutsteg. Använt kärnbränsle – KBS-3. Del IV. Svensk Kärnbränsleförsörjning AB.
- B1-11 **Ahlbom K, Andersson J-E, Andersson P, Ittner T, Ljunggren C, Tirén S, 1992.** Klipperås study site. Scope of activities and main results. SKB TR 92-22. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B1-12 **Smellie J, Larsson N-Å, Wikberg P, Puigdomenech I, Tullborg E-L, 1987.** Hydrochemical investigations in crystalline bedrock in relation to existing hydraulic conditions: Klipperås test-site, Småland, Southern Sweden. SKB TR 87-21. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B1-13 **Gentzschlein B, 1986.** Hydrogeological investigations at the Klipperås study site. SKB TR 86-08. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B1-14 **Follin S, Askling P, Carlsten S, Stråhle A, 2000.** Smålandsgranitens vattengenomsläpplighet. Jämförelse av borrhålsdata från Äspö, Laxemar och Klipperås. SKB R-00-46. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B1-15 **Wikberg P (ed), Gustafson G, Rhén I, Stanfors R, 1991.** Äspö Hard Rock Laboratory. Evaluation and conceptual modelling based on the pre-investigations 1986–1990. SKB TR 91-22. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B1-16a **Bergman T, Johansson R, Lindén A H, Rudmark L Wahlgren C-H, Follin S, Isaksson H, Lindroos H, Stanfors R, 1999.** Förstudie Oskarshamn. Erfarenheter från geovetenskapliga undersökningar i nordöstra delen av kommunen. SKB R-99-04. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B1-16b **Tirén S, Beckholmen M, Isaksson H, 1987.** Structural analysis of digital terrain models, Simpevarp area, South-Eastern Sweden. Method study EBBA II. SKB HRL Progress report 25-87-21. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B1-16c **Tirén S, Beckholmen M, 1988.** Structural analysis of contoured maps. Äspö and Ävrö, Simpevarp area, Southeastern Sweden. SKB HRL Progress report 25-87-22. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B1-17 **Smellie J, Laaksoharju M, 1992.** The Äspö Hard Rock Laboratory: Final evaluation of the hydrogeochemical pre-investigations in relation to existing geological and hydraulic conditions. SKB TR 92-31. Svensk Kärnbränslehantering AB.

- B1-18 **Andersson J, Almén K-E, Ericsson L O, Fredriksson A, Karlsson F, Stanfors R, Ström A, 1997.** Parametrar av betydelse att bestämma vid geovetenskaplig platsundersökning. SKB R-97-03. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B1-19 **Rhén I, Gustafson G, Wikberg P, 1997.** Äspö HRL – Geoscientific evaluation 1997/4. Results from pre-investigations and detailed site characterization. Comparison of predictions and observations. Hydrogeology, groundwater chemistry and transport of solutes. SKB TR 97-05. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B1-20 **Rhén I (ed), Gustafson G, Stanfors R, Wikberg P, 1997.** Äspö HRL – Geoscientific evaluation 1997/5. Models based on site characterization 1986–1995. SKB TR 97-06. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B1-21 **Andersson J, 1999.** Data and data uncertainties. Compilation of data and data uncertainties for radionuclide transport calculations. SKB TR-99-09. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B1-22 **Stille H, Olsson P, 1990.** Evaluation of rock mechanics. HRL Progress report 25-90-08. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B1-23 **Andersson J C, 2007.** Äspö Hard Rock Laboratory. Äspö Pillar Stability Experiment. Final Report. Rock mass response to coupled mechanical thermal loading. SKB TR-07-01. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B1-24 **Leijon B, 1995.** Summary of rock stress data from Äspö. HRL Progress report 25-95-15. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B1-25 **Janson T, Stigsson M, 2002.** Test with different stress measurement methods in two orthogonal boreholes in Äspö HRL. SKB R-02-26. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B1-26 **Sundberg J, 1991.** Thermal properties of the rocks on Äspö Island. Thermal conductivity, heat capacity, geothermal gradient and heat flow. SKB, Äspö Hard Rock Laboratory. SKB HRL Progress Report 25-91-09. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B1-27 **Sundberg J, 2003.** Thermal site descriptive model. A strategy for the model development during site investigations. Version 1.0. SKB R-03-10. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B1-28 **Sundberg J, Gabrielsson A, 1999.** Laboratory and field measurements of thermal properties of the rocks in the prototype repository at Äspö HRL. SKB International Progress Report IPR-99-17. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B1-29 **SKB, 2000.** Förstudie Oskarshamn. Slutrapport. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B1-30 **Lindroos H, 2004.** The potential for ore, industrial minerals and commercial stones in the Simpevarp area. SKB R-04-72. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B1-31 **Laurent S, 1982.** Analysis of groundwater from deep boreholes in Kråkemåla, Sternö and Finnsjön. SKBF/KBS TR 82-23. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B1-32 **Ahlbom K, Andersson J-E, Nordqvist R, Ljunggren C, Tirén S, Voss C, 1991.** Fjällveden study site. Scope of activities and main results. SKB TR 91-52. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B1-33 **Laurent S, 1983.** Analysis of groundwater from deep boreholes in Fjällveden. SKBF/KBS TR 83-19. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B1-34 **Wikberg P, Grenthe I, Axelsen K, 1983.** Redox conditions in groundwaters from Svartboberget, Gideå, Fjällveden and Kamlunge. SKBF/KBS TR 83-40. Svensk Kärnbränslehantering AB.

- B1-35 **Smellie J, Larsson N-Å, Wikberg P, Carlsson L, 1985.** Hydrochemical investigations in crystalline rock in relation to existing hydraulic conditions: Experience from the SKB test-sites in Sweden. SKB TR 85-11. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B1-36 **Ahlbom K, Carlsson L, Carlsten L-E, Duran O, Larsson N-Å, Olsson O, 1983.** Evaluation of the geological, geophysical and hydrogeological conditions at Fjällveden. SKBF/KBS TR 83-52. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B1-37 **Carlsson L, Winberg A, Grundfelt B, 1983.** Model calculations of the groundwater flow at Finnsjön, Fjällveden, Gideå and Kamlunge. SKBF/KBS TR 83-45. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B1-38 **SKB, 2000.** Fud-K. Samlad redovisning av metod, platsval och program inför platsundersökningsskedet. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B1-39a **Ahlbom K, Tirén S A, 1991.** Overview of geologic and geohydrologic conditions at the Finnsjön site and its surroundings. SKB TR 91-08. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B1-39b **Almén K-E, Ekman L, Olkiewicz A, 1978.** Försöksområdet vid Finnsjön. SKBF/KBS TR 79-02. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B1-39c **Ahlbom K, Andersson J-E, Andersson P, Ittner T, Ljunggren C, Tirén S, 1992.** Finnsjön study site. Scope of activities and main results. SKB TR 92-33. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B1-40 **Smellie J, Wikberg P, 1991.** Hydrochemical investigations at Finnsjön, Sweden. Journal of Hydrology, 126(1991), pp. 129–158, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam.
- B1-41 **Andersson J-E, Nordqvist R, Nyberg G, Smellie J, Tirén S, 1991.** Hydrogeological conditions in the Finnsjön area. Compilation of data and conceptual model. SKB TR 91-24. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B1-42 **SKB, 2006.** Hydrogeochemical evaluation. Preliminary site description Laxemar subarea – version 1.2. SKB R-06-12. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B1-43 **Hult A, Gidlund G, Thoregren U, Magnusson K-Å, Duran O, 1978.** Permeabilitetsbestämningar; Geofysisk borrhålmätning. KBS TR 61. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B1-44 **Carlsson L, Gentschein B, Gidlund G, Hansson K, Svenson T, Thoregren U, 1980.** Kompletterande permeabilitetsmätningar i Finnsjöområdet. SKBF/KBS TR 80-10. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B1-45 **Leijon B, Ljunggren C, 1992.** A rock mechanics study of Fracture Zone 2 at the Finnsjön site. SKB TR 92-28. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B1-46 **SKB, 1992.** Fud-program 92. Kärnkraftavfallets behandling och slutförvaring. Program för forskning, utveckling, demonstration och övriga åtgärder. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B1-47 **Ahlbom K, Carlsson L, Gentschein B, Jämtlid A, Olsson O, Tirén S, 1983.** Evaluation of the geological, geophysical and hydrogeological conditions at Svartboberget. SKBF/KBS TR 83-55. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B1-48 **Laurent S, 1983.** Analysis of groundwater from deep boreholes in Svartboberget. SKBF/KBS TR 83-41. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B1-49 **SKB, 1999.** Djupförvar för använt kärnbränsle. SR 97 – Säkerheten efter förslutning. Huvudrapport – Del I, Del II och Sammanfattning. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B1-50 **Laurent S, 1983.** Analysis of groundwater from deep boreholes in Gideå. SKBF/KBS TR 83-17. Svensk Kärnbränslehantering AB.

- B1-51 **Ahlbom K, Andersson J-E, Nordqvist R, Ljunggren C, Tirén S, Voss C, 1991.** Gideå study site. Scope of activities and main results. SKB TR 91-51. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B1-52 **Ahlbom K, Albino B, Carlsson L, Nilsson G, Olsson O, Stenberg L, Timje H, 1983.** Evaluation of the geological, geophysical and hydrogeological conditions at Gideå. SKBF/KBS TR 83-53. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B1-53 **Bjarnason B, Stephansson O, 1986.** Hydraulic fracturing rock stress measurements in borehole Gi-1, Gideå Study Site, Sweden. SKB TR 86-11. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B1-54 **Ljunggren C, Stephansson O, Alm O, Hakami H, Mattila U, 1985.** Mechanical properties of granitic rocks from Gideå, Sweden. SKB TR 85-06. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B1-55 **Ahlbom K, Andersson J-E, Andersson P, Ittner T, Ljunggren C, Tirén S, 1992.** Kamlunge study site – Scope of activities and main results. SKB TR 92-15. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B1-56 **Laurent S, 1983.** Analysis of groundwater from deep boreholes in Kamlunge. SKBF/KBS TR 83-70. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B1-57 **Ahlbom K, Albino B, Carlsson L, Danielsson J, Nilsson G, Olsson O, Sehlstedt S, Stejskal V, Stenberg L, 1983.** Evaluation of the geological, geophysical and hydrogeological conditions at Kamlunge. SKBF/KBS TR 83-54. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B1-58 **Thoregren U, 1983.** Final Disposal of Spent Nuclear Fuel – Standard Programme for Site Investigations. SKBF/KBS TR 83-31. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B1-59 **Ahlbom K, Leijon B, Liedholm M, Smellie J, 1992.** Gabbro as a host rock for a nuclear waste repository. SKB TR 92-25. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B1-60 **Laurent S, 1984.** Analyses of groundwater från Taavinunnanen. SKB R-08-21. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B1-61 **Gentzschlein B, Tullborg E-L, 1985.** The Taavinunnanen gabbro massif. A compilation of results from geological, geophysical and hydrogeological investigations. SKB TR 85-02. Svensk Kärnbränslehantering AB.

Bilaga 1. Avsnitt C – Finska undersökningar

- C1-1 **Anttila P, Ahokas H, Front K, Hinkkanen H, Johansson E, Paulamäki S, Riekkola R, Saari J, Saksa J, Snellman M, Wikström L, Öhberg A, 1999.** Final disposal of spent nuclear fuel in Finnish bedrock – Hästholmen site report. Posiva 99-08. Posiva Oy.
- C1-2 **Luukkonen A, Pitkänen P, Ruotsalainen P, Leino-Forsman H, Snellman M, 1999.** Hydrogeochemical conditions at the Hästholmen site. Posiva 99-26. Posiva Oy.
- C1-3 **Pitkänen P, Luukkonen A, Ruotsalainen P, Leino-Forsman H, Vuorinen U, 2001.** Geochemical modelling of groundwater evolution and residence time at the Hästholmen site. Posiva 2001-01. Posiva Oy.
- C1-4 **Vieno T, Nordman H, 1999.** Safety assessment of spent fuel disposal in Hästholmen, Kivetty, Olkiluoto and Romuvaara – TILA-99. Posiva 99-07. Posiva Oy.
- C1-5a **Löfman J, 1999.** Site scale groundwater flow in Hästholmen. Posiva 99-12. Posiva Oy.

- C1-5b **Saksa P, Lindh J, Nummela J, 2000.** Bedrock model of Hästholmen site, version 3.1. (In Finnish with an English abstract). Posiva Working report 2000-35. Posiva Oy.
- C1-5c **Front K, Paulamäki S, Ahokas H, Anttila P, 1999.** Lithological and structural bedrock model of the Hästholmen study site, Loviisa SE Finland. (In Finnish with an English abstract). Posiva 99-31. Posiva Oy.
- C1-6 **Liu J, Löfgren M, Neretnieks I, 2006.** SR-Can Data and uncertainty assessment. Matrix diffusivity and porosity in situ. SKB R-06-111. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- C1-7 **Anttila P, Ahokas H, Front K, Hinkkanen H, Johansson E, Paulamäki S, Riekkola R, Saari J, Saksa J, Snellman M, Wikström L, Öhberg A, 1999.** Final disposal of spent nuclear fuel in Finnish bedrock – Olkiluoto site report. Posiva 99-10. Posiva Oy.
- C1-8 **Pitkänen P, Partamies S, Luukkonen A, 2003.** Hydrogeochemical interpretation of baseline groundwater conditions at the Olkiluoto site. Posiva 2003-07. Posiva Oy.
- C1-9a **Cosma C, Enescu N, Adam E, Balu L, 2001.** Vertical and horizontal seismic profiling investigations at Olkiluoto. Posiva 2003-01. Posiva Oy.
- C1-9b **Löfman J, 1999.** Site scale groundwater flow in Olkiluoto. Posiva 99-03. Posiva Oy.
- C1-9c **Saksa P, Ahokas H, Nummela J, Lindh J, 1998.** Bedrock models of Kivetty, Olkiluoto and Romuvaara sites, revision of the structural models during 1997. (In Finnish with an English abstract). Posiva Working report 98-12. Posiva Oy.
- C1-9d **Vaittinen T, Ahokas H, Heikkinen E, Hellä P, Nummela J, Saksa P, Tammisto E, Paulamäki S, Paananen M, Front K, Kärki A, 2003.** Bedrock model of the Olkiluoto site, version 2003/1. Posiva Working report 2003-43. Posiva Oy.
- C1-10 **Anttila P, Ahokas H, Front K, Heikkinen E, Hinkkanen H, Johansson E, Paulamäki S, Riekkola R, Saari J, Saksa J, Snellman M, Wikström L, Öhberg A, 1999.** Final disposal of spent nuclear fuel in Finnish bedrock – Kivetty site report. Posiva 99-09. Posiva Oy.
- C1-11 **Pitkänen P, Snellman M, Leino-Forsman, H, 1992.** Groundwater chemistry and water-rock interaction at Kivetty. Report YJT-92-16. Nuclear Waste Commission of Finnish Power companies.
- C1-12a **Pitkänen P, Luukkonen A, Ruotsalainen P, Leino-Forsman H, Vuorinen U, 1998.** Geochemical modelling of groundwater evolution and residence time at the Kivetty site. Posiva 98-07. Posiva Oy.
- C1-12b **Kattilakoski E, Meszaros F, 1999.** Regional to site scale groundwater flow in Kivetty. Posiva 99-13. Posiva Oy.
- C1-13 **Anttila P, Ahokas H, Front K, Hinkkanen H, Johansson E, Paulamäki S, Riekkola R, Saari J, Saksa J, Snellman M, Wikström L, Öhberg A, 1999.** Final disposal of spent nuclear fuel in Finnish bedrock – Romuvaara site report. Posiva 99-11. Posiva Oy.
- C1-14a **Pitkänen P, Snellman M, Vuorinen U, Leino-Forsman H, 1996.** Geochemical modelling study on the age and evolution of the groundwater at the Romuvaara site Posiva 96-06. Posiva Oy.
- C1-14b **Kattilakoski E, Koskinen L, 1999.** Regional to site scale groundwater flow in Romuvaara. Posiva 99-14. Posiva Oy.

- C1-15 **Puukko E, Heikkinen T, Hakanen M, Lindberg A, 1993.** Diffusion of water, Cesium and Neptunium in pores of rocks. Report YJT-93-23. Nuclear Waste Commission of Finnish Power companies.
- C1-16 **TVO, 1992.** Final disposal of spent nuclear fuel in the Finnish bedrock, preliminary site investigations. Report YJT-92-32E. Nuclear Waste Commission of Finnish Power Companies.

Bilaga 2. Bearbetning och redovisning av data avseende hydrogeologi och transportegenskaper

- B2-1a **Löfman J, 1999.** Site scale groundwater flow in Olkiluoto. Posiva 99-03. Posiva Oy.
- B2-1b **Löfman J, 1999.** Site scale groundwater flow in Hästholmen. Posiva 99-12. Posiva Oy.
- B2-1c **Kattilakoski E, Meszaros F, 1999.** Regional to site scale groundwater flow in Kivetty. Posiva 99-13. Posiva Oy.
- B2-1d **Kattilakoski E, Koskinen L, 1999.** Regional to site scale groundwater flow in Romuvaara. Posiva 99-14. Posiva Oy.
- B2-2 **Andersson J, 1999.** Data and data uncertainties. Compilation of data and data uncertainties for radionuclide transport calculations. SKB TR-99-09. Svensk Kärnbränslehantering AB.

Bilaga 3. Definition av begreppen deformationszon och R-strukturer

- B3-1 **Munier R, Stenberg L, Stanfors R, Milnes A G, Hermanson J, Triumf C-A, 2003.** Geological Site Descriptive Model. A strategy for the model development during site investigations. SKB R-03-07. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B3-2 **Anttila P, Ahokas H, Front K, Hinkkanen H, Johansson E, Paulamäki S, Riekkola R, Saari J, Saksa J, Snellman M, Wikström L, Öhberg A, 1999.** Final disposal of spent nuclear fuel in Finnish bedrock – Romuvaara site report. Posiva 99-11. Posiva Oy.
- B3-3 **Strähle A, 2001.** Definition och beskrivning av parametrar för geologisk, geofysisk och bergmekanisk kartering av berg. SKB R-01-19. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B3-4 **Bäckblom G, 1989.** Äspö Hard Rock Laboratory. Guidelines for use of nomenclature on fractures, fracture zones and other topics. SKB HRL Progress Report HRL-96-18. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B3-5 **Andersson J, Ström A, Svemar C, Almén K-E, Ericsson L O, 2000.** Vilka krav ställer djupförvaret på berget? Geovetenskapliga lämplighetsindikatorer och kriterier för lokalisering och platsutvärdering. SKB R-00-15. Svensk Kärnbränslehantering AB.

Bilaga 4. Bedömning av data från hydrogeokemiska undersökningar

- B4-1 **Smellie J, Larsson N-Å, Wikberg P, Carlsson L, 1985.** Hydrochemical investigations in crystalline rock in relation to existing hydraulic conditions: Experience from the SKB test-sites in Sweden. SKB TR 85-11. Svensk Kärnbränslehantering AB.

Bilaga 5. Undersöknings- och analysmetoder

- B5-1 **Wahlgren C-H, Ahl M, Sandahl K-A, Berglund J, Petersson J, Ekström M, Persson P-O, 2004.** Bedrock mapping 2003 – Simpevarp subarea. Outcrop data, fracture data, modal and geochemical classification of rock types, bedrock map, radiometric dating. Oskarshamn site investigation. SKB P-04-102. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B5-2 **Rudmark L, 2004.** Investigation of Quaternary deposits at Simpevarp peninsula and the islands of Ävrö and Hålö. Oskarshamn site investigation. SKB P-04-22. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B5-3 **Hermanson J, Hansen L, Wikholm M, Cronquist T, Leiner P, Vestgård J, Sandahl K-A, 2004.** Detailed fracture mapping of four outcrops at the Simpevarp peninsula and Ävrö. Oskarshamn site investigation. SKB P-04-35. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B5-4 **Ehrenborg J, Dahlin, P, 2005.** Boremap mapping of core drilled borehole KLX04. Oskarshamn site investigation. SKB P-05-23. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B5-5 **Munier R, 2004.** Statistical analysis of fracture data, adapted for modelling. Discrete Fracture Networks-Version 2. SKB R-04-66. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B5-6 **Drake H, Tullborg E-L, 2005.** Fracture mineralogy and wall rock alteration. Results from drill cores KAS04, KA1755A and KLX02. Oskarshamn site investigation. SKB P-05-174. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B5-7 **Ask H, Morosini M, Samuelsson L-E, Ekström L, Håkanson N, 2006.** Drilling of cored boreholes KLX07A and KLX07B. Oskarshamn site investigation. SKB P-06-14. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B5-8 **Almén K-E, Stenberg L, 2005.** Äspö Hard Rock Laboratory. Characterisation methods and instruments. Experiences from the construction phase. SKB TR-05-11. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B5-9 **SKB, 2001.** Site investigations. Investigation methods and general execution programme. SKB TR-01-29. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B5-10 **Munier R, Hermanson J, 2001.** Metodik för geometrisk modellering. Presentation och administration av platsbeskrivande modeller. SKB R-01-15. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B5-11 **Aaltonen J, Gustafsson C, 2003.** RAMAC and BIPS logging in borehole KSH02. Oskarshamn site investigation. SKB P-03-109. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B5-12 **Nissen J, Nilsson G, 2007.** Revision of borehole deviation measurements in Forsmark. SKB P-07-28. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B5-13 **Stenberg L, Håkansson N, 2007.** Revision of borehole deviation measurements in Oskarshamn. SKB P-07-55. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B5-14 **Almén, K-E, Andersson J-E, Carlsson L, Hansson K, Larsson N-Å, 1986.** Hydraulic testing in crystalline rock. A comparative study of single-hole test methods. SKB TR 86-27. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B5-15 **Lindquist A, Ludvigson J-E, Harrström J, Svensson T, 2006.** Single-hole injection tests in borehole KFM09A. Forsmark site investigation. SKB P-06-52. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B5-16 **Pöllänen J, Sokolnicki M, 2004.** Difference flow logging in borehole KFM03A. Forsmark site investigation. SKB P-04-189. Svensk Kärnbränslehantering AB.

- B5-17a **Almén K-E, Zellman O, 1991.** Äspö Hard Rock Laboratory. Field investigation methodology and instruments used in the pre-investigation phase, 1986–1990. SKB TR 91-21. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B5-17b **Nyberg G, Jönsson S, Ekman L, 1996.** Äspö Hard Rock Laboratory. Hydro monitoring system. Report for 1995. HRL Progress Report HRL-96-17. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B5-18 **Nyberg G, Wass E, Askling P, 2005.** Groundwater monitoring program. Report for December 2002 – October 2004. Oskarshamn site investigation. SKB P-05-205. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B5-19 **Wass E, 2006.** Groundwater flow measurements in permanently installed boreholes. Test campaign no. 1, 2005. Forsmark site investigation. SKB P-06-59. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B5-20 **Hult A, Gidlund G, Thoregren U, Magnusson K-Å, Duran O, 1978.** Permeabilitetsbestämningar; Geofysisk borrhålsmätning. KBS TR 61. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B5-21 **Almén K-E, Hansson K, Johansson B-E, Nilsson G, Andersson O, Wikberg P, Åhagen H, 1983.** Final disposal of spent nuclear fuel – equipment for site characterization. SKBF/KBS TR 83-44. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B5-22 **Almén K-E, Andersson O, Fridh B, Johansson B-E, Sehlstedt M, Gustafsson E, Hansson K, Olsson O, Nilsson G, Axelsen K, Wikberg P, 1986.** Site investigation. Equipment for geological, geophysical, hydrogeological and hydrochemical characterization. SKB TR 86-16. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B5-23 **Ludvigson J-E, Jönsson S, Jönsson J, 2004.** Pumping tests and flow logging. Boreholes HFM13, HFM14 and HFM15. Forsmark site investigation. SKB P-04-71. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B5-24 **Ludvigson J-E, Hansson K, Rouhiainen P, 2001.** Methodology study of Posiva difference flow meter in borehole KLX02 at Laxemar. SKB R-01-52. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B5-25 **Rouhiainen P, 2000.** Difference flow measurements in borehole KLX02 at Laxemar. SKB International Progress Report IPR-01-06. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B5-26 **Laurent S, 1983.** Analysis of groundwater from deep boreholes in Gideå. SKBF/KBS TR 83-17. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B5-27 **Laurent S, 1983.** Analysis of groundwater from deep boreholes in Fjällveden. SKBF/KBS TR 83-19. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B5-28 **Laurent S, 1983.** Analysis of groundwater from deep boreholes in Svartboberget. SKBF/KBS TR 83-41. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B5-29 **Wikberg P, Axelsen K, Fredlund F, 1987.** Deep groundwater chemistry. SKB TR 87-07. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B5-30 **Smellie J, Laaksoharju M, 1992.** The Äspö Hard Rock Laboratory: Final evaluation of the hydrogeochemical pre-investigations in relation to existing geological and hydraulic conditions. SKB TR 92-31. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B5-31 **Claesson L-Å, Nilsson G, 2004.** Drilling of the telescopic borehole KFM02A at drilling site DS2. Forsmark site investigation. SKB P-03-52. Svensk Kärnbränslehantering AB.

- B5-32 **Claesson L-Å, Nilsson G, 2004.** Drilling of the telescopic borehole KFM03A and the core drilled borehole KFM03B at drilling site DS3. Forsmark site investigation. SKB P-03-59. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B5-33 **Claesson L-Å, Nilsson G, 2004.** Drilling of the telescopic borehole KFM05A at drilling site DS5. Forsmark site investigation. SKB P-04-222. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B5-34 **Claesson L-Å, Nilsson G, 2005.** Drilling of the telescopic borehole KFM06A and the core drilled borehole KFM06B at drill site DS6. Forsmark site investigation. SKB P-05-50. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B5-35 **Claesson L-Å, Nilsson G, 2005.** Drilling of the telescopic borehole KFM07A at drill site DS7. Forsmark site investigation. SKB P-05-142. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B5-36 **Claesson L-Å, Nilsson G, 2005.** Drilling of the telescopic borehole KFM08A and the core drilled borehole KFM08B at drill site DS8. Forsmark site investigation. SKB P-05-172. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B5-37 **SKB, 2001.** Platsundersökningar. Undersökningsmetoder och generellt genomförande-program. SKB R-01-10. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B5-38 **Wacker P, Bergelin A, Nilsson A-C, 2004.** Hydrochemical characterisation in KFM02A. Results from three investigated borehole sections; 106.5–126.5, 413.5–433.5 and 509.0–516.1 m. Forsmark site investigation. SKB P-04-70. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B5-39 **Wacker P, Bergelin A, Berg C, Nilsson A-C, 2004.** Hydrochemical characterisation in KFM03A. Results from six investigated borehole 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, 980.0–1 001.2 m. Forsmark site investigation. SKB P-04-108. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B5-40 **Berg C, Bergelin A, Wacker P, Nilsson A-C, 2006.** Hydrochemical characterisation in borehole KFM08A. Results from the investigated section at 683.5–690.6 (690.8) m. Forsmark site investigation. SKB P-06-63. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B5-41 **Skagius K, Neretnieks I, 1983.** Diffusion measurements in crystalline rocks. SKBF/KBS TR 83-15. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B5-42 **Löfgren M, Neretnieks I, 2002.** Formation factor logging in situ by electrical methods. Background and methodology. SKB TR-02-27. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B5-43 **Andersson J, Ström A, Svemar C, Almén K-E, Ericsson L O, 2000.** Vilka krav ställer djupförvaret på berget? Geovetenskapliga lämplighetsindikatorer och kriterier för lokalisering och platsutvärdering. SKB R-00-15. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B5-44 **Andersson J, 1999.** Data and data uncertainties. Compilation of data and data uncertainties for radionuclide transport calculations. SKB TR-99-09. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B5-45 **Lindquist A, Wass E, 2006.** Groundwater flow measurements in conjunction with the interference test with pumping in HFM14. Forsmark site investigation. SKB P-06-188. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B5-46 **SKB, 2007.** Forsmark site investigation. Programme for long-term observations of geosphere and biosphere after completed site investigations. SKB R-07-34. Svensk Kärnbränslehantering AB.

- B5-47 **SKB, 2007.** Oskarshamn site investigation. Programme for long-term observations of geosphere and biosphere after completed site investigations. SKB R-07-59. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B5-48 **Gustafsson E, Morosini M, 2002.** In situ groundwater flow measurements as a tool for hardrock site characterisation within the SKB programme. Norges geologiske undersøkelse. Bulletin 439, 33–44.
- B5-49 **Gustafsson E, Nordqvist R, Thur P, 2005.** Groundwater flow measurements in boreholes KFM01A, KFM02A, KFM03A, KFM03B and SWIW tests in KFM02A, KFM03A. Forsmark site investigation. SKB P-05-77. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B5-50 **Gustafsson E, Nordqvist R, Thur P, 2006.** Groundwater flow measurements and SWIW test in borehole KFM04A. Forsmark site investigation. SKB P-06-141. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B5-51 **Gustafsson E, Nordqvist R, Thur P, 2006.** Groundwater flow measurements and SWIW test in borehole KFM08A. Forsmark site investigation. SKB P-06-90. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B5-52 **Thur P, Nordqvist R, Gustafsson E, 2007.** Forsmark site investigation. Groundwater flow measurements and SWIW tests in borehole KFM01D. SKB P-07-52. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B5-53 **Gustafsson E, Nordqvist R, 2005.** Groundwater flow measurements and SWIW tests in boreholes KLX02 and KSH02. Oskarshamn site investigation. SKB P-05-28. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B5-54 **Gustafsson E, Nordqvist R, Thur P, 2006.** Groundwater flow measurements and SWIW test in borehole KLX03. Oskarshamn site investigation. SKB P-05-246. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B5-55 **Thur P, Nordqvist R, Gustafsson E, 2006.** Oskarshamn site investigation. Groundwater flow measurements and SWIW tests in borehole KLX18A. SKB P-06-287. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B5-56 **Thur P, Nordqvist R, Gustafsson E, 2007.** Oskarshamn site investigation. Groundwater flow measurements and SWIW tests in borehole KLX11A. SKB P-07-180. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B5-57 **Nordqvist R, Gustafsson E, 2002.** Single-well injection-withdrawal tests (SWIW). Literature review and scoping calculations for homogeneous crystalline bedrock conditions. SKB R-02-34. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B5-58 **Nordqvist R, Gustafsson E, 2004.** Single-well injection-withdrawal tests (SWIW). Investigation of evaluation aspects under heterogeneous crystalline bedrock conditions. SKB R-04-57. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B5-59 **Winberg A, Andersson P, Hermanson J, Byegård J, Cvetkovic V, Birgersson L, 2000.** Äspö Hard Rock Laboratory. Final report of the first stage of the tracer retention understanding experiments. SKB TR-00-07. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B5-60 **Andersson P, Byegård J, Winberg A, 2002.** Final report of the TRUE Block Scale project 2. Tracer tests in the block scale. SKB TR-02-14. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B5-61 **Wass E, Andersson P, 2006.** Groundwater flow measurements and tracer tests at drill site 1. Forsmark site investigation. SKB P-06-125. Svensk Kärnbränslehantering AB.

- B5-62 **Back P-E, Sundberg J, 2007.** Thermal Site Descriptive Model. A Strategy for the Model Development during Site Investigations. Version 2.0. SKB R-07-42. Svensk Kärnbränslehantering AB. (In press)
- B5-63 **Martin C D, 2007.** Quantifying in situ stress magnitudes and orientations for Forsmark stage 2.2. SKB R-07-26. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B5-64 **Ask D, 2003.** Evaluation of measurement-related uncertainties in the analysis of overcoring rock stress data from Äspö HRL: a case study. *Int. J. Rock Mech. and Mining Sci.* 40, 1173–1187.
- B5-65 **Carlsson A, Olsson T, 1982.** Characterization of deep-seated rock masses by means of borehole investigations. In situ rock stress measurements, hydraulic testing and core-logging. Final Report, 5:1, Statens Vattenfallsverk, Stockholm.
- B5-66 **Ahlbom K, Andersson J-E, Nordqvist R, Ljunggren C, Tirén S, Voss C, 1991.** Gideå study site. Scope of activities and main results. SKB TR 91-51. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B5-67 **Back P-E, Wrafter J, Rosén L, Sundberg J, 2007.** Thermal Properties. Site descriptive modelling Forsmark – stage 2.2. SKB R-07-47. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B5-68 **Sundberg J, Back P-E, Hellström G, 2005.** Scale dependence and estimation of rock thermal conductivity. Analysis of upscaling, inverse thermal modelling and value of information with the Äspö HRL prototype repository as an example. SKB R-05-82. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B5-69 **Sundberg J, Wrafter J, Sundberg A, 2007.** Forsmark site investigation. Anisotropy of thermal properties in granite at Forsmark. Large-scale field measurements and comparison with small-scale field measurements and laboratory measurements. SKB P-07-194. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B5-70 **Mossmark F, Sundberg J, 2007.** Field measurements of thermal properties. Multi probe measurements in Laxemar. Oskarshamn site investigation. SKB P-07-77. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B5-71 **NEA/SKB, 1992.** In situ experiments at the Stripa mine. Symposium on the International Stripa Project. Stockholm, Sweden, 14–16 October 1992. OECD Nuclear Energy Agency (NEA) and Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Company (SKB).
- B5-72 **Andersson J C, 2007.** Rock Mass Response to Mechanical Thermal Loading. Äspö Pillar Stability Experiment, Sweden. Doctoral Thesis in Soil and Rock Mechanics. Royal Institute of Technology. Stockholm, Sweden.
- B5-73 **Thoregren U, 1983.** Final Disposal of Spent Nuclear Fuel – Standard Programme for Site Investigations. SKBF/KBS TR 83-31. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B5-74 **Ahlbom K, Carlsson L, Olsson O, 1983.** Final disposal of spent nuclear fuel – geological, hydrogeological and geophysical methods for site characterization. SKBF/KBS TR 83-43. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B5-75 **Almén K-E, Hansson K, Johansson B-E, Nilsson G, Andersson O, Wikberg P, Åhagen H, 1983.** Final disposal of spent nuclear fuel – equipment for site characterization. SKBF/KBS TR 83-44. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B5-76 **Andersson J-E, Persson O, 1985.** Evaluation of single-hole hydraulic tests in fractured crystalline rock by steady-state and transient methods. SKB TR 85-19. Svensk Kärnbränslehantering AB.

- B5-77 **Gidlund G, Hansson K, Thoregren U, 1979.** Kompletterande permeabilitetsmätningar i Karlshamnsområdet. SKBF/KBS TR 79-06. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B5-78 **Ahlbom K, Carlsson L, Gidlund G, Klockars C-E, Scherman S, Thoregren U, 1979.** Utvärdering av de hydrogeologiska och berggrundsgeologiska förhållandena på Sternö. SKBF/KBS TR 79-09. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B5-79 **Ekman L, Gentschein B, 1980.** Komplettering och sammanfattning av geohydrologiska undersökningar inom Sternöområdet, Karlshamn. SKBF/KBS TR 80-01. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B5-80 **Laurent S, Magnusson S, Nilsson A-C, 1992.** Description of groundwater chemical data in the SKB database GEOTAB prior to 1990. SKB TR 92-10. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B5-81 **Nilsson A-C, 2005.** Översikt över provhanterings- och analysrutiner för vattenprov. Platsundersökningar i Forsmark och Oskarshamn. SKB P-05-198. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B5-82 **Nilsson K, Bergelin A, Lindquist A, Nilsson A-C, 2006.** Hydrochemical characterisation in borehole KFM01D. Results from seven investigated borehole sections: 194.0–195.0 m, 263.8–264.8 m, 314.5–319.5 m, 354.9–355.9 m, 369.0–370.0 m, 428.5–435.6 m, 568.0–575.1 m. Forsmark site investigation. SKB P-06-227. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B5-83 **SKB, 2000.** Geovetenskapligt inriktat program för undersökning och utvärdering av platser. SKB R-00-30. Svensk Kärnbränslehantering AB. (Finns även på engelska, SKB TR-00-20).
- B5-84 **SKB, 2001.** Program för platsundersökning vid Forsmark. SKB R-01-42. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B5-85 **SKB, 2001.** Geovetenskapligt program för platsundersökning vid Simpevarp. SKB R-01-44. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- B5-86 **SKB, 2004.** Platsundersökning Forsmark. Program för fortsatta undersökningar av geosfär och biosfär. SKB R-04-75. Svensk Kärnbränslehantering AB. (Finns även på engelska, SKB R-05-14).
- B5-87 **SKB, 2005.** Platsundersökning Oskarshamn. Program för fortsatta undersökningar av berggrund, mark, vatten och miljö inom delområde Laxemar. SKB R-05-37. Svensk Kärnbränslehantering AB. (Finns även på engelska, SKB R-06-29).

Bilaga 6. Ordförklaringar

- B6-1 **Grip H, Rodhe A, 1995.** Vattnets väg från regn till bäck, 3:e rev. uppl. Hallgren & Fallgren Studieförlag AB, Uppsala.
- B6-2 **TNC 86, 1988.** Geologisk ordlista (Glossary of Geology) Sv-E-F-S-DDa-No-Fi. Tekniska nomenklaturcentralen, Stockholm.
- B6-3 **Nationalencyklopedin (www.ne.se)**
- B6-4 **Bergman T, Johansson R, Lindén A H, Rudmark L, Wahlgren C-H, Follin S, Isaksson H, Lindroos H, Stanfors R, 1999.** Förstudie Oskarshamn. Erfarenheter från geovetenskapliga undersökningar i nordöstra delen av kommunen. SKB R-99-04. Svensk Kärnbränslehantering AB.

Länsvisa översiktsstudier om geologiska förutsättningar

- SGU, 1998.** Översiktsstudie av Blekinge län: geologiska förutsättningar. SKB R-98-22. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SGU, 1998.** Översiktsstudie av Kalmar län: geologiska förutsättningar. SKB R-98-24. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SGU, 1998.** Översiktsstudie av Östergötlands län: geologiska förutsättningar. SKB R-98-26. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SGU, 1998.** Översiktsstudie av Södermanlands län: geologiska förutsättningar. SKB R-98-28. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SGU, 1998.** Översiktsstudie av Stockholms län: geologiska förutsättningar. SKB R-98-30. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SGU, 1998.** Översiktsstudie av Uppsala län: geologiska förutsättningar. SKB R-98-32. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SGU, 1998.** Översiktsstudie av Gävleborgs län: geologiska förutsättningar. SKB R-98-34. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SGU, 1998.** Översiktsstudie av Västernorrlands län: geologiska förutsättningar. SKB R-98-36. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SGU, 1998.** Översiktsstudie av Västerbottens län: geologiska förutsättningar. SKB R-98-38. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SGU, 1998.** Översiktsstudie av Norrbottens län: geologiska förutsättningar. SKB R-98-40. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SGU, 1999.** Översiktsstudie av Hallands län: geologiska förutsättningar. SKB R-99-17. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SGU, 1999.** Översiktsstudie av Kronobergs län: geologiska förutsättningar. SKB R-99-19. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SGU, 1999.** Översiktsstudie av Värmlands län: geologiska förutsättningar. SKB R-99-21. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SGU, 1999.** Översiktsstudie av Örebro län: geologiska förutsättningar. SKB R-99-23. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SGU, 1999.** Översiktsstudie av Jämtlands län (urbergsdelen): geologiska förutsättningar. SKB R-99-25. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SGU, 1999.** Översiktsstudie av Skåne län (urbergsdelen): geologiska förutsättningar. SKB R-99-27. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SGU, 1999.** Översiktsstudie av Dalarnas län (urbergsdelen): geologiska förutsättningar. SKB R-99-29. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SGU, 1999.** Översiktsstudie av Västmanlands län: geologiska förutsättningar. SKB R-99-31. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SGU, 1999.** Översiktsstudie av Västra Götalands län: geologiska förutsättningar. SKB R-99-33. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SGU, 1999.** Översiktsstudie av Jönköpings län: geologiska förutsättningar. SKB R-99-35. Svensk Kärnbränslehantering AB.

Referensområden – beskrivning, utförda undersökningar samt undersökningsresultat

Innehåll

A	Förutsättningar	107
B	Svenska undersökningar	108
B.1	Sternö	108
B.2	Klipperås	113
B.3	Äspö	119
B.4	Kråkemåla	125
B.5	Fjällveden	130
B.6	Finnsjön	136
B.7	Svartboberget	142
B.8	Gideå	147
B.9	Kamlunge	153
B.10	Taavinunnanen	159
C	Finska undersökningar	164
C.1	Hästholmen	164
C.2	Olkiluoto	167
C.3	Kivetty	170
C.4	Romuvaara	173
C.5	Syyry och Veitsivaara	175

A Förutsättningar

Båda de svenska och finska undersökningarna är väl dokumenterade, dels i sammanfattande rapporter och dels i ämnesspecifika rapporter. Målsättningen för denna rapport har varit att inte i onödan upprepa vad som redan har dokumenterats. Istället har vi valt att flitigt ange våra källor och andra viktiga referenser.

En utmärkt sammanställning av relevanta rapporter (både svenska och finska) finns i TR-02-18 ”Swedish deep repository siting programme. Guide to the documentation of 25 years of geoscientific research (1976–2000)”, av Alan Geoffrey Milnes och utgiven av SKB 2002.

Projektgruppen har således haft ett omfattande material att gå igenom, bedöma och bearbeta. I många fall, bland annat inom hydrogeologi och hydrogeokemi, har det varit nödvändigt att gå tillbaka till ursprungsdata från undersökningarna i referensområdena för att, genom nya beräkningar, få fram parametervärden som gör det möjligt att göra bedömningar mot uppställda krav och önskemål enligt kapitel 6.

Vilka beräkningar som gjorts och hur data har bearbetats och bedömts redovisas i bilagorna 2 och 4. I bilaga 3 redovisas terminologi för deformationszoner; dels den terminologi som användes i Äspöprojektet, dels den som användes under platsundersökningarna i Forsmark och Oskarshamn. Dessa bilagor bör därför läsas först, innan den områdesvisa redovisningen i bilaga 1 studeras.

Bilaga 5 redovisar de undersökningsmetoder som använts, undersökningarnas omfattning samt utvecklingen av undersöknings- och analysmetoder, mätprecision, kvalitetssäkring och datahantering från typområdesundersökningarna, via Äspö och fram till platsundersökningarna i Forsmark och Oskarshamn. I de fall då detta är möjligt redovisas hur skillnader mellan då och nu har förändrat möjligheterna att göra tillförlitliga bedömningar och prognoser.

Beskrivningen av referensområdena i denna bilaga följer en gemensam mall där varje ämnesområde beskrivs för sig. I de fall en säkerhetsanalys eller säkerhetsbedömning har gjorts för området avslutas beskrivningen med en kort sammanfattning av huvudpunkterna i säkerhetsanalysen/bedömningen.

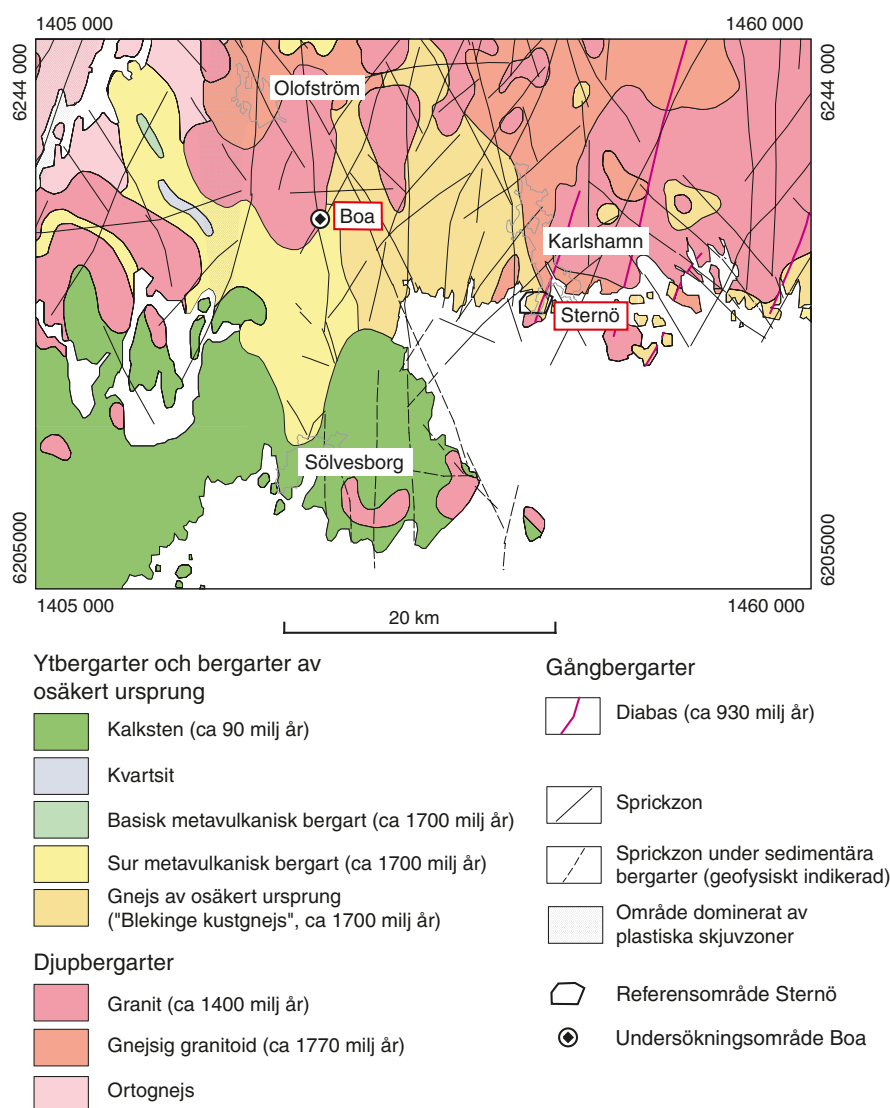
Bergartsbeteckningarna på referensområdenas berggrundskartor kan skilja mellan de regionala kartorna som är baserade på nationalatlasens berggrundskarta i skala 1:1 250 000 och detaljkartorna som baseras på de för respektive område angivna rapporterna.

B Svenska undersökningar

B.1 Sternö

B.1.1 Allmänt

Undersökningsområdet Sternö är beläget på en halvö omedelbart sydväst om tätorten Karlshamn, se figur B-1.



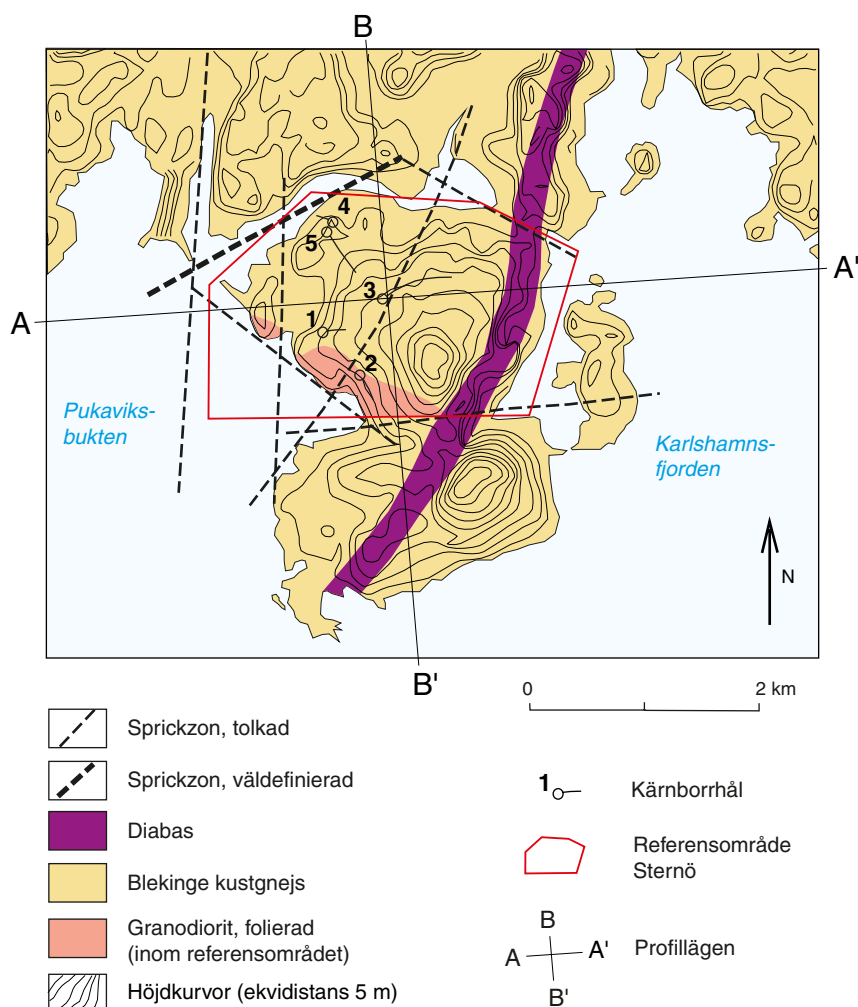
Figur B-1. Förenklad berggrundsgeologisk karta baserad på nationalatlasens berggrundskarta i skala 1:1 250 000. Sveriges geologiska undersökning.

Halvön når som mest en nivå av drygt 50 meter över havet inom två höjdparter, dels centralt på halvön, dels i den sydöstra delen. Undersökningsområdet är endast 2×1,5 kilometer stort.

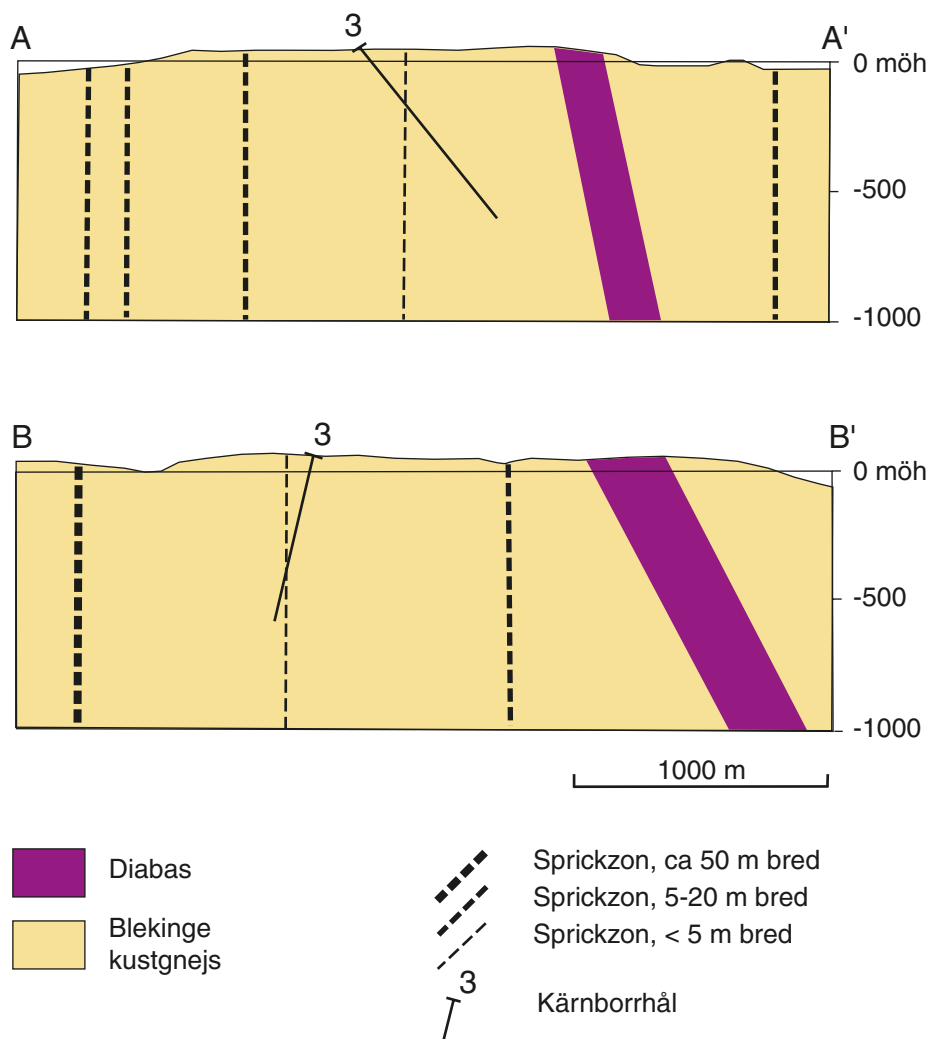
Under perioden 1977–1979 utförde SKB geovetenskapliga undersökningar omfattande kart- och flygbildsstudier, ytgeologisk berggrundskartering, samt fem kärnborrhål, KKA01–KKA05, med längder varierande mellan 577 meter och 803 meter (sammanlagd borrhålslängd 3 339 m), se figur B-2 och B-3. Vertikaldjupen varierar mellan 500 meter och 785 meter. I kärnborrhålen har kärnkartering, borrhålsgeofysisk loggning, vatteninjektionstester samt grundvattenkemisk provtagning utförts. På en del av borrhålen togs prover för petrofysikalisk analys.

Markgeofysiska undersökningar utfördes ej under undersökningsperioden 1977–79. Däremot utfördes under 1983 en markgeofysisk och en flyggeofysisk profilmätning med magnetometrisk metod i syfte att bestämma stupningen på den diabasgång som genomkorsar Sternö i nordost-sydvästlig riktning. Dessutom utfördes in situ-mätningar på hällar av magnetisk susceptibilitet och remanens.

Vissa geovetenskapliga undersökningar i regional skala har också utförts. Dessa omfattade sammanställning av bergundsgeologiskt kartmaterial i ett cirka 30×30 kilometer stort område runt Karlshamn/Sternö och strukturgeologiska analyser resulterande i en lineamentskarta inom ett cirka 2,7×2,7 kilometer stort område runt Karlshamn/Sternö. Slutligen gjordes en sammanställning av inläckagedata från bergum i Karlshamnstrakten.



Figur B-2. Berggrundsgeologisk karta Sternö /efter B1-1/.



Figur B-3. Berggrundsgelogiska tvärprofiler Sternö /efter B1-1/. Profilernas läge framgår av figur B-2.

B.1.2 Geologi

Bergarter

Undersökningsområdet på Sternö domineras av blekinge kustgnejs. Bergarten i fråga är i allmänhet finkornig inom undersökningsområdet. Gnejsens foliationsriktning varierar i områden där gnejsen är belägen i närheten av yngre granit. Inom den norra delen av undersökningsområdet har ett stort antal gångar av pegmatit och finkornig granit identifierats.

I den södra delen av området penetreras kustgnejsen av ett flertal gångar av karlshamnsgranit. Övergångsformer mellan gnejs och granit förekommer också inom detta område.

Söder om undersökningsområdet består Sternö av karlshamnsgranit, vilken stupar in under kustgnejsen.

I borrkärnorna har fyra bergartstyper identifierats: kustgnejs (36 %), veckad granodiorit (ofta benämnd gnejsgranit, 36 %), karlshamnsgranit (12 %) samt pegmatit i olika varianter jämte diverse övergångsformer mellan olika bergarter (14 %).

Jordarter

Hällblottningsgraden är mycket hög på Sternö, cirka 75 %, och jordtäcknet är, där det förekommer, mycket tunt. Enda förekommande jordarter är normalblockig sandig-moig morän samt små ytor med svallgrus.

Malmpotential

Berggrunden på Sternö är ej malmpotentiell.

Deformationszoner

Sprickzoner inom och i omedelbar närhet av undersökningsområdet på Sternö identifierades med hjälp av flygbilder samt topografiska och geologiska kartor. Sammanlagt identifierades sex möjliga sprickzoner. Ytterligare en zon identifierades enbart utgående från topografiska data.

Endast två av sprickzonerna påträffades i (två av) kärnborrhålen. Den ena kännetecknades av hög sprickfrekvens inklusive krosszoner mellan 200 och 500 meter. Den andra zonen däremot visar sig endast som en 2-meterssektion med ökad sprickfrekvens. Zonens bredd har dock, med hjälp av hydraultestdata uppskattats till 10–80 meter.

Sprickfrekvensen är låg för de flesta förekommande bergarter. Ett undantag utgörs av den stora diabasgången på Sternö som uppvisar hög sprickfrekvens. Även i borrhålen är sprickfrekvensen låg. Det kan noteras att sprickfrekvensen i borrhålen ner till 100 meter är cirka 50 % högre än sprickfrekvensen på de karterade hållarna.

Vanliga sprickfyllnadsmineral i borrhålen är kalcit, klorit, pyrit och gips.

B.1.3 Hydrogeokemi

Hydrogeokemiska undersökningar har genomförts i två kärnborrhål, KKA03 (en sektion) och KKA04 (tre sektioner). Provtagna sektioner representerar djup mellan 226 och 397 meter. Grundvattenprovtagningen och analysresultaten finns redovisade i /B1-31/. Resultaten är senare sammanfattade i /B1-1/. Eftersom Sternö var det första område där hydrogeokemisk provtagning genomfördes så är provkvaliteten låg eller tveksam. Man måste ta i beaktande att den utrustning som användes i allt väsentligt bestod av prototyper och kunskapen saknades om de problem med kontamination och kortslutning som måste hanteras vid provtagning på stort djup.

De provtagna vattnen är lågsalina⁶ ($Cl = < 50$ mg/L) men har relativt höga HCO_3 och SO_4 halter (cirka 300 mg/L respektive 120 mg/L). Tritium-värdena är genomgående höga, cirka 60 TU, vilket tyder på ett modernt meteoriskt ursprung av vattnet. Detta vatten har trängt ned till 200–400 meter djup sannolikt som en produkt av kontamination i samband med borrningen, alltför omfattande pumpning i samband med provtagningen, eller helt enkelt inflöde från ytligare sektioner i borrhålet. Även $\delta^{18}O/\delta^2H$ värdena stödjer ett meteoriskt ursprung på vattnet.

Tabell B-1. Grundvattenkemi från borrhålet KKA04 på Sternö.

Borrhål	Djup (m)	Na (mg/L)	HCO_3 (mg/L)	Cl (mg/L)	SO_4 (mg/L)	Tr (TU)	$\delta^{18}O$ ‰ SMOW	pH	Eh (mV)	TDS (mg/L)	Ca+Mg (mg/L)	TOC (mg/L)	S_2 (mg/L)
KKA04	397	58	295	41	112	60	-9,9	7,3	-	617	97	4,6	-

⁶ Lågsalint vatten: $< 1\ 000$ mg/L Cl, dessa vatten är vanligen av Na-Ca- HCO_3 -(SO_4)-typ /B1-42/.

B.1.4 Hydrogeologi

Centrala Sternö utgör ett höjdparti med en högsta punkt av cirka 50 meter över havet. Detta parti antas utgöra ett inströmningsområde för grundvatten. Från detta område sluttar grundvattenytan i allmänhet kontinuerligt mot den omgivande Östersjön. Medelnivån för undersökningsområdet är 25 meter över havet. Inom undersökningsområdet utfördes hydrogeologiska undersökningar i fem st borrhål, KKA01–KKA05, med varierande sektionslängder.

Bergets hydrauliska konduktivitet inom Sternös undersökningsområde bestämdes huvudsakligen med vatteninjektionstester med dubbelmanschett i 2-meters- eller 3-meterssektioner. Mätningarna utfördes under perioden 1977–1979 vid två olika testkampanjer. Även enkelmanschettmätningar med långa testsektioner utfördes i alla borrhål. Dessutom utfördes under 1979 grundvattennivåmätningar i alla kärnborrhål samt i ett antal kortare borrhål, vilka borrats i samband med byggandet av de bergrum för oljelagring som finns vid Karlshamnsverket.

Vid redovisningen av data definierades tre hydrauliska enheter: bergmassa, sprickzoner samt skärningpunkter mellan sprickzoner. Undersökningsområdet betraktades uppdelat i två block av en brant stupande zon, benämnd nr 4 /B1-1/.

Underlag för bedömning av de i avsnitt 6.2.2 uppsatta önskemålen presenteras nedan. Sammanställningen baseras på material från rapporterna /B1-1, B1-3, B1-4, B1-5, B1-6/ och uppgifter i databasen Sicada.

Tabell B-2. Sternö. Hydraulisk konduktivitet i bergmassan och zoners transmissivitet i djupintervallet 400–700 meter (vertikalt djup under borrhålsmyningen) samt hydrauliska gradient på försvarsdjup.

Hydraulisk konduktivitet i bergmassan		
Borrhålslängd i aktuellt djupintervall	cirka 800 m	
Antal hål som passerar det vertikala djupet 400 m	4	Antalet hål som passerade nivån 400 m var fem. I ett av hålen var dock bestämningarna av hydraulisk konduktivitet påverkade av instrumentfel, varför detta hål inte tagits med i redovisningen.
Totala antalet 20- och 21-meterssektioner	41	Beräkningarna av hydraulisk konduktivitet i 20- och 21-meterssektioner baserades på mätningar i två- och tre-meterssektioner. De redovisade mätningarna kan även omfatta zoner då dessa inte var särredovisade i rapporterna.
Antalet 20- och 21-meterssektioner där den hydrauliska konduktiviteten är mindre än 10^{-8} m/s	41	–”–
Andelen sektioner (%) som har en hydraulisk konduktivitet som är mindre än 10^{-8} m/s	100	Nedre mätgräns för beräknade värden i 20- och 21-meterssektioner varierade mellan 4×10^{-10} m/s och $2,4 \times 10^{-9}$ m/s.
Zoners transmissivitet		
Antal sprickzoner som skär hål i avsnittet 400–700 m	i.u.	I rapporten /B1-1/ finns inga uppgifter angående transmissiviteter i zoner. Om det till exempel funnits en sprickzon i hålen så skulle transmissiviteten för denna var lägre än 10^{-5} m ² /s. Detta baseras på beräknade värden i 20- och 21-meterssektioner.
Antal sprickzoner som skär hål i avsnittet 400–700 m och som har en transmissivitet större än 10^{-5} m ² /s	i.u.	–”–
Antalet sprickzoner ($T > 10^{-5}$ m ² /s) per 100 m borrhål	i.u.	–”–
Hydraulisk gradient på försvarsdjup		
Skattat värde på maximal medelgradient på försvarsdjup	$\leq 0,5$ %	Skattad gradient för yttlig grundvattenyta är cirka 1 %.

B.1.5 Transportegenskaper

Tabell B-3. Transportmotstånd och formotionsfaktor för berggrunden vid Sternö.

Transportmotstånd (F-parametern)	Uppgifter saknas	
Formotionsfaktor	Beräknade formotionsfaktorer ligger mellan $3,0 \times 10^{-5}$ – $8,1 \times 10^{-5}$	Två bestämningar finns gjorda från Sternöområdet. Mätningarna gjorda på gnejs med två typer av lösningar och ett spårämne /B1-7/.

B.1.6 Bergets mekaniska och termiska egenskaper

Sternö är ett av de områden från vilka kärnprover togs för de första bergmekaniska testerna som gjordes inom det svenska kärnavfallsprogrammet (de övriga var Kråkemåla, Finnsjön och Stripa) /B1-8/. Ett tiotal bestämningar av standardparametrar (E-modul, enaxiell tryckhållfasthet, draghållfasthet) gjordes på prover från ett borrhål. Resultaten visade på värden som är normala för bergarten ifråga, möjligen med undantag för några relativt låga hållfasthetsvärden. Ingen information finns om bergspänningar. Temperaturmätningar gjordes i ett borrhål, och gav värdet 13,4 °C på 500 meters djup /B1-9/. Inga bestämningar har gjorts av bergets termiska egenskaper.

B.1.7 Säkerhetsanalys

Ingen säkerhetsanalys har genomförts specifikt för Sternö. I den säkerhetsbedömning som gjordes inom KBS-3-utredningen anges dock att Sternö är exempel på ett område där ”berggrunden är sådan att den väl lämpar sig för anläggning av ett säkert slutförvar”. Sternö undersöktes inte specifikt för säkerhetsanalysen i KBS-3-utredningen, utan bedömningen baserades på resultat från tidigare undersökningar av platsen /B1-10/. Sternö nämns redan i KBS-1-utredningen, men där gjordes inte någon säkerhetsanalys med platsspecifika data.

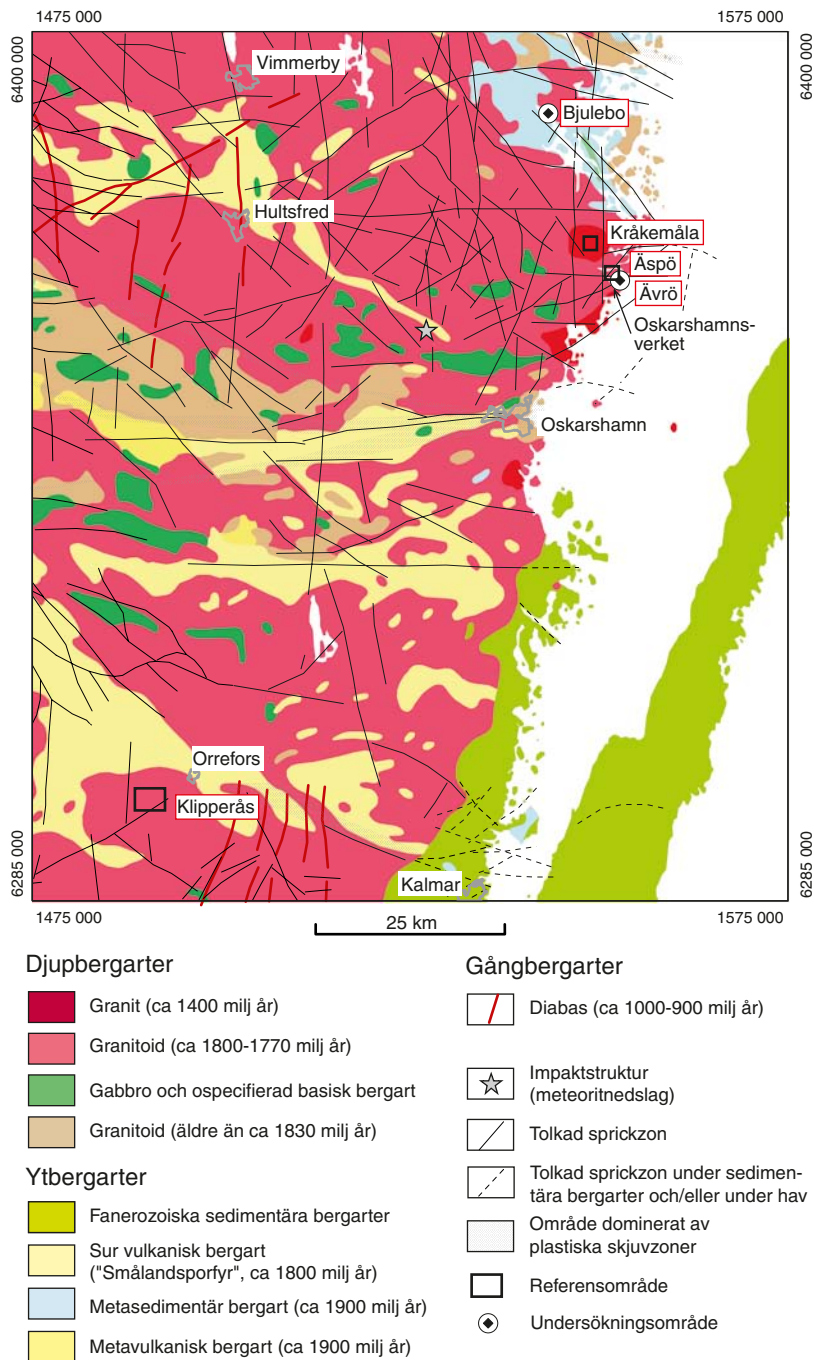
B.2 Klipperås

B.2.1 Allmänt

Klipperås ligger cirka fyra kilometer sydväst om Orrefors tätort, se figur B-4. Området är flackt och skogbevuxet.

Undersökningsområdet vid Klipperås har en storlek av 3×4 kilometer. Området är beläget inom det subkambriska peneplanet och är mycket flackt. Större delen av området ligger på nivå 190–200 meter över havet. Under perioden 1983–1985 utförde SKB geovetenskapliga undersökningar omfattande kart- och flygbildstudier, ytgeologisk berggrundskartering, markgeofysiska undersökningar med metoderna magnetometer, slingram och VLF samt kärnborring av 14 st borrhål, KKL01–KKL14, med längder från 200 meter till 959 meter (sammanlagd borrhållslängd 6 963 m), se figur B-5 och B-6. Vertikaldjupen varierar mellan 153 meter och 940 meter. I kärnborrhålen har kärnkartering, borrhålsgeofysisk loggning, borrhålsradarmätning, vatteninjektionstester samt grundvattenkemisk provtagning utförts. Förutom kärnborrhål borrades 14 st hammarborrhål med längder mellan 66 och 150 meter (vertikaldjup mellan 50 och 150 m). I hammarborrhålen utfördes geofysikloggning och hydraultester.

Geovetenskapliga undersökningar av olika slag utfördes även i omgivningarna till centralområdet. Lineamentstolkning från flygbilder utfördes inom ett 25×25 kilometer stort område och markgeofysiska undersökningar i ett 14 km² stort område.



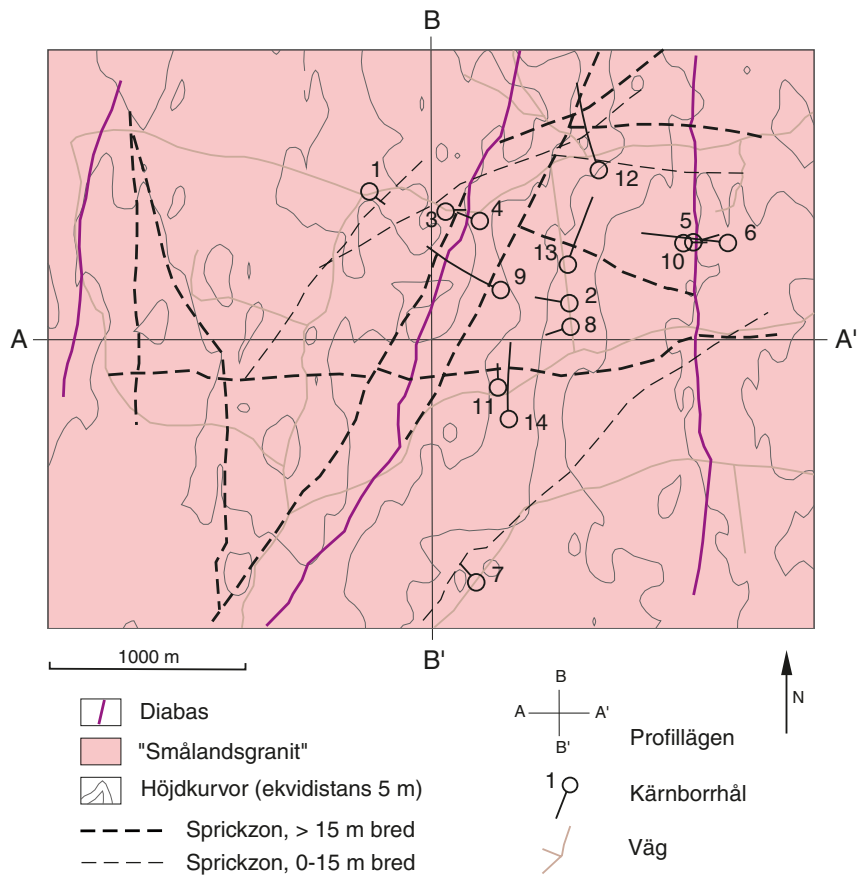
Figur B-4. Förenklad berggrundsgeologisk karta baserad på nationalatlasens berggrundskarta i skala 1:1 250 000. Sveriges geologiska undersökning.

B.2.2 Geologi

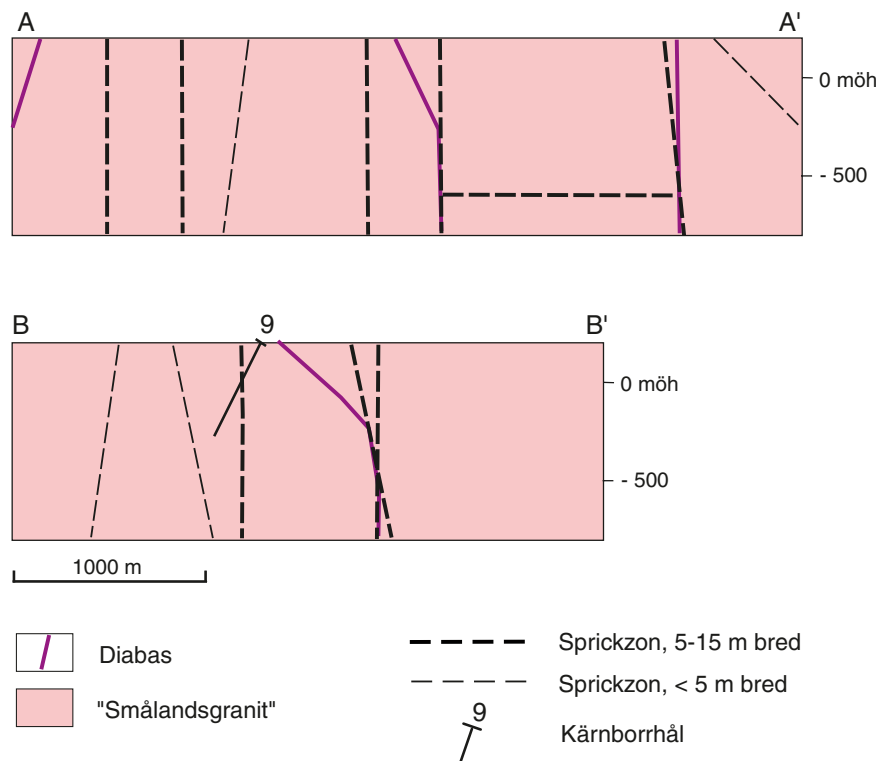
Bergarter

Undersökningsområdet vid Klipperås skiljer sig från övriga områden som undersökts av SKB såtillvida att hällar saknas nästan helt (30 st hällar inom en areal av 12 km²). Detta försvårade avsevärt bedömningen av bergartsfördelning samt frekvens och läge av sprickor/sprickzoner.

Klipperåsområdet domineras av smålandsgranit (cirka 85 %), medan basiska bergarter (cirka 7 %), gångar av smålandsporfyr (cirka 5,5 %), diabas (cirka 1,5 %) och aplit (cirka 1 %) förekommer underordnat.



Figur B-5. Berggrundsgeologisk karta Klipperås /efter B1-11/. Kartans avgänsning motsvarar referensområdet (undersökningsområdet). För att förbättra läsbarheten har smålandsgraniten givits en ljusare färg än i figur B-4.



Figur B-6. Berggrundsgeologiska tvärprofiler Klipperås /efter B1-11/. Profilernas läge framgår av figur B-5. För att förbättra läsbarheten har smålandsgraniten givits en ljusare färg än i figur B-4.

Smålandsgraniten är mestadels medelkornig och massformig. Lokalt kan dock en svag foliation med ost-västlig strykning iakttas.

Smålandsgraniten genomskärs av finkorniga aplitgångar av cirka 0,5 meters bredd och med skarp kontakt mot omgivningen. Enstaka gångar kan ha betydligt större bredd.

Förekommande basiska bergarter är förskiffrade. En del anses vara xenoliter, andra gångar.

Gångarna av smålandsporfyrt har varierande kemisk sammansättning: granitisk, granodioritisk eller monzonitisk. Porfyrgångarna har vanligen en bredd av cirka 10 meter och de är orienterade i ost-västlig till väst-nordvästlig riktning med brant stupning mot syd.

Områdets yngsta bergarter är välbevarade diabasgångar. Tre typer kunde identifieras, starkt magnetisk diabas, omvandlad diabas och starkt magnetisk alkalisk diabas. Bredden på diabasgångarna är, med få undantag, 1–10 meter. Diabasgångarnas orientering är nordlig till nordostlig. De nordliga stupar brant mot väster medan de nordvästliga stupar 65–90° mot öster.

Jordarter

Hällblottningsgraden i Klipperåsområdet är, som nämnts låg. Hela områdets jordtäckte består av företrädesvis normalblockig, sandig-moig morän som här och var täcks av torv.

Malmpotential

Bergarterna inom undersökningsområdet anses ej malmpotentiella.

Deformationszoner och berggrundens stabilitet

Sprickzonerna i Klipperåsområdet undersöktes först med hjälp av flygbilder, geologisk kartläggning samt geofysiska markmätningar. De sprickzoner som lokaliserades med dessa metoder betraktas dock som preliminära på grund av den flacka topografin, det tjocka moräntäcket och den täta skogen inom området.

Därefter borrades hammar- och kärnborrhål för att, om möjligt, verifiera de preliminärt lokaliserade zonerna. Samtliga tolkade sprickzoner associerade med starka geofysiska anomalier visade sig utgöra antingen verkliga sprickzoner eller basiska gångar eller en kombination av dessa. Det bör framhållas att det genomsnittliga avståndet mellan sprickzoner i Klipperåsområdet är cirka två gånger så stort som i andra av SKB undersökta områden. Kombinationen av yt- och borrhålsstudier resulterade i att 12 st lokala sprickzoner identifierades. Elva av dessa kunde studeras i borrhållarna.

Sprickzonernas bredd varierar mellan 10,5 till 36 meter med en medelbredd av 20 meter. Följande strykningensriktningar dominerar: N-S, O-V, NO-SV och O-NO.

Sprickzonerna stupar i allmänhet brant med undantag för en subhorisontell zon samt en som stupar 65° mot horisontalplanet.

I Klipperåsområdet har sprickstudier kunnat göras endast på borrhållar på grund av den dåliga tillgången på hällar. Den genomsnittliga sprickfrekvensen för olika bergartstyper, oberoende av djupet i borrhållarna, är lägst för Smålandsgraniten med 4,3 sprickor per meter. Apliten uppvisar frekvensen 7,4 sprickor per meter, gångar med Smålandsporfyrt 7,5 sprickor per meter, basiska bergarter 10,0 sprickor per meter och diabasgångar 6,4–18,7 sprickor per meter.

Vanliga sprickmineral i borrhållarna är klorit, epidot, hematit, kalcit, muskovit/illit, kvarts, alkalifältspat och pyrit.

B.2.3 Hydrogeokemi

Hydrogeokemiska undersökningar har genomförts i tre kärnbrorhåll, KKL01 (1 sektion), KKL02 (5 sektioner) samt KKL09 (1 sektion). Provtagna sektioner representerar djup från 326 till 860 meter. De hydrogeologiska och hydrogeokemiska förhållandena är utvärderade och redovisade i /B1-12/ och hela platsundersökning från Klipperås sammanfattas i /B1-11/. Av de provtagna sektionerna har endast provet från KKL01 (406–564 m) bedömts vara representativt. Även om sektion är lång så är det i huvudsak ett spricksystem som har blivit provtaget.

De analyserade vattnet är lågsalint ($Cl = 43$ mg/L) och har en bikarbonathalt på 78 mg/L HCO_3 och negligerbar sulfathalt (1,8 mg/L). Tritiumvärdet ligger under detektionsgränsen (< 3 TU) och ^{14}C analysen visar mindre än 5 % modernt kol (pmC). $\delta^{18}O$ värdet är $-12,2$ ‰ vilket är något lägre än dagens meteoriska vatten på platsen. Vattnet kan därför klassificeras som ett gammalt meteoriskt vatten som sannolikt innehåller en komponent av vatten från en period med kallare klimat. Vattnet är reducerande ($Eh = -320$ mV).

Tabell B-4. Grundvattenkemi från borrhålet KKL01 (406–564 m) i Klipperås.

Borrhål	Djup (m)	Na (mg/L)	HCO_3 (mg/L)	Cl (mg/L)	SO_4 (mg/L)	Tr (TU)	$\delta^{18}O$ ‰ SMOW	pH	Eh (mV)	TDS (mg/L)	Ca+Mg (mg/L)	TOC (mg/L)	S_2 (mg/L)
KKL01	484,98	46	78	43	1,8	< 3	-12,2	8,5	-320	183	17	3,7	0,15

B.2.4 Hydrogeologi

Hydrogeologiska undersökningar utfördes i 14 st kärnbrorhåll och 14 st hammarborrhåll.

Klipperåsområdet är påtagligt flackt, vilket har betydelse för de geohydrologiska förhållandena. I ett subregionalt område runt Klipperås är grundvattenytan relativt flack och sjunker från nivån 230 meter över havet i nordväst till cirka 90 meter över havet i sydost. Detta motsvarar en genomsnittlig hydraulisk gradient av 0,5 % för det ytliga grundvattnet. Den regionala grundvattenströmningen är riktad från nordväst mot sydost. Lokala små avrinningsområden återfinns i terrängens lågpunkter. Inom undersökningsområdet varierar grundvattenytans nivå mellan 200–170 meter över havet.

Berggrundens hydrauliska konduktivitet undersöktes i kärnbrorhållen med hjälp av injektionstester med dubbelmanschett i 5, 20 eller 25 meter långa testsektioner. Med hjälp av regressionsanalys av mätdata beräknades bergmassans hydrauliska konduktivitet på 500 meter djup till cirka 10^{-9} m/s. Detta är mycket högre än motsvarande värden för bergmassan vid Fjällveden, Gideå, Svartboberget och Kamlunga. Detta fenomen förklaras troligen av svårigheter att särskilja bergmassa från sprickzoner i Klipperåsområdet. Därför har sannolikt ett antal sprickzoner inkluderats i bergmassan.

Antalet mätvärden från sprickzoner är mycket få i djupintervallet 400–700 meter. Cirka fem sprickzoner finns redovisade i djupintervallet 200–400 meter. Dessa har en transmissivitet på ungefär 10^{-6} m²/s /B1-13/.

Underlag för bedömning av de i avsnitt 6.2.2 uppsatta önskemålen presenteras nedan. Sammanställningen baseras på material från /B1-11, B1-13, B1-14/ och databasen Sicada.

Tabell B-5. Klipperås. Hydraulisk konduktivitet i bergmassan och zoners transmissivitet i djupintervallet 400–700 meter (vertikalt djup under borrhålsmyningen) samt hydrauliska gradient på försvarsdjup.

Hydraulisk konduktivitet i bergmassan		
Antal hål som passerar det vertikala djupet 400 m	7	
Totala antalet 20- och 25-meterssektioner	82	
Antalet 20- och 25-meterssektioner där hydrauliska konduktiviteten är mindre än 10^{-8} m/s	58	De redovisade mätningarna kan även omfatta några zoner.
Andelen sektioner (%) som har en hydraulisk konduktivitet som är mindre än 10^{-8} m/s	71	Nedre mätgräns för mätta 20- och 25-meterssektioner var cirka 1×10^{-11} m/s.
Zoners transmissivitet		
Borrhålslängd i aktuellt djupintervall (m)	cirka 1 600	
Antal sprickzoner som skär hål i aktuellt djupintervall	2	Det var svårt att urskilja sprickzoner från det uppspruckna berget. Av den anledningen kan antalet sprickzoner vara några fler än två. Ingen av de redovisade zonerna har en större transmissivitet än 10^{-5} m ² /s.
Antal sprickzoner i aktuellt djupintervall och som har en transmissivitet större än 10^{-5} m ² /s	0	— —
Antalet sprickzoner ($T > 10^{-5}$ m ² /s) per 100 m borrhål	0	— —
Hydraulisk gradient på försvarsdjup		
Skattat värde på maximal medelgradient på försvarsdjup	≤ 0,5 %	Skattad gradient för ytlig grundvattenyta är cirka 0,6 %.

B.2.5 Transportegenskaper

Tabell B-6. Transportmotstånd och formationsfaktor för berggrunden vid Klipperås.

Transportmotstånd (F-parametern)	Uppgifter saknas
Formationsfaktor	Uppgift saknas

B.2.6 Bergets mekaniska och termiska egenskaper

Ingen information finns om bergspänningar, mekaniska- eller termiska egenskaper i Klipperås. Likheter i geologisk miljö talar för förhållanden liknande de som vid Simpevarp och Laxemar. Temperaturmätningar gjordes som en del av den geofysiska loggningen. Medeltemperaturen på 500 meters djup bestämdes till 13,4 °C /B1-9/.

B.2.7 Säkerhetsanalys

Data från Klipperås har inte använts i någon säkerhetsanalys.

B.3 Äspö

B.3.1 Allmänt

Ön Äspö ligger cirka 23 kilometer nordost om Oskarshamns tätort och cirka en kilometer norr om Oskarshamnsvirket, se figur B-4. Ön är ungefär triangulär till formen, där den norra kusten utgör triangelns bas. Denna kuststräcka är cirka 1 600 meter lång, och avståndet därifrån till sydspetsen på ön är cirka 1 150 meter. Äspö är skogbevuxen med en blandning av löv- och barrskog. Ön är relativt flack och merparten av arealen är belägen under 10 meter över havet. Ett fåtal högre partier når cirka 15 meter över havet. De högsta partierna är belägna centralt på Äspö, och från detta område avtar nivån. Smärre dalsänkor, som ofta börjar i havsvikar, genomkorsar ön. Den mest framträdande av dessa är en dalgång i nordost-sydvästlig riktning tvärs över den mittre delen av ön. Dalgången sammanfaller med Äspö skjuvzon (som tilldelats benämningen EW-1).

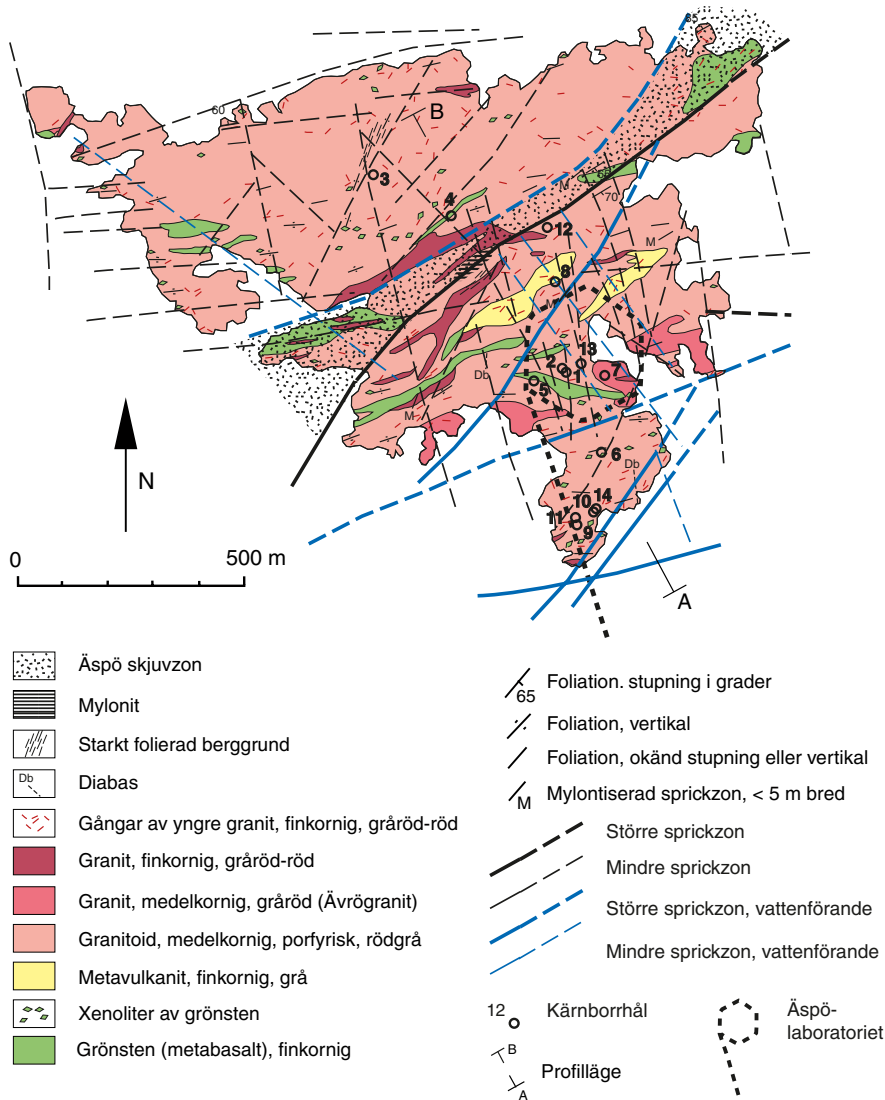
På Äspö finns kontors- och lagerlokaler tillhörande SKB:s berglaboratorium; Äspölaboratoriet, avsett för forskning och demonstration. Själva berglaboratoriet är beläget cirka 450 meter under markytan och hit leder såväl ett hisschakt från Äspökontoret som en flera kilometer lång tunnel från Simpevarp. Under perioden 1986–90 utfördes mycket omfattande geovetenskapliga förundersökningar i såväl regional som lokal skala innan tunneldrivningen för berglaboratoriet igångsattes. Äspö har studerats med fjärranalys (satellit- och flygbildsbildstolkning), kartstudier, detaljerad geologisk ytkartering, flyg- och markgeofysiska studier samt djupstudier. För de senare har 15 st kärnborrhål med längder mellan 100–1 002 meter borrats, se figur B-7 och tvärprofil figur B-8. Förutom kärnborrhål har 21 st hammarborrhål med längder mellan 93–201 meter borrats. De flesta hammarborrhålen är ansatta med cirka 60° lutning mot horisontalplanet. Borrkärnorna har karterats och i de flesta borrhålen, såväl kärn- som hammarborrhål har geofysisk borrhålsloggning och hydraultester utförts. I vissa borrhål har grundvattenprover tagits för kemisk analys. Under tunneldrivningen, som pågått 1990–95, och även efter densamma, under driftfasen, har observationer av grundvattennivåer utförts i de flesta av borrhålen. I vissa borrhål har det dessutom funnits sensorer för observation av elektrisk konduktivitet. Mätdata har utnyttjats bland annat för utförande av hydraulisk modellering av Äspöområdet. Under driftfasen, som påbörjades 1995, utförs geovetenskapliga experiment i Äspölaboratoriet.

B.3.2 Geologi

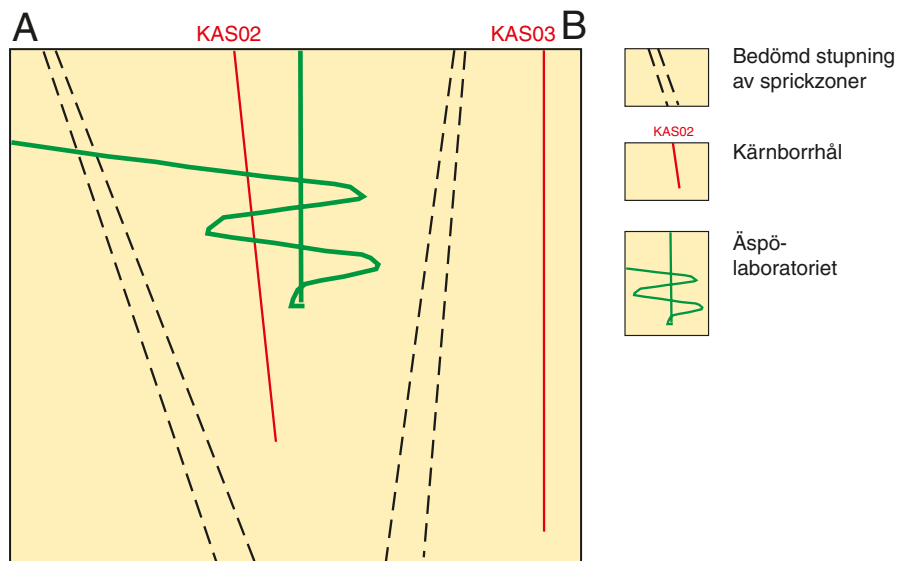
Bergarter

Dominerande bergarter på Äspö tillhör den 1 700–1 800 miljoner år gamla gruppen smålandsgraniter med basiska inneslutningar och gångar, som troligen bildats i en kontinuerlig magma-blandningsprocess. Denna process har resulterat i en delvis inhomogen bergmassa som, vad gäller mineralogisk sammansättning, varierar från granitiska, granodioritiska till dioritiska bergarter. Kroppar av diorit har lokaliserats i borrhål på stort djup i undersökningsområdet. Den areellt dominerande bergarten är en medelkornig rödgrå porfyrisk granit till granodiorit med ögon av röd mikroklin. I bergmassan, speciellt i ett ostligt-nordostligt bälte tvärs över centrala Äspö, finns äldre, veckade, basiska lager och inneslutningar.

Bergmassan på Äspö har intruderats av finkorniga graniter av två eller tre generationer. Dessa är relaterade till smålandsgraniterna och till den yngre, cirka 1 400 miljoner år gamla götemargraniten, som närmast återfinns vid Götemar, cirka 2–3 kilometer nordväst om Äspö. De finkorniga graniterna är röd- till gråaktiga. De bildar dels gångar av varierande bredd, ofta med nordostlig strykning och med brant stupning, dels mycket oregelbundna kroppar och sliror. De finkorniga graniterna har även återfunnits på stort djup i borrkärnorna och i Äspötunneln. Den sydöstra delen av ön, vilken vetter mot Ävrö, består av skävrögranit, en variant av smålandsgranit som utgör huvudbergart på den intilliggande ön Ävrö.



Figur B-7. Berggrundsgeologisk karta Äspö /efter B1-15/.



Figur B-8. Tvärprofil Äspö /efter B1-16a/. Profiläget framgår av figur B-7.

I nordost-sydvästlig riktning finns ett stråk tvärs över Äspö med hällar bestående av en fin-kornig basisk, ofta starkt omvandlad bergart. Smärre förekomster av aplit, pegmatit, diabas och mylonit finns också spridda över ön. Det mest omfattande och kända mylonitstråket återfinns i Äspö skjuvzon (se nedan).

Jordarter

Hällblottningsgraden är mycket hög på Äspö. Det mestadels tunna jordtacket, som återfinns i dalsänkorna mellan hällarna består av morän, ibland överlagrad av tunn torv. De delvis igenväxta havsvikarna kan ha ett tunt gyttjeskikt över en stenig moränbotten.

Malmpotential

Äspös berggrund är ej malmpotentiell.

Deformationszoner och berggrundens stabilitet

Det mest dominerande strukturelementet i berggrunden på Äspö är en nordostlig till ost-nordostlig strykande, nästan brantstående veckning. Denna tycks vara det äldsta tecknet på plastisk deformation i området.

Fortsatta och intensifierade omvandlingsprocesser resulterade i förgnejsning av vissa zoner i berggrunden och i samband med en plastisk till halvplastisk deformationsfas bildades en nordostligt strykande mylonitisk skjuvzon tvärs över öns centrala till sydöstra delar (Äspö skjuvzon). Skjuvzonen karaktäriseras av stark foliation och flera meter breda mylonitstråk som stryker ost-väst och stupar brant mot norr.

Den spröda deformationen har troligen samband med intrusionen av yngre granit och de äldre plastiska zonerna reaktiverades ett flertal gånger.

Topografiska kartor och fjärranalys liksom flyg- och markgeofysiska mätningar har påvisat flera mer eller mindre framträdande lineament som genomkorsar Äspö /B1-16b, B1-16c/. Lineamenten motsvaras av sprickzoner av varierande storlek. Sprickzonerna uppvisar ett brett spektrum av riktningar och deformationsstilar. De flesta utgörs av reaktiverade äldre strukturer.

Bergmassans sprickighet i ytan har på Äspö bland annat undersökts längs två nord-sydliga sammanhängande profiler, renspolade från jord. Cirka 4 500 sprickor av minst 0,5 meters längd undersöktes. Dominerande sprickriktningar är N60°W, N5°W och N60°E. Även viss frekvens av ost-västliga sprickor förekommer. Cirka 85 % av de karterade sprickorna är branta, cirka 70–90°. De flesta av de relativt fåtaliga flacka sprickorna uppvisar strykningsriktningen N60°E och stupar huvudsakligen mot norr. De längsta sprickorna återfanns i den porfyriska graniten och de kortaste i myloniten. Den finkorniga graniten uppvisade högre sprickfrekvens än den porfyriska graniten.

B.3.3 Hydrogeokemi

För att göra en bedömning av områdets lämplighet har endast borrhål från förundersökningarna beaktats, det vill säga borrhål borrade innan Äspölaboratoriet byggdes. Från förstudien finns hydrogeokemiska data från totalt 19 sektioner fördelat på fyra kärnborrhål. Beskrivning av provtagning och analysresultat samt utvärdering finns redovisat i /B1-17/. Endast sju av de provtagna sektionerna representerar 400 till 700 meters djup (jämför tabell B-7) och alla dessa innehåller salina vatten (5 440–6 330 mg/L Cl) med undantag av ett prov som visar ett klorid-innehåll på 4 600 mg/L. Bikarbonathalten är relativt låg (10–65 mg/L HCO₃) medan sulfathalten är högre (290–550 mg/L SO₄). Tritium varierar mycket och två sektioner visar tritiumhalter runt 8 TU. Det finns dock en risk att dessa är ett resultat av kontaminering. $\delta^{18}\text{O}$ resultaten varierar från –13,6 till –7,4 ‰. Den stora variationen i $\delta^{18}\text{O}$ mellan vatten av i stort sett samma salthalt tyder på att dessa vatten utgörs av blandningar av olika proportioner Östersjövatten, gammalt

Tabell B-7. Grundvattenkemi från borrhålen KAS02, KAS03, KAS04 och KAS06 på Äspö.

Borrhål	Djup (m)	Na (mg/L)	HCO ₃ (mg/L)	Cl (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	Tr (TU)	δ ¹⁸ O ‰ SMOW	pH	Eh (mV)	TDS (mg/L)	Ca+Mg (mg/L)	TOC (mg/L)	S ₂ (mg/L)
KAS02	465,50	1 800	25	5 440	290	8	-12,8	8,2	-290	9 136	1 646	3,0	0,13
KAS02	532,50	2 200	10	6 330	550	8	-12,3	8	-310	10 980	–	1,00	0,18
KAS03	466,50	1 550	27	4 600	300	<8	-13,6	7,6	–	7 667	1 230	–	0,11
KAS03	616,00	1 920	11	5 880	470	<8	-13,3	8	–	10 021	1 778	1,10	0,05
KAS04	460,49	1 890	21	5 840	407	0,03	-11,9	8,1	-280	9 818	1 721	1,30	0,60
KAS06	397,50	2 070	64	5 970	362	0,6	-7,4	7,5	–	9 876	1 563	0,10	0,00
KAS06	520,59	2 200	50	6 150	459	3,5	-8,2	7,5	–	10 430	1 700	0,50	0,02

salint⁷ vatten och glacialvatten. Eh-mätningar finns endast från tre sektioner (-280 till -310 mV) men detekterbara sulfidhalter har påträffats i alla sektioner utom en och Fe(tot) varierar mellan 0,24–1,0 mg/L (mätt i fyra sektioner). Sammantaget indikerar detta att vattnen är reducerade på 400 till 700 meters djup.

B.3.4 Hydrogeologi

Ett mycket omfattande testprogram för bestämning av olika hydrauliska parametrar genomfördes som en del av de geovetenskapliga förundersökningarna på Äspö. Testerna bestod av enhålstester, interferenstester och spårförsök, från vilka bergmassans och sprickzonernas hydrauliska egenskaper bestämdes.

Ön är relativt flack och merparten av arealen är belägen under 10 meter över havet. Ett fåtal högre partier når cirka 15 meter över havet. Smärre dalsänkor, som ofta börjar i havsvikar, genomkorsar ön. Den mest framträdande av dessa är en dalgång i nordost-sydvästlig riktning tvärs över den mittre delen av ön. Dalgången sammanfaller med en mylonitzon. Högsta grundvattennivå på Äspö är cirka +4 meter över havet. De naturliga fluktuationerna av grundvattenytan uppgår till mindre än en meter på årsbasis.

En rad hydrogeologiska studier har gjorts under tunneldrivningen, som pågått 1990–1995, samt i de olika projekt som pågått i tunneln från 1995–2006. Dessa data har inte medtagits i denna rapport.

Vad beträffar bergmassans hydrauliska konduktivitet uppgår medianvärdet för de översta 100 metrarna av berget till 1×10^{-8} m/s. Konduktiviteten i detta övre parti av berget tenderar att öka mot väster. Det geometriska medelvärdet för den uppmätta hydrauliska konduktiviteten mellan 100–500 meters djup varierar mellan cirka 10^{-9} och 10^{-10} m/s. På 600 meters djup har detta värde sjunkit till cirka 10^{-11} m/s. Vid cirka 675 meters djup har konduktivetsvärdet åter stigit till cirka 10^{-9} m/s för att därefter åter sjunka till cirka 5×10^{-11} m/s vid 800 meters djup.

Också den hydrauliska konduktivetsfördelningen i fem olika bergarter har undersökts. Utgående från hydrauliska mätningar med en sektionlängd på tre meter så erhöles följande konduktivetsintervall /B1-15/:

smålandsgranit:	cirka 4×10^{-12} – 6×10^{-9} m/s
finkornig granit:	cirka 6×10^{-12} – 6×10^{-9} m/s
diorit:	cirka 4×10^{-11} – 6×10^{-11} m/s
mylonit:	cirka 5×10^{-13} – 10^{-8} m/s
grönsten:	cirka 5×10^{-11} – 10^{-9} m/s

⁷ Salint vatten: 5 000–20 000 mg/L. Dessa vatten kan ha ett icke-marint (dominerar) eller marint ursprung och är av Na-Ca-Cl (± SO₄)-typ /B1-42/.

Även den hydrauliska transmissiviteten hos konduktiva sprickor som genomskär undersökningsborrhålen har undersökts. Medelvärde för transmissiviteten hos sprickor i smålandsgranit bestämdes till cirka $1,3 \times 10^{-6}$ m²/s.

Underlag för bedömning av de i avsnitt 6.2.2 uppsatta önskemålen presenteras nedan. Sammanställningen baseras på material från /B1-18, B1-19, B1-20/ och databasen Sicada.

Tabell B-8. Äspö. Hydraulisk konduktivitet i bergmassan och zoners transmissivitet i djupintervallet 400–700 meter (vertikalt djup under borrhålsmyningen) samt hydrauliska gradient på förvarsdjup.

Hydraulisk konduktivitet i bergmassan		
Antal hål som passerar det vertikala djupet 400 m	7	Enbart hål borrade från markytan har medtagits i redovisningen. Det fanns ytterligare ett hål som nådde nivån 400 m. Detta har dock ej medtagits då det ej omfattade någon 30-meterssektion under nivån 400 meter.
Totala antalet 30-meterssektioner	22	Beräknade 30 meterssektioner baseras på mätningar i tre-meterssektioner.
Antalet 30-meterssektioner där hydrauliska konduktiviteten är mindre än 10^{-8} m/s	15	Nedre mätgräns för tester i mätta och beräknade 30-meterssektioner varierade mellan 1×10^{-11} – 5×10^{-11} m/s.
Andelen sektioner (%) som har en hydraulisk konduktivitet som är mindre än 10^{-8} m/s	68	
Zoners transmissivitet		
Borrhålslängd i aktuellt djupintervall (m)	cirka 1 100	
Antal sprickzoner som skär hål i aktuellt djupintervall	5	
Antal sprickzoner som skär hål i aktuellt djupintervall och som har en transmissivitet större än 10^{-5} m ² /s	5	
Antalet sprickzoner($T > 10^{-5}$ m ² /s) per 100 m borrhål	cirka 0,5	
Hydraulisk gradient på förvarsdjup		
Skattat värde på maximal medelgradient på förvarsdjup	≤ 0,5 %	Skattad gradient för ytlig grundvattenyta är 0,9 %. Redovisad gradient i SR 97 är 0,05–0,2 %.

B.3.5 Transportegenskaper

Tabell B-9. Transportmotstånd och formationsfaktor för berggrunden vid Äspö.

Transportmotstånd (F-parametern)	95 % av antalet flödesvägar har ett transportmotstånd $F > 8 \times 10^2$ år/m 50 % av antalet flödesvägar har ett transportmotstånd $F > 10^5$ år/m	Värdena är hämtade från /B1-21/.
Formationsfaktor	Beräknade formationsfaktorer ligger mellan $2,4 \times 10^{-5}$ och $1,2 \times 10^{-4}$	Inga data finns ifrån tiden före schaktsänkning (förundersökningarna). När SR 97 genomfördes saknades således uppgifter om formationsfaktorn. De redovisade intervallet utgör 10 stycken mätningar gjorda år 2000. Mätningarna gjordes på diorit med en lösning och ett spårämne /B1-7/.

B.3.6 Bergets mekaniska och termiska egenskaper

Under förundersökningen gjordes laboratoriebestämningar av mekaniska egenskaper (enaxiell tryckhållfasthet, E-modul, tvärkontraktionstal) på kärnor från borrhål KAS02 /B1-22/. Bestämningarna omfattade bergarterna aplit, diorit, grönsten och smålandsgranit. Resultaten sammanfattas i tabell B-10. Överlag är medelvärden och spridningar normala för bergarterna ifråga.

Resultaten i tabellen kan sättas i relation till de parametrar som senare använts för äspödiorit i ett storskaligt bergmekaniskt experiment – Äspö Pillar Stability Experiment /B1-23/. Relativt omfattande provning har där gett ett medelvärde på 211 MPa. E-modulen och tvärkontraktionstalet bestämdes till 77 GPa respektive 0,25. De tidiga testerna ser således ut att ha underskattat tryckhållfastheten i diorit något. Detta kan bero på experimentella faktorer, bl a gjordes de tidiga testerna på kärnor med mindre diameter (42 mm) än vad som var fallet i samband med pelarförsöket (51 mm).

Under förundersökningen gjordes bergspänningsmätningar med metoden hydraulisk spräckning i borrhålen KAS02 och KAS03, medan överborrningsteknik användes för att bestämma spänningstensorn i KAS05 /B1-24/. I KAS02 och KAS03 bestämdes den största horisontella huvudspänningen på cirka 500 meters djup till intervallet 19–28 MPa och den minsta horisontella huvudspänningen till intervallet 11–16 MPa. Den vertikala huvudspänningen anges till 13 MPa vilket ungefärligen motsvarar vikten på ovanliggande berg. Riktningen på största huvudspänningen bestämdes i KAS02 till N144E och i KAS03 till N140E. Riktningarna är angivna med magnetisk norr som referens.

Resultaten från KAS02 och KAS03 stämmer rimligt väl överens med de mera omfattande spänningsbestämningar som senare gjorts på 450-metersnivån vid Äspölaboratoriet. Bergspänningsmätningar har där genomförts med tre olika metoder i två ortogonala borrhål /B1-25/. På samma djup har spänningstensorn även bestämts genom tillbakaberäkning av konvergensmätningar gjorda i samband med tunneldrivning /B1-23/. Den resulterande spänningstensorn redovisas i tabell B-11. Skillnaden i riktningar mellan den tillbakaberäknade huvudspänningen och de tidigare uppmätta är cirka 20 grader.

Tabell B-10. Resultat av enaxiell tryckprovning av kärnprover från KAS02 vid Äspö.

Bergart	Tryckhållfasthet (MPa)		E-modul (GPa)		Tvärkontraktionstal (–)	
	Medel	Intervall	Medel	Intervall	Medel	Intervall
Aplit	235,7	151,6–336,2	65,0	59,3–69,7	0,22	0,20–0,22
Diorit	183,5	164,5–216,9	59,8	53,6–65,2	0,23	0,20–0,25
Grönsten	118,8	72,9–167,7	52,4	31,7–74,2	0,25	0,24–0,26
Smålandsgranit	188,7	147,2–259,6	62,3	61,7–62,8	0,24	0,24

Tabell B-11. Huvudspänningar på 450 m nivå, utvärderad från konvergensmätningar i samband med tunneldrivning /B1-23/.

	σ_1	σ_2	σ_3
Magnitud (MPa)	30	15	10
Riktning relativt magnetisk norr	N118E	–	N028E
Stupning från horisontalplanet	0	90	0

Överbörningarna i KAS05 genomfördes på cirka 200 och 350 meters djup. Magnituderna stämmer rimligt väl överens med värden från mätningarna med hydraulisk spräckning. På 350 meters djup avviker dock den minsta horisontalspänningen och redovisas med ett värde nära 0 vilket inte är sannolikt. Riktningen för största huvudspänningen från överbörningen anges till nära N090E, vilket skiljer cirka 30 grader från den tillbakaberäknade riktningen på 450-metersnivån.

I samband med förundersökningen av Äspö beräknades bergets värmeledningsförmåga med ledning av tidigare utförda mineralogiska undersökningar. Vidare sammanställdes temperaturmätningar på olika djup, och geotermisk gradienten och värmeflödet beräknades /B1-26/. Inga experimentella bestämningar av värmeledningsförmågan utfördes dock i detta skede, varken i laboratorium eller i fält.

Den metod som användes för beräkning av värmeledningsförmågan från den mineralogiska sammansättningen är densamma som den som används idag vid platsundersökningarna /B1-27/. Resultaten visade att värmeledningsförmågan i vissa bergarter kunde vara relativt låg, till exempel i den variant av smålandsgraniten som lokalt benämns äspödiorit (medelvärde cirka 2,63 W/(m·K) och med en relativt stor spridning). Vid senare mätningar av värmeledningsförmågan i en av laboratoriets tunnlar (laboratorie- och fältmätningar) erhöles liknande resultat /B1-28/, om än något lägre. Temperaturloggningarna genomfördes som en del av det geofysiska programmet och temperaturen på 400 och 600 meters djup var cirka 13,1 resp cirka 16,1 °C, med en viss variation mellan olika borrhål.

B.3.7 Säkerhetsanalys

I SKI:s säkerhetsanalys SITE-94 användes berggrundsdata från ytbaserade undersökningar inför byggandet av Äspölaboratoriet. Resultaten i SITE-94 är jämförbara med motsvarande beräkningar i SKB:s säkerhetsanalyser.

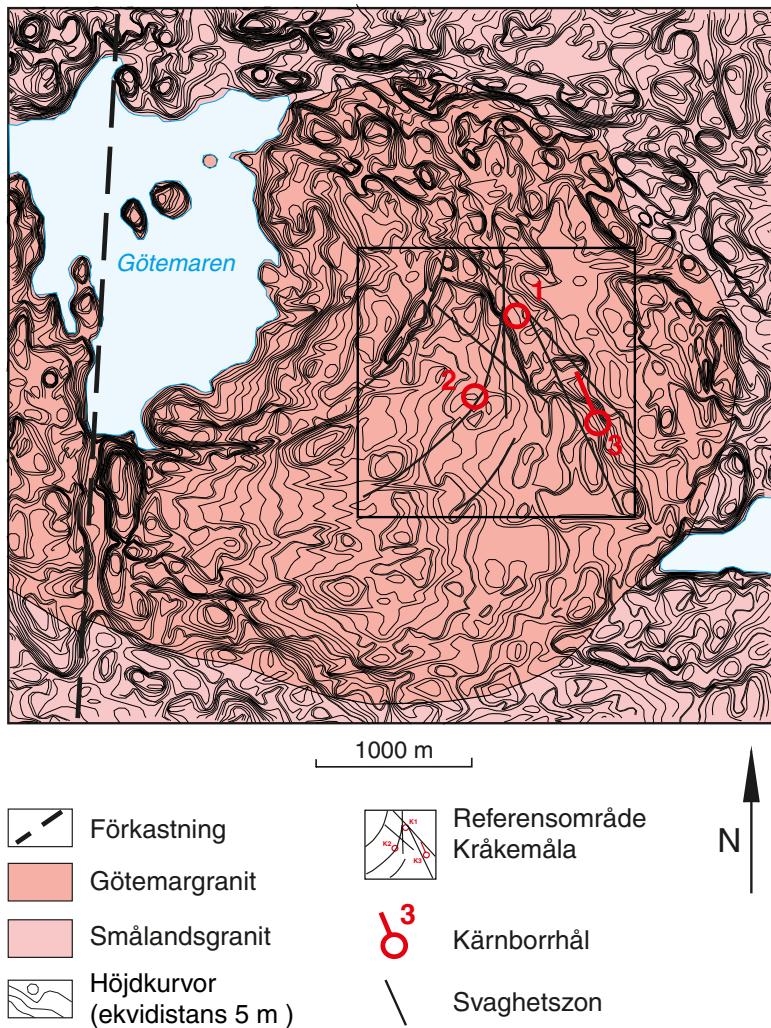
År 1999 redovisades säkerhetsanalysen SR 97 utifrån platsdata från tre platser i Sverige, däribland Äspö, som i studien kallas Aberg. Säkerhetsanalysens slutsats är: *ett säkert djupförvar för använt kärnbränsle enligt KBS-3-metoden kan byggas på en plats där förhållandena liknar dem vid såväl Aberg, Beberg som Ceberg*, se vidare avsnitt 5.4 i huvudrapporten.

B.4 Kråkemåla

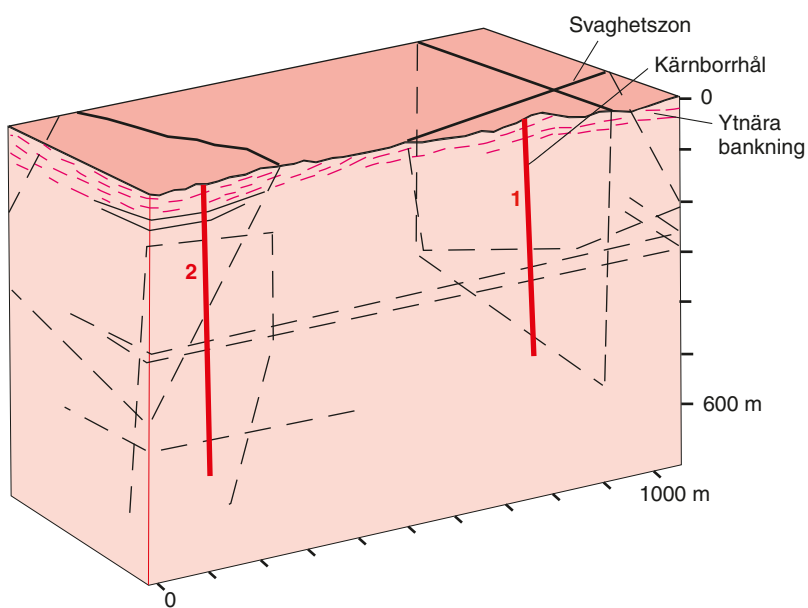
B.4.1 Allmänt

Kråkemåla ligger cirka 26 kilometer nordost om Oskarshamns tätort och cirka sju kilometer norr om Oskarshamnsverket, se figur B-4. Här utförde SKB under perioden 1976–1978 geovetenskapliga undersökningar omfattande ytgeologisk berggrundskartering, markgeofysiska mätningar med elektromagnetiska metoder, kärnbörning av tre borrhål, med längderna 506 meter (ansatt vertikalt), 605 meter (ansatt vertikalt) respektive 761 meter (ansatt 50° mot horisontalplanet, vertikaldjup cirka 538 m), kärnkartering, borrhålsgeofysisk loggning, TV-loggning, vatteninjektionstester samt grundvattenkemisk provtagning. Figur B-9 visar läget av kärnborrhål inom undersökningsområdet och figur B-10 ett blockdiagram.

Undersökningsområdet är skogbevuxet och relativt flackt. Landskapet är dock brutet av markerade sprickdalar med i huvudsak nord-sydliga och nordvästliga riktningar. Området stupar svagt österut från 20 meter över havet i väster till 15 meter över havet i öster. I undersökningsområdets västra del finns sjön Götemaren. I öster finns ett större stenbrott, Kråkemåla. Götemarenområdet är ett högriskområde med avseende på markradon.



Figur B-9. Berggrundsgeologisk karta Kråkemåla /efter B1-16a/. För att förbättra läsbarheten har götemar- och smålandsgraniten givits en ljusare färg än i figur B-4.



Figur B-10. Blockdiagram Kråkemåla /efter B1-16a/. Se även figur B-9. För att förbättra läsbarheten har götemar- och smålandsgraniten givits en ljusare färg än i figur B-4.

B.4.2 Geologi

Bergarter

Kråkemålaområdets berggrund består av Göttemargranit och med den samhöriga smala gångar av aplit och pegmatit. Den grovkorniga Göttemargraniten är helt dominerande vid ytan och i de tre borrhålen. Bergarten består i huvudsak av röda fältspatkorn i en grundmassa av fältspat, kvarts och underordnade partier av glimmer. Fältspatkornen är cirka två cm stora och jämnt fördelade i grundmassan. Fältspatkornen utgör mellan 60 och 75 % av bergarten. Kvartsen uppträder i talrika, oftast runda korn. Accessoriska mineral är magnetit, zirkon, apatit och monazit. Radioaktiva element är ofta bundna till dessa mineral. Göttemargraniten innehåller fyra gånger så höga halter radioaktiva element, uran och torium, som genomsnittet för graniter i Sverige.

Här och var förekommer linsformade ansamlingar med upp till två decimeters storlek av pyrit tillsammans med väl utkristalliserad kvarts. Vidare förekommer hålrum av upp till cm-storlek. På insidorna är hålrummen täckta av kvartskristaller eller kristaller av andra mineral. Berget kan ha nedsatt hållfasthet inom vissa partier på grund av dessa hålrum.

De vanligaste sprickmineralen är klorit, kalcit och flusspat. Mindre frekvent förekommer pyrit och blyglans. Även lermineralen illit, kaolinit och smektit har identifierats.

Jordarter

Hällblottningsgraden i Kråkemålaområdet är hög. Jordtäcket är tunt och fyller ut lågpartierna mellan hällarna. Enda förekommande jordarter är normalblockig morän och torv.

Malmpotential

Den intrusion av yngre granit som finns i Göttemarområdet liknar till sammansättning och bildningshistoria andra graniter i landet som är kända för höga halter av mineral som bland annat innehåller metallerna tenn och volfram. Några fynd av dessa metaller finns dock inte rapporterade från området. Göttemargraniten uppvisar också anmärkningsvärt höga halter av uran och torium. Detta föranleder inget prospekteringsintresse, men är ändå viktigt att notera eftersom förekomsten av radon i berganläggningar sammanhänger med det omgivande bergets innehåll av uran /B1-29, B1-30/. Dessutom har Göttemargraniten alltsedan 1800-talet betraktats som brytvärd för tillverkning av prydnadssten.

Deformationszoner och berggrundens stabilitet

I Kråkemålaområdet har berggrunden undersökts med avseende på sprickor och sprickzoner med hjälp av flygbildstolkning, analys av flyggeofysiska kartor, ytgeologisk kartering, tre kärnborrhål samt med markgeofysiska mätningar. De senare utfördes med elektromagnetiska metoder inom ett cirka 2 km² stort område. Två av kärnborrhålen ligger inom det uppmätta området, det tredje cirka 150 meter utanför områdets östra gräns.

Med hjälp av dessa undersökningar kunde 13 st lokala sprickzoner indentifieras inom Kråkemålaområdet. Nio av zonerna skär markytan och har en stupning som varierar mellan 45° och 90°. Fyra är horisontella. Borrhålsundersökningarna visar att sprickzonerna har en medelbredd av cirka 18 meter.

Genom sjön Göttemaren, 2–3 kilometer väster om undersökningsområdet, löper i nord-sydlig riktning en regional sprickzon, vilken kan följas topografiskt cirka 25 kilometer (se även ovan).

Beträffande Göttemargranitens sprickighet förekommer en tydlig bankning, det vill säga uppsprickning efter flata ytor som ungefärligen följer berggrundens topografi samt lokalt regelbundna system av nära lodräta sprickor.

Sprickfrekvensen i Kråkemålaområdet undersöktes längs sju profiler i ost-västlig riktning över området. Härav framgår att medelsprickavståndet är 1–5 meter i den del av området där de tre kärnborrhålen är belägna. Berggrunden består där av grovkornig granit. Denna gränsar

i väster mot en medelkornig granitvariant med högre sprickfrekvens. Medelsprickavståndet är här 0,5–1 meter. I den nordvästra delen av området finns ett litet inslag av finkornig granit. Medelsprickavståndet är här < 0,5 meter.

Beträffande djupundersökningarna uppvisar borrhälskärnan KKR01 den lägsta sprickfrekvensen. Bergmassan mellan de fåtaliga sprickzonerna uppvisar genomgående mycket låg sprickfrekvens. Borrhål KKR02 uppvisar betydligt högre uppsprickning. Detta beror på att borrhningen utfördes i närheten av och genom en subvertikal sprickzon, som har en diffus övergång mot bergmassan.

Det tredje borrhålet, KKR03, kan sägas ge den mest representativa bilden av sprickfördelningen i Götemarkgraniten. Sprickigheten mellan sprickzonerna visar en jämn fördelning och förekommande avsnitt med mycket sprickfattig till sprickfri kärna är cirka fem meter långa. Under 515 meters borrhåldjup (360 m vertikaldjup) sker en påtaglig kvalitetsförbättring av borrhälskärnan med minskad sprickfrekvens.

B.4.3 Hydrogeokemi

Hydrogeokemiska undersökningar har genomförts i fyra sektioner i kärnborrhål KKR01. Endast den djupaste sektionen (406–408,7 m) är relevant för den här utvärderingen. Provtagning och analysdata finns redovisat i /B1-31/. Den provtagna sektionen innehåller lågsalint vatten (Cl = 280 mg/L). Bikarbonathalten är relativt hög (215 mg/L HCO₃) och sulfathalten låg (38 mg/L SO₄). Tritiumvärdet ligger under detektionsgränsen (< 3 TU) och ¹⁴C analysen visar 40–50 % modernt kol (pmC). δ¹⁸O värdet är –10,7 ‰ vilket i stort sett sammanfaller med dagens meteoriska vatten. Vattnet kan därför klassificeras som ett meteoriskt vatten med en uppehållstid i berget som överstiger 50 år. Eh-mätningar saknas men Fe(tot) mätningar visar på ett järninnehåll av 3 mg/L, vilket är en stark indikation på att reducerande förhållanden råder.

Tabell B-12. Grundvattenkemi från borrhålet KKR01: 406–408,7 meter i Kråkemåla.

Borrhål	Djup (m)	Na (mg/L)	HCO ₃ (mg/L)	Cl (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	Tr (TU)	δ ¹⁸ O ‰ SMOW	pH	Eh (mV)	TDS (mg/L)	Ca+Mg (mg/L)	TOC (mg/L)	S ₂ (mg/L)
KKR01	407,35	250	215	280	38	<3	–10,7	8,2	–	812	37	2,5	–

B.4.4 Hydrogeologi

Området är relativt flackt. Det stupar från 20 meter över havet i väster till 15 meter över havet i öster. Landskapet är dock brutet av markerade sprickdalar med i huvudsak nord-sydliga och nordvästliga riktningar. Vatteninjektionstester gjordes i de tre kärnborrhålen, KKR01, KKR02 respektive KKR03. I de flesta mätsektionerna, 73 %, är den hydrauliska konduktiviteten lika med eller mindre än mätgränserna.

Kråkemålaområdet indelades i olika enheter med avseende på hydrauliska egenskaper. De tre enheterna är: regionala sprickzoner, lokala sprickzoner och bergmassa. Någon regional zon har dock ej genomborrats, varför de hydrauliska egenskaperna hos denna enhet ej kunnat bestämmas. Med hjälp av regressionsberäkningar har påvisats att bergmassans hydrauliska konduktivitet i Kråkemålaområdet på 500 meters djup är cirka 4×10⁻⁹ m/s. Motsvarande värden för lokala sprickzoner är cirka 2×10⁻⁷ m/s. Dessa värden är relativt höga jämfört med motsvarande för till exempel undersökningsområdet vid Fjällveden i Nyköpings kommun. Skillnaderna kan till stor del förklaras av att man vid mätningarna i Kråkemåla, som utfördes redan i slutet av 1970-talet, använde en äldre typ av utrustning med relativt hög nedre mätgräns.

Underlag för bedömning av de i avsnitt 6.2.2 uppsatta önskemålen presenteras nedan. Sammanställningen baseras på material från rapporterna /B1-3, B1-16a/ och databasen Sicada.

Tabell B-13. Kråkemåla. Hydraulisk konduktivitet i bergmassan och zoners transmissivitet i djupintervallet 400–700 meter (vertikalt djup under borrhålsmyningen) samt hydrauliska gradient på försvarsdjup.

Hydraulisk konduktivitet i bergmassan		
Antal hål som passerar det vertikala djupet 400 m	3	
Totala antalet 25-meterssektioner	11	
Antalet 25-meterssektioner där hydrauliska konduktiviteten är mindre än 10^{-8} m/s	8	Beräknade värden i 25-meterssektioner baseras på mätningar i kortare sektionlängder.
Andelen sektioner (%) som har en hydraulisk konduktivitet som är mindre än 10^{-8} m/s	73	Nedre mätgräns för beräknade 25-meterssektioner varierade mellan 4×10^{-10} och $2,4 \times 10^{-9}$ m/s.
Zoners transmissivitet		
Borrhålslängd i aktuellt djupintervall (m)	cirka 300	
Antal sprickzoner som skär hål i aktuellt djupintervall	0	
Antal sprickzoner som skär hål i aktuellt djupintervall och som har en transmissivitet större än 10^{-5} m ² /s	0	
Antalet sprickzoner($T > 10^{-5}$ m ² /s) per 100 m borrhål	0	
Hydraulisk gradient på försvarsdjup		
Skattat värde på maximal medelgradient på försvarsdjup	≤ 0,5 %	Skattad gradient för ytlig grundvattenyta är cirka 0,3 %.

B.4.5 Transportegenskaper

Tabell B-14. Transportmotstånd och formationsfaktor för berggrunden vid Kråkemåla.

Transportmotstånd (F-parametern)	Uppgifter saknas
Formationsfaktor	Uppgifter saknas

B.4.6 Bergets mekaniska och termiska egenskaper

Det dryga tiotal bestämningar av mekaniska standardparametrar (E-modul, enaxiell tryckhållfasthet, draghållfasthet) som gjordes på kärnprover från två borrhål i Kråkemåla visade på värden som är normala för graniter /B1-8/. Information om bergspänningar saknas. Erfarenhetsmässigt kan man förvänta sig relativt höga spänningar i denna typ av sprickfattiga granitkroppar. Temperaturmätningar gjordes som en del av den geofysiska borrhålsloggningen. Medeltemperaturen på 500 meters djup bestämdes till 14,4 °C /B1-9/. Inga data finns om bergets termiska egenskaper.

B.4.7 Säkerhetsanalys

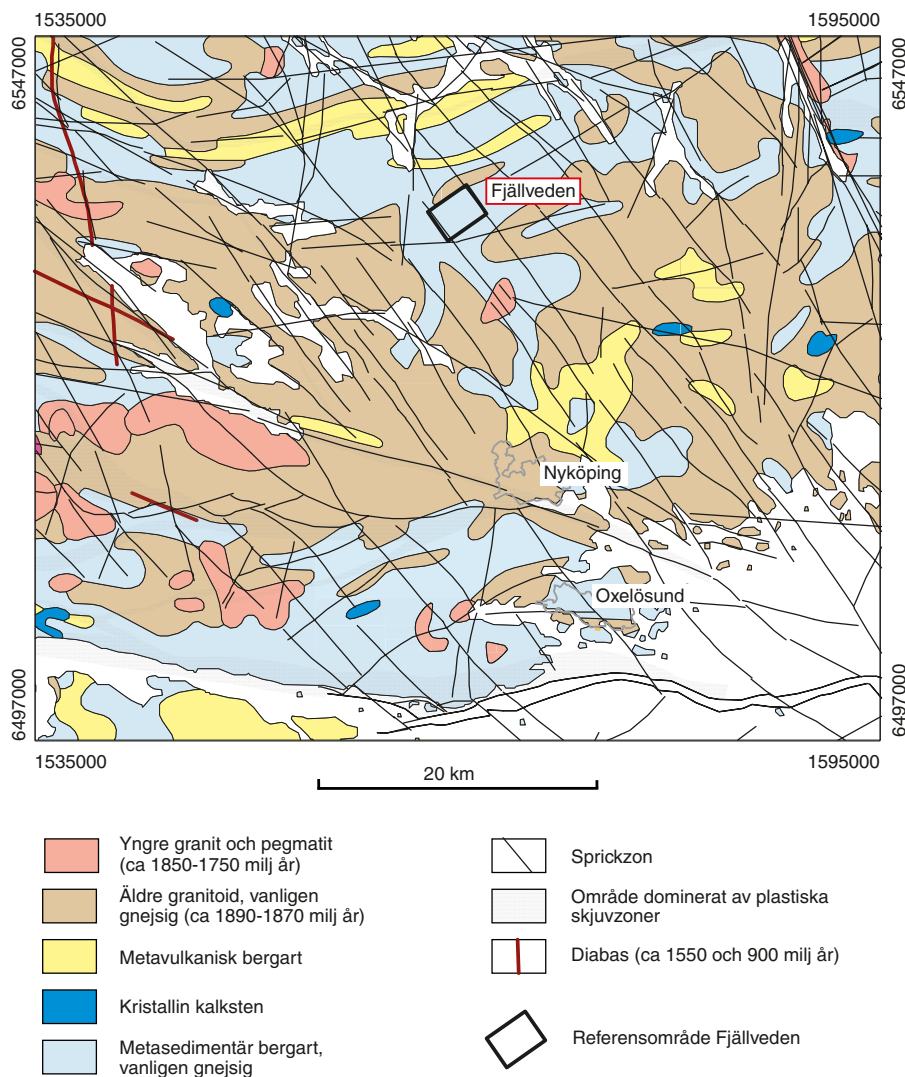
Varken säkerhetsanalys eller säkerhetsbedömning har genomförts för Kråkemåla.

B.5 Fjällveden

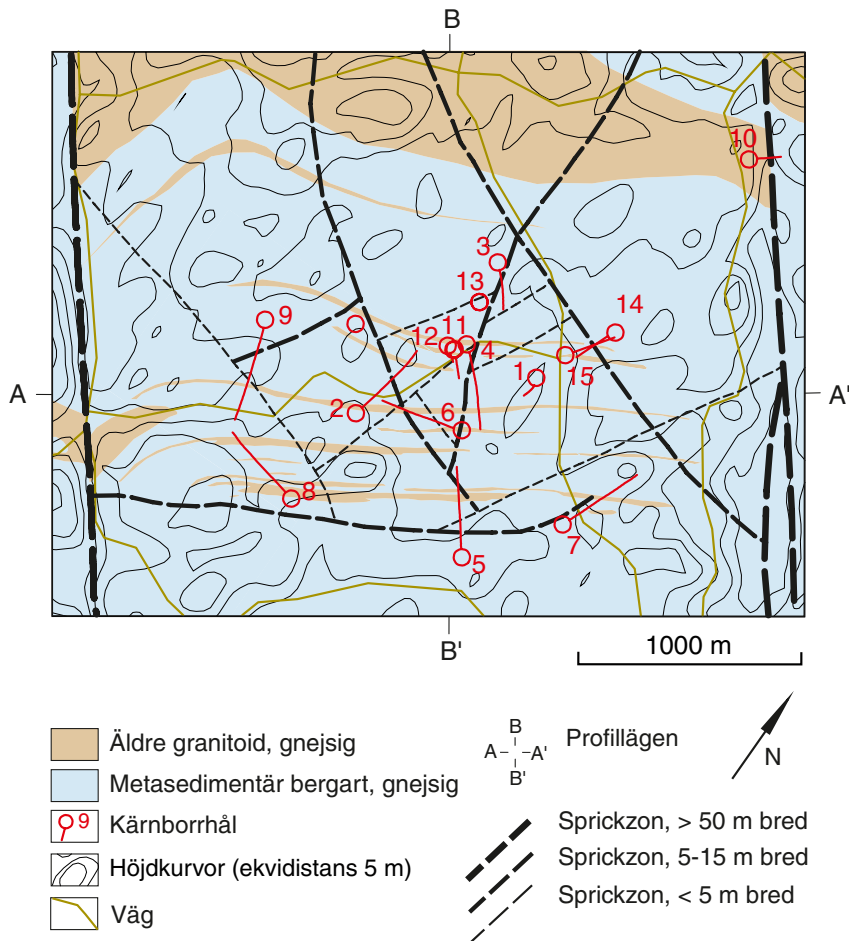
B.5.1 Allmänt

Undersökningsområdet vid Fjällveden har en yta av cirka 10 km² (2,7×3,7 km) och ligger cirka 20 kilometer nord-nordväst om Nyköping, se figur B-11. Regionen karaktäriseras av skogsterräng med flack topografi med smärre sprickdalar, de flesta med nordvästlig riktning. Höjdskillnaderna inom undersökningsområdet är små. Områdets högsta punkt ligger 76 meter över havet. Den mest brutna topografin återfinns i områdets östra respektive västra delar. Jordarterna domineras av morän med små torvmarker.

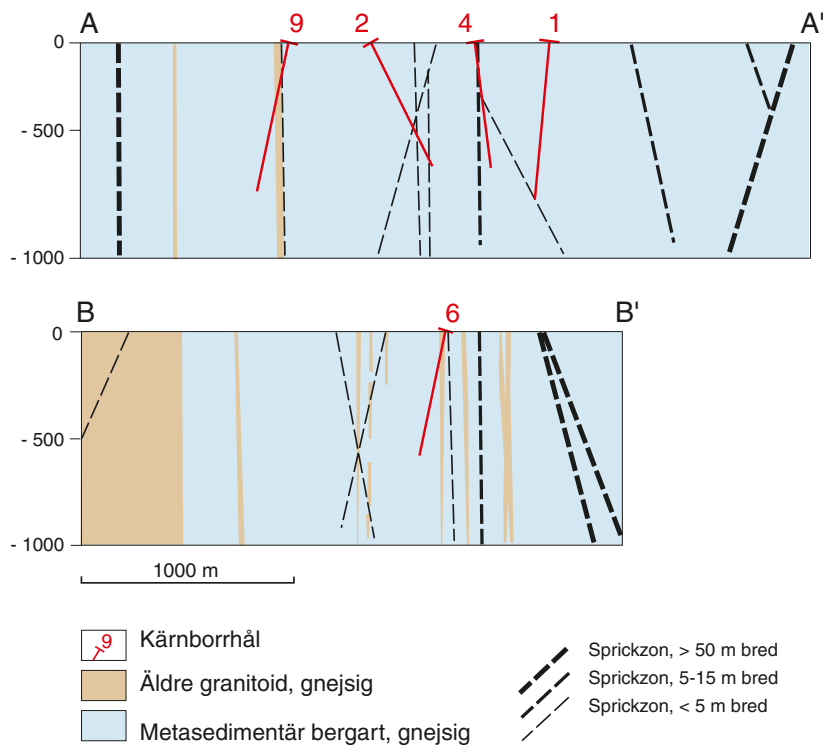
SKB bedrev geovetenskapliga undersökningar i Fjällvedenområdet under perioden 1981–1983. I samband med undersökningarna borrades 15 st kärnborrhål med en sammanlagd borrhålslängd av 7 591 meter (det djupaste når 695 m under markytan), och 49 st hammarborrhål (det djupaste når 147 m under markytan). Figur B-12 visar läget av kärnborrhålen och figur B-13 tvärprofiler.



Figur B-11. Förenklad berggrundsgelogisk karta baserad på nationalatlasens berggrundskarta i skala 1:1 250 000. Sveriges geologiska undersökning.



Figur B-12. Berggrundsgeologisk karta Fjällveden /efter B1-32/. Kartans avgänsning motsvarar referensområdet (undersökningsområdet). Obs norrpilens riktning!



Figur B-13. Berggrundsgeologiska tvärprofiler Fjällveden /efter B1-32/. Profilernas läge framgår av figur B-12.

B.5.2 Geologi

Bergarter

Fjällvedenområdet domineras av ådergnejs (dvs metasediment) med varierande migmatitiseringsgrad. Cirka 75 % av ytarealen och 93 % av de bergarter som påträffats i borrhålen utgörs av denna bergart. Lokal uppsmältning har resulterat i bildningen av oregelbundna granitkroppar. Omvandlad granit återfinns framför allt i den nordligaste delen av undersökningsområdet.

Ådergnejsen är vanligtvis fin- eller medelkornig. Ådringen består av 0,1–0,2 meter breda band av kvarts och fältspat. Ådringen är parallell med berggrundens foliation som har nordostlig huvudriktning och stupar vertikalt. Ådergnejsen innehåller mindre linser (decimeter- till metertjocka) av amfibolit.

Gnejsgraniten dominerar undersökningsområdets nordligaste del. Här uppträder gnejsgraniten som tunna (0,2–14 m tjocka) subvertikalt utsträckta lager eller linser. Gnejsgraniten är ofta belägen i zoner som genomgått mylonitisk och kataklastisk deformation.

Områdets yngsta bergart är 1 500 miljoner år gamla diabasgångar, vilka har nordvästlig riktning. Diabasgångarna har en bredd på 0,4–4 meter. De är vanligast i områdets norra del.

Jordarter

Bergblottningsgraden inom Fjällvedenområdet är relativt hög, cirka 30 %, i områdets södra del. I den norra delen är hållstorleken och -frekvensen lägre. Sänkorna mellan hållarna upptas av morän, ofta täckt av glacial- och/eller postglacial lera. Lerlagren kan ibland ha en betydande mäktighet, över nio meter har konstaterats. Lerorna, speciellt de postglaciala, är salina, vilket medför att de är elektriskt ledande. Mindre torvmarker förekommer frekvent över hela undersökningsområdet.

Malmpotential

Berggrunden i Fjällvedenområdet och dess närhet är ej malmpotentiell.

Deformationszoner och berggrundens stabilitet

Fjällvedenområdet karaktäriseras av att sprickzonerna uppvisar ett regelbundet mönster och klipper i allmänhet över förskiffring och äldre strukturer.

Tolkningen av sprickzoner i berggrundens övre delar grundades huvudsakligen på lineamentsanalys med efterföljande hammarborring. Markgeofysiska mätningar med elektriska metoder var svåra att tillämpa på grund av att lerlagren var elektriskt ledande. I viss utsträckning användes refraktionsseismiska undersökningar.

Totalt identifierades 11 st sprickzoner i undersökningsområdets centrala del. Dessa zoner har i huvudsak riktningarna nordväst och nord-nordost. Bredden varierar mellan cirka 0,2 och 14 meter. Berget är i allmänhet starkt leromvandlat inom zonerna. Detta är troligen orsaken till den låga vattengenomsläpplighet som konstaterats för många av zonerna.

Undersökningsområdet avgränsas i öster och väster av mycket framträdande regionala lineament med nordvästlig riktning. Ett borrhål genom det östra lineamentet visade att berggrunden inom lineamentet var höggradigt uppsprucken och omvandlad. Zonens bredd uppskattades till cirka 90 meter och stupningen uppgår till 75°W.

B.5.3 Hydrogeokemi

Från Fjällveden finns hydrogeokemiska analyser från fyra borrhål och sammanlagt nio sektioner. Beskrivning av provtagning och analysresultat finns i /B1-33/, redoxförhållandena behandlas i /B1-34/ och platsundersökningen från Fjällveden som helhet är redovisad i /B1-32/. Nio av de provtagna sektionerna representerar 400 till 700 meters djup (jämför tabell B-15). En utvärdering av störningar i samband med borrhållning och provtagning /B1-35/ visar att de flesta sektionerna är kontaminerade av ytvatten. Det är endast den djupaste sektionen i borrhål KFJ02 (606 m) som innehåller en komponent av glacialvatten ($\delta^{18}\text{O} = -14,11\%$) och en liten komponent salint vatten. Dessvärre är inte heller detta prov helt ostört. Men trots den omfattande störningen antas grundvattnet i huvudsak vara reducerande (negativt Eh har uppmätts i KFJ02 och KFJ08).

Tabell B-15. Grundvattenkemi från borrhålen KFJ02, KFJ04, KFJ07 och KFJ08 i Fjällveden.

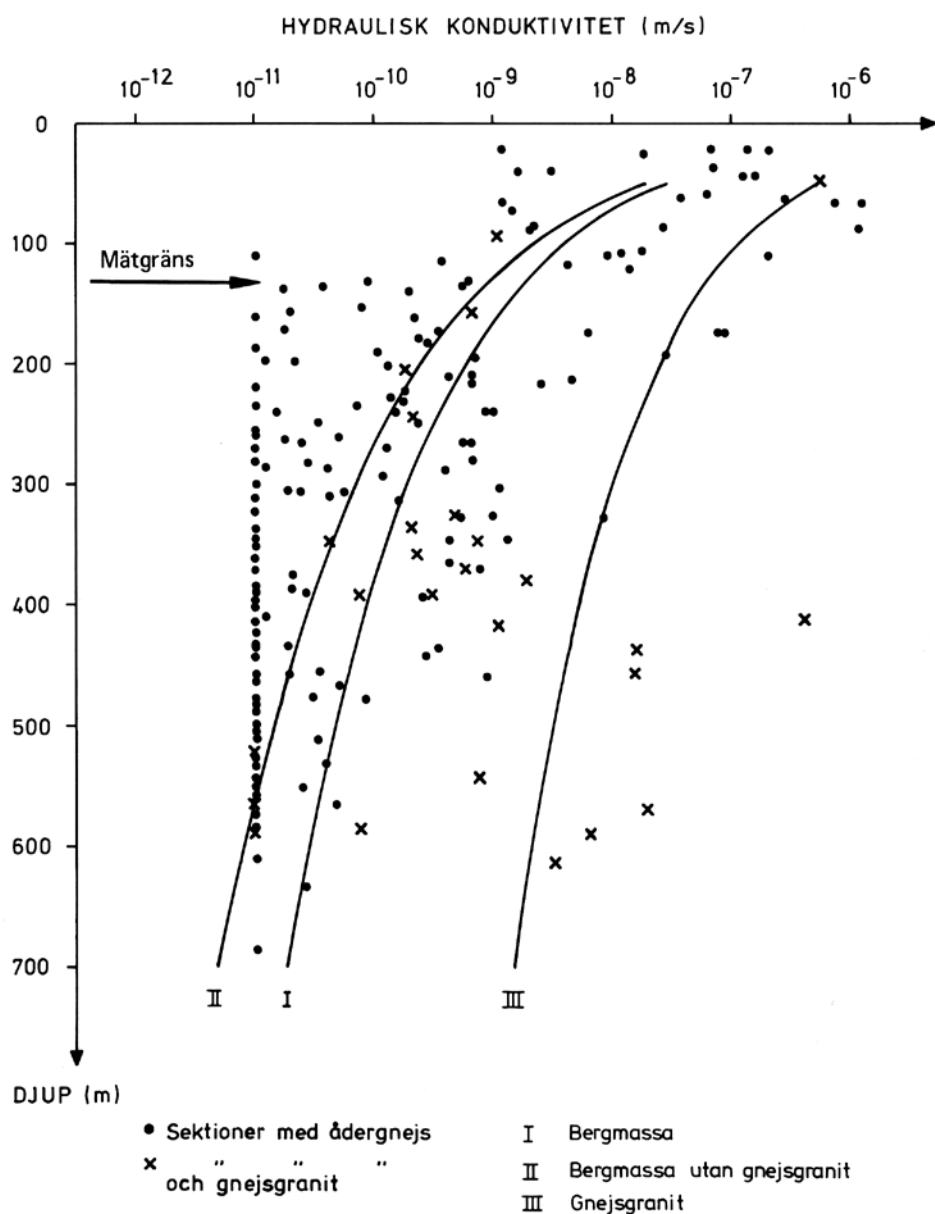
Borrhål	Djup (m)	Na (mg/L)	HCO ₃ (mg/L)	Cl (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	Tr (TU)	$\delta^{18}\text{O}$ ‰ SMOW	pH	Eh (mV)	TDS (mg/L)	Ca+Mg (mg/L)	TOC (mg/L)	S ₂ (mg/L)
KFJ02	469,35	31	176	4,3	0,1	–	–	7,2	–275	252	44	41,00	0,21
KFJ02	484,35	33	170	8	0,2	3	–11,35	7,4	–	239	24	6,00	0,02
KFJ02	606,35	130	83	170	0,2	<3	–14,11	8,8	–	396	13	4,00	0,01
KFJ04	411,35	54	195	5	3,6	12	–11,45	8,3	–	276	19	6,00	0,04
KFJ04	497,35	62	198	8	3,9	6	–11,69	8,4	–	287	16	8,00	0,13
KFJ07	433,35	48	160	3	–0,5	<3	–11,33	8,7	–	223	13	12,00	0,02
KFJ07	543,35	46	150	3	–0,5	–	–	9,2	–	209	12	22,00	0,02
KFJ08	471,35	13	130	4	6,5	8	–11,22	8	–	181	30	3,00	0,01
KFJ08	667,3	14	130	4	5	10	–10,9	8,9	–140	183	30	3,00	–

B.5.4 Hydrogeologi

Fjällvedenområdet utgör totalt sett ett inströmningsområde. Den maximala grundvattenbildningen har beräknats till cirka 200 mm per år. Det ytliga grundvattenflödet i den västra delen av undersökningsområdet dräneras av Nyköpingsån, medan grundvattnet i områdets östra del dräneras av Svärtaån. Undersökningsområdet kan indelas i tre lokala dräneringsområden. Lågt liggande partier av Fjällvedenområdet utgör lokala utströmningsområden för ytligt grundvatten. Dessa områden sammanfaller i allmänhet med myrmarker.

Grundvattenytans topografi är flack inom Fjällvedenområdet och varierar mellan cirka 40 och 65 meter över havet. Det ytliga grundvattenflödet är i huvudsak riktat mot nordost och sydväst mot de avgränsande regionala sprickzonerna. I områdets sydligaste del är dock det ytliga grundvattenflödet riktat mot söder.

I /B1-36/ och /B1-32/ redovisas berggrundens hydrauliska konduktivitet uppdelat på bergmassan respektive lokala och regionala sprickzoner. Bergmassan uppdelades i sin tur i sedimentgnejs respektive gnejsgranit, se figur B-14.



Figur B-14. Sambandet mellan hydraulisk konduktivitet och djup för bergmassan i Fjällveden /B1-10, figur 18-7/.

Bergmassans hydrauliska konduktivitet i sedimentgnejsen har med hjälp av regressionsberäkningar skattats till cirka 10^{-11} m/s på 500 meters djup och för gnejsgraniten blir motsvarande skattning mer än 10^{-9} m/s.

Antalet mätningar av hydraulisk konduktivitet i sprickzoner är relativt få, men med ett par undantag är den uppmätta hydrauliska konduktiviteten låg, i nivå med nivån i sedimentgnejsens bergmassa.

Underlag för bedömning av de i avsnitt 6.2.2 uppsatta önskemålen presenteras nedan. Sammanställningen baseras på material från /B1-32, B1-37/ och databasen Sicada.

Tabell B-16. Fjällveden. Hydraulisk konduktivitet i bergmassan och zoners transmissivitet i djupintervallet 400–700 meter (vertikalt djup under borrhålsmyningen) samt hydrauliska gradient på förvarsdjup.

Hydraulisk konduktivitet i bergmassan		
Antal hål som passerar det vertikala djupet 400 m	8	
Totala antalet 25-meterssektioner	53	
Antalet 25-meterssektioner där den hydrauliska konduktiviteten är mindre än 10^{-8} m/s	49	Nedre mätgräns för tester i 25-meterssektioner var 5×10^{-12} m/s och 1×10^{-11} m/s. ¹
Andelen sektioner (%) som har en hydraulisk konduktivitet som är mindre än 10^{-8} m/s	96	
Zoners transmissivitet		
Borrhålslängd i aktuellt djupintervall (m)	cirka 1 600	
Antal sprickzoner som skär hål i aktuellt djupintervall	6	
Antal sprickzoner i aktuellt djupintervall och som har en transmissivitet större än 10^{-5} m ² /s	0	Bestämning av transmissiviteter har gjorts utgående från zonernas mäktigheter och hydrauliska konduktiviteter.
Antalet sprickzoner ($T > 10^{-5}$ m ² /s) per 100 m borrhål	0	
Hydraulisk gradient på förvarsdjup		
Skattat värde på maximal medelgradient på förvarsdjup	≤ 0,6 %	Skattad gradient för yttlig grundvattenyta är 1,2 %.

¹ Det kan finnas flera orsaker till att det ibland blev olika mätgränser mellan hål i samma område: mätningarna gjordes med två olika utrustningar (multivagn och rörgångssystem); kalibreringskonstanter hade förändrats från mätstart till avslutningen av mätningarna; ett mindre läckage (några droppar/min) uppstod vid mätningar i den nedre delen av hålet och den ansvarige bedömde att kostnaderna var för stora för lyft och kontroll av utrustningen.

B.5.5 Transportegenskaper

Tabell B-17. Transportmotstånd och formationsfaktor för berggrunden vid Fjällveden.

Transportmotstånd (F-parametern)	Uppgifter saknas	
Formationsfaktor	Beräknade formationsfaktorer ligger mellan $1,9 \times 10^{-6}$ och $4,6 \times 10^{-5}$	Det redovisade intervallet omfattar 6 st mätningar. Mätningarna gjordes på gnejs och biotitgnejs med olika typer av lösningar och spårämnen /B1-7/.

B.5.6 Bergets mekaniska och termiska egenskaper

Inga bestämningar av mekaniska egenskaper eller bergspänningsmätningar har gjorts i Fjällveden. Temperaturmätningar gjordes i ett antal borrhål. Medeltemperaturen på 500 meters djup bestämdes till 13,2 °C /B1-9/. Termiska egenskaper (konduktivitet, diffusivitet, kapacitivitet) bestämdes på 15 prover från ett borrhål /B1-32/. Värdena bedömdes normala med hänsyn till bergartssammansättningen och spridningar kunde förklaras med motsvarande litologiska variationer. Medelvärdet för den termiska konduktiviteten var 3,78 W/(m·K).

B.5.7 Säkerhetsanalys

En säkerhetsbedömning för Fjällveden gjordes 1983 inom ramen för KBS-3-utredningen. I denna anges att Fjällveden sannolikt är ett exempel på ett område där *berggrunden är sådan att den väl lämpar sig för anläggning av ett säkert slutförvar*. Utredningen uttryckte sig inte lika klart positivt om Fjällveden som man gjorde om Kamlunge och Gideå. Orsaken var de vertikala stråk i berget med förhöjd vattengenomsläpplighet som observerats vid Fjällveden. Vilken inverkan de vertikala stråken kan ha kunde inte helt överblickas; en slutlig bedömning av områdets lämplighet ansågs inte möjlig utan kompletterande undersökningar.

Bland annat mot bakgrund av KBS-3-projektets säkerhetsbedömning ansåg SKB i /B1-38/ att området ur geologisk synpunkt var intressant för platsundersökningar. Framförallt med hänsyn till att områdets storlek ger en flexibilitet när det gäller placeringen av slutförvaret. Men efter att ha beaktat även andra aspekter föreslog SKB enbart ytterligare utredningar och en förnyad säkerhetsanalys med den moderna metodik som användes i SR 97. Provbörningar ställdes på framtiden och bedömdes bli aktuella enbart om de tre föreslagna platserna för platsundersökningar inte motsvarade förväntningarna.

B.6 Finnsjön

B.6.1 Allmänt

Undersökningsområdet vid Finnsjön har en yta av cirka 25 km² och ligger cirka 15 kilometer sydväst om Forsmarks kärnkraftverk, se figur B-15. Området utgör ett komplett avrinningsområde och avgränsas således av en vattendelare. Större delen av det aktuella undersökningsområdet karaktäriseras av flack skogsterräng. På den västra sidan avgränsas området av sjön Finnsjön.

Merparten av de geovetenskapliga undersökningar som bedrivits i Finnsjöområdet med omfattande borrningar etc har koncentrerats till två delområden inom Finnsjöområdet, som benämns Brändanområdet respektive Gåvastboområdet. Dessa båda ligger intill varandra och har tillsammans en yta av cirka 5 km². De västra delarna av Finnsjöområdet är något mer höglänt än de östra. De högsta partierna, i områdets södra del, når cirka 40 meter över havet.

I Finnsjöområdet har omfattande geovetenskapliga undersökningar pågått från 1977, med kortare och längre avbrott, till 2001 /B1-39a, B1-39b/. Totalt har 11 kärnborrhål med en total borrhållängd av 6 015 meter (det djupaste når 691 m under markytan) och 20 hammarborrhål (det djupaste når cirka 450 m under markytan) borrats inom området, förutom ett stort antal andra typer av grunda (jord-)borrhål eller borrhål borrade i jord och ner i berggrundens ytligaste del. Läget av kärnborrhålen framgår av figur B-16. Figur B-17 visar tvärprofiler genom området.

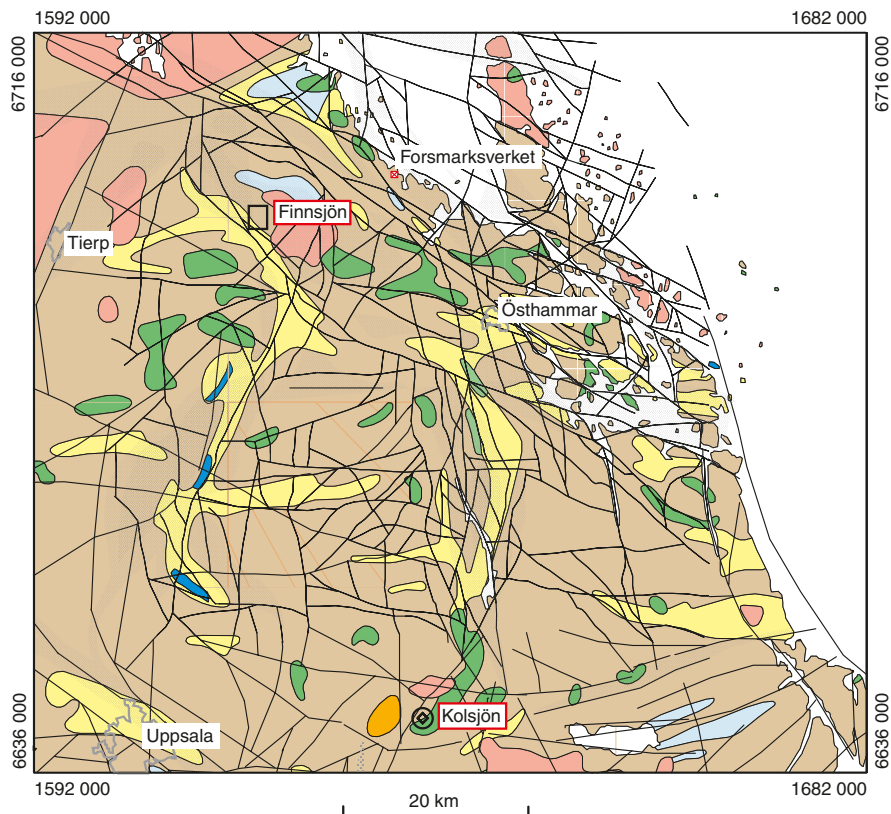
B.6.2 Geologi








Bergarter

Gåvastbo-/Brändanområdet är beläget inom ett cirka 12 km² stort bergsparti bestående av förgnejsad (folierad) granodiorit. Granodioritens djupgående är ej känt. Dock vet man att djupet överstiger 700 meter, vilket är det största vertikala borrhål i området. Gångar av pegmatit, metabasit och aplit genomkorsar bergvolymen. Förgnejsningens orienteringsriktning varierar mellan nordväst och nordost. Granodioriten är ofta lokalt påverkad av mylonitisering och hydrotermala processer, vilket har medfört rödfärgning i anslutning till många smärre skjuvzoner. Granodioriten begränsas i öster av yngre granit och mot nordost av en äldre, lagrad gabbro. Mot söder och väster gränsar granodioriten mot gamla metavulkaniska bergarter (leptiter).

Jordarter

Om hela det 25 km² stora Finnsjöområdet beaktas, upptar berg i dagen stora arealer i områdets västra del. Mellan berghällarna finns grunda moränfyllda svackor, ofta täckta av ett ytlager torv.



- | | | | |
|---|--------------------------------------|---|--|
|  | Alkalina bergarter |  | Sprickzon |
|  | Yngre graniter |  | Område dominerat av plastiska skjuvzoner |
|  | Äldre granitoider |  | Referensområde Finnsjön |
|  | Grönsten (diorit, gabbro, metabasit) |  | Undersökningsområde Kolsjön |
|  | Metavulkaniska bergarter | | |
|  | Kristallin karbonatsten | | |
|  | Metasedimentära bergarter | | |

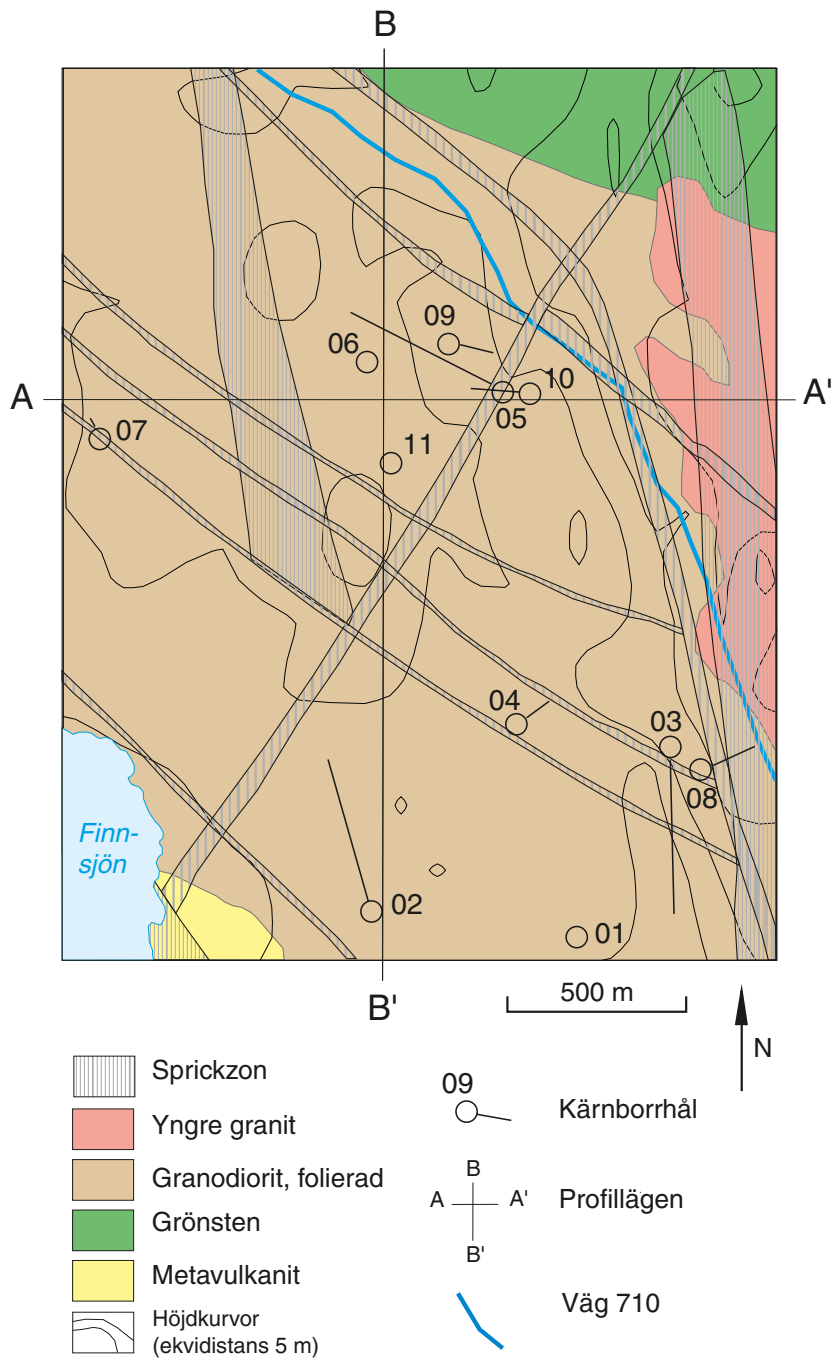
Figur B-15. Förenklad berggrundsgeologisk karta baserad på nationalatlasens berggrundskarta i skala 1:1 250 000. Sveriges geologiska undersökning.

Morän och torv utgör dominerande jordarter. Moränen är i allmänhet tunn, sandig-moig och normalblockig. I områdets östra delar upptar kärrtorv och mosstorv stora arealer. Underordnat förekommer smala stråk av glacial och postglacial lera samt svallsediment.

Gåvastbo-/Brändanområdet karaktäriseras av stora ytor berg i dagen, smärre mellanliggande dalgångar med morän i botten och torv i ytan. En smal lerfylld dalgång genomskär områdets östra del i ungefär nord-sydlig riktning.

Malmpotential

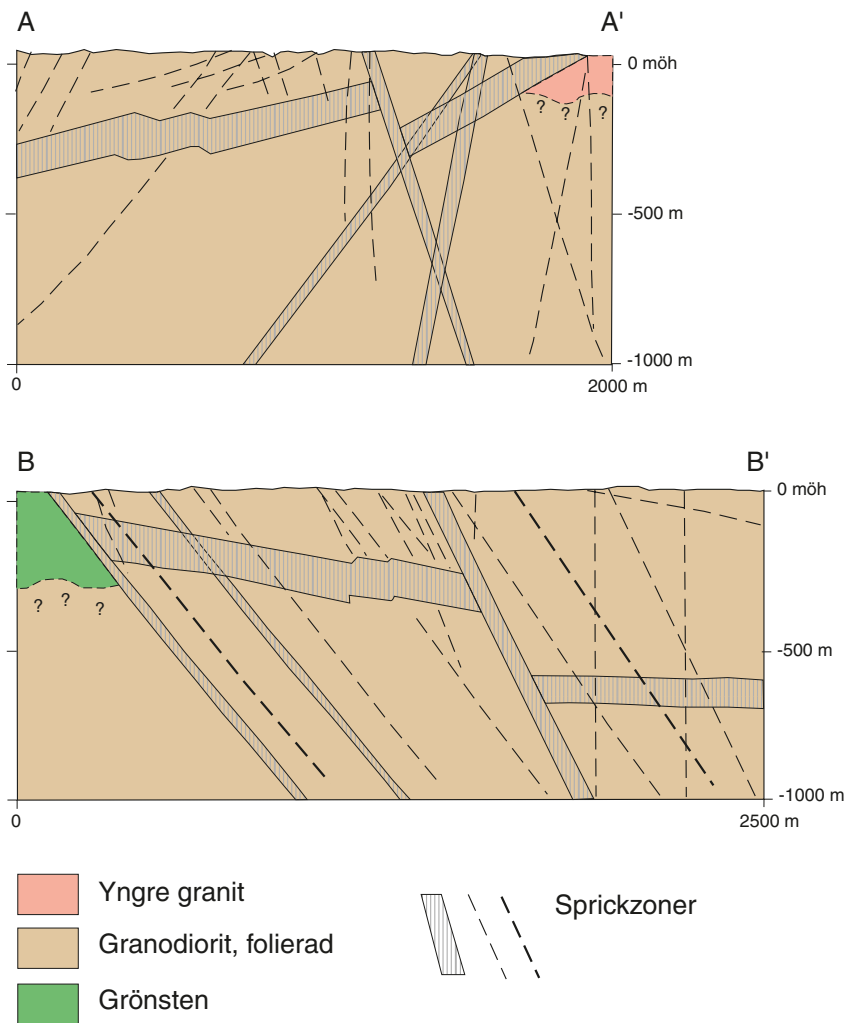
Granodioriten vid Gåvastbo-/Brändanområdena är ej malmförande. Den vulkanitiska ytberggrund (även benämnd leptitisk berggrund) som avgränsar granodioriten söder och även mot nordväst är dock malmpotentiell. I denna berggrund förekommer ett flertal järnmalmsmineraliseringar. Här kan nämnas till exempel Bredås gruvor vid Finnsjöns sydöstra spets samt fyndigheterna vid Gåalarmora och Skålbo cirka fyra kilometer öster om Finnsjön. I dag finns dock inga gruvor i drift i dessa trakter.



Figur B-16. Berggrundsgelogisk karta Finn-sjön /efter B1-39c/. Kartans avgränsning motsvarar referensområdet (undersökningsområdet).

Deformationszoner och berggrundens stabilitet

Finn-sjöområdet är beläget i en cirka 50 km² stor tektonisk lins som omgärdas av regionala skjuvzoner. Den bergplint inom vilken större delen av Gåvastbo/Brändanområdena är belägna har benämnts "Finn-sjöblocket". Detta avgränsas av regionala och semiregionala sprickzoner. Storleken på detta block uppgår till cirka 6 km². En nordöst-sydvästlig sprickzon delar detta block i två mindre block.



Figur B-17. Berggrundsgeologiska tvärprofiler Finnsjön /efter B1-39c/. Profilernas läge framgår av figur B-15.

Finnsjöblocket genomkorsas av totalt 14 s k lokala sprickzoner. Samtliga har korrelerats med lineament. Dock har endast åtta av sprickzonerna kunnat identifieras i borrhålsdata. Elva av de 14 sprickzonerna stupar brant (60–90°) mot horisontalplanet), medan övriga är flacka (15–35°). I samband med ett speciellt projekt, det s k Sprickzonsprojektet, som utfördes inom Brändanområdet, insamlades en stor mängd data om speciellt två av de 14 sprickzonerna. Dessa benämns Zon 1 respektive Zon 2. Den förra är den zon som uppdelar Finnsjöblocket i två delar. Zon 2 är en flackt stupande zon (cirka 20°) som påträffas i borrhål i hela Brändanområdet. Dessa två zoner tycks ha ett starkt inflytande på de hydrauliska och hydrokemiska förhållandena inom Brändanområdet.

Genomsnittligt sett utgör sprickfrekvensen såsom den kan studeras på berghällar 2,9 sprickor per meter. I områdets norra del är dock sprickfrekvensen lägre, cirka 1,5 sprickor per meter. Sprickfrekvensen i borrhållarna (utanför krossade partier) är av samma storleksordning, cirka 3 sprickor per meter. De flesta sprickorna är läkta.

B.6.3 Hydrogeokemi

Från Finnsjön finns hydrogeokemiska analyser från sammanlagt 35 sektioner fördelat på nio borrhål. Beskrivning av provtagning och analysresultat finns i /B1-31, B1-39c/ samt /B1-40/. Platsundersökningen från Finnsjön är sammanfattad i /B1-41/ samt /B1-39c/. Av de nio sektioner som representerar 400 till 700 meters djup (jämför tabell B-18) så visar fyra sektioner lågsalint vatten medan fem sektioner har bräckt⁸ till salint vatten med Cl halter i intervallet 4 600 till 5 650 mg/L. I tre av sektionerna med lågsalint vatten har tritiumhalter uppmätts på mellan 8–14 TU vilket antyder att ytliga vatten har kommit ned till 400–500 meters nivå i berget, sannolikt som ett resultat av störning vid borrning eller provtagning. Två sektioner, KFI05 (386,5 m) och KFI06 (400,5 m), visar salint vatten utan mätbart tritium (< 3 TU). $\delta^{18}\text{O}$ är endast mätt i ett av dessa prov och värdet $-12,2\text{‰}$ visar att vattnet kan vara en blandning av Littorina-havsvatten och glacialt smältvatten alternativt gammalt salint vatten av okänt ursprung blandat med en glacial komponent och/eller tritiumfritt meteoriskt vatten. Endast ett Eh-värde finns redovisat och det är lågt (-400 mV), vilket indikerar reducerande förhållanden. Höga Fe(tot) har uppmätts i de ytvatten-kontaminerade proverna och inga Fe^{2+} mätningar finns att tillgå. Från de djupare tritium-fria salina vattnen finns också begränsad Eh information. BFI01 är ett hammarborrhål som borrades i experimentsyfte för att underlätta just den hydrogeokemiska provtagningen. Grundvatten från detta borrhål ger sannolikt en bra grundvatten-sammansättning men redoxmätningarna spolerades på grund av syresättning i samband med borrningen.

Tabell B-18. Grundvattenkemi från borrhålen KFI02, KFI04, KFI05, KFI06, KFI07 KFI08, KFI09 och BFI01 i Finnsjön.

Borrhål	Djup (m)	Na (mg/L)	HCO ₃ (mg/L)	Cl (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	Tr (TU)	$\delta^{18}\text{O}$ ‰ SMOW	pH	Eh (mV)	TDS (mg/L)	Ca+Mg (mg/L)	TOC (mg/L)	S ₂ (mg/L)
KFI02	379,00	96	320	32	2,4	–	–	7,7	–	488	34	9,80	–
KFI04	370,50	165	395	72	29	14	$-10,9$	7,8	–	693	26	7,80	–
KFI04	536,50	170	393	75	19	10	$-11,4$	7,7	–	687	26	7,80	–
KFI05	386,50	1 500	44	5 650	324	<3	$-12,2$	7,4	–	9 311	1 890	1,00	–
KFI06	400,50	1 140	9	5 650	270	<3	–	7,1	–	8 959	1 914	–	–
KFI07	513,50	275	278	555	49	8	$-11,9$	8,1	–	1 306	159	5,70	–
KFI08	397,50	903	21	4 600	130	–	–	8,4	–	7 434	1 784	–	–
KFI09	362,50	1 600	34	5 100	320	<3	$-11,91$	7,5	-400	8 054	1 057	0,90	0,01
BFI01	449,05	1 700	47	5 500	370	<3	$-11,81$	6,6	–	9 267	1 760	18,00	0,00

B.6.4 Hydrogeologi

Inom typområde Finnsjön varierar grundvattennivåerna mellan cirka 22 och 33 meter över havet. Det ytliga grundvattenflödet är här riktat från höjdområdena i områdets centrala del i alla riktningar ut mot randområdena. Huvudriktningen är dock mot nordost. I låglänta partier inom området finns lokala utströmningsområden. Grundvattenrörelserna är på grund av områdets flackhet mycket långsamma i hela Finnsjöområdet.

I Finnsjöområdet har hydrogeologiska undersökningar pågått, med kortare eller längre avbrott, från 1977 till 2001. Mätningar har utförts i totalt 11 kärnborrhål, 20 hammarborrhål och flera jordborrör.

⁸ Bräckt vatten: 1 000–5 000 mg/L Cl. Dessa vatten kan ha ett marint eller icke-marint ursprung och är vanligen av Na-Ca-Cl-(HCO₃)-(SO₄)-typ /B1-42/.

Bergmassans hydrauliska konduktivitet är betydligt högre i Finnsjöområdet än i andra av SKB undersökta områden. Den hydrauliska konduktiviteten på 500–600 meters djup har beräknats till cirka 10^{-9} m/s med hjälp av regressionsanalys, vilket är mycket högre än motsvarande värde för Fjällveden, Gideå, Svartboberget och Kamlunga.

Data på hydraulisk konduktivitet hos sprickzonerna är relativt få, men indikerar även i detta fall en förhöjning i förhållande till andra områden. För vertikala till subvertikala sprickzoner uppgår den hydrauliska konduktiviteten på 500–600 meters djup till cirka $1-3 \times 10^{-7}$ m/s och för subhorisontella zoner till $1 \times 10^{-7}-5 \times 10^{-6}$ m/s.

Underlag för bedömning av de i avsnitt 6.2.2 uppsatta önskemålen presenteras nedan. Sammanställningen baseras på material från /B1-39c, B1-43, B1-44, B1-37/ och databasen Sicada.

Tabell B-19. Finnsjön. Hydraulisk konduktivitet i bergmassan och zoners transmissivitet i djupintervallet 400–700 meter (vertikalt djup under borrhålsmyningen) samt hydrauliska gradient på försvarsdjup.

Hydraulisk konduktivitet i bergmassan		
Antal hål som passerar det vertikala djupet 400 m	7	
Totala antalet 20- och 21-meterssektioner	54	De framräknade hydrauliska konduktiviteterna för 20- och 21-meterssektioner, baseras på mätningar med sektionlängderna 2 meter och 3 meter.
Antalet 20- och 21-meterssektioner där den hydrauliska konduktiviteten är mindre än 10^{-8} m/s	39	Nedre mätgräns för beräknade 20- och 21-meterssektioner varierade mellan 1×10^{-10} och 3×10^{-9} m/s.
Andelen sektioner (%) som har en hydraulisk konduktivitet som är mindre än 10^{-8} m/s	cirka 72	
Zoners transmissivitet		
Borrhålslängd i aktuellt djupintervall (m)	cirka 1 200 m	
Antal sprickzoner som skär hål i avsnittet 400–700 m	4	
Antal sprickzoner som skär hål i avsnittet 400–700 m och som har en transmissivitet större än 10^{-5} m ² /s	1	
Antalet sprickzoner($T > 10^{-5}$ m ² /s) per 100 m borrhål	cirka 0,1	
Hydraulisk gradient på försvarsdjup		
Skattat värde på maximal medelgradient på försvarsdjup	$\leq 0,5$ %	Skattad gradient för ytlig grundvattenyta är 0,9 %. Redovisad gradient i SR 97 är 0,5–0,6 %.

B.6.5 Transportegenskaper

Tabell B-20. Transportmotstånd och formationsfaktor för berggrunden vid Finnsjön.

Transportmotstånd (F-parametern)	95 % av antalet flödesvägar har ett transportmotstånd $F > 3 \times 10^3$ år/m 50 % av antalet flödesvägar har ett transportmotstånd $F > 6 \times 10^5$ år/m	Värdena är hämtade från /B1-21/.
Formationsfaktor	Beräknade formationsfaktorer ligger mellan $5,0 \times 10^{-6}$ och $2,8 \times 10^{-4}$	Det redovisade intervallet omfattar 36 mätningar gjorda på granit med olika typer av lösningar och spårämnen /B1-7/.

B.6.6 Bergets mekaniska och termiska egenskaper

Bergspänningsmätningar med hydraulisk spräckning har gjorts ner till som mest cirka 500 meters djup i ett borrhål /B1-39c/. Både belopp och riktningar befanns överensstämma väl med genomsnittliga trender för kristallin berggrund i Sverige. Den metodrelaterade osäkerheten är dock betydande för vissa spänningskomponenter.

Mekaniska standardparametrar (E-modul, enaxiell tryckhållfasthet, draghållfasthet) har bestämts för drygt 10 prover från ett kärnborrhål i Finnsjön /B1-8/. Hållfasthetsvärdena stämde väl med vad som kunde förväntas, medan E-modulerna var överraskande höga (medelvärde 82 GPa), vilket motsvarar hög styvhet hos bergarten. Tillsammans med data från den geologiska dokumentationen av kärna och borrhål användes parameterbestämningarna för empiriska skattningar av bergmassans mekaniska egenskaper i större skala /B1-45/.

Temperaturmätningar gjordes i tre av borrhålen i Finnsjön. Medeltemperaturen på 500 meters djup bestämdes till 11,6 °C /B1-9/. Ingen information finns om bergets termiska egenskaper.

B.6.7 Säkerhetsanalys

Data från Finnsjön har använts i två säkerhetsanalyser och en säkerhetsbedömning under 1980- och 1990-talen. Utifrån den kunskap och de data som fanns att tillgå vid KBS-3-utredningen kunde man inte helt säkerställa att Finnsjön var ett säkert alternativ för ett slutförvar. Vid Finnsjön hade man registrerat relativt sett högre grundvattenflöden än vid till exempel Gideå, Kamlunge, Fjällveden och Sternö. Den säkerhetsbedömning som gjordes inom KBS-3-utredningen kom dock fram till att även områden liknande Finnsjön, torde kunna accepteras ur säkerhetssynpunkt.

I säkerhetsanalysen SKB 91 användes Finnsjöområdet åter som exempelplats. Det fanns sedan tidigare ett omfattande dataunderlag från området, vilket var en huvudanledning till valet att använda data om topografi, geologi och övriga platsspecifika karaktäristika från just detta område. Slutsatsen i SKB 91 är att *ett förvar anlagt djupt ner i svenskt urberg och med långtidsstabila tekniska barriärer med god marginal uppfyller av myndigheterna uppfyllda säkerhetskrav*, eller som det uttrycks i /B1-46/: *SKB 91 har visat att man även i Finnsjöområdet kan anlägga ett säkert slutförvar.*

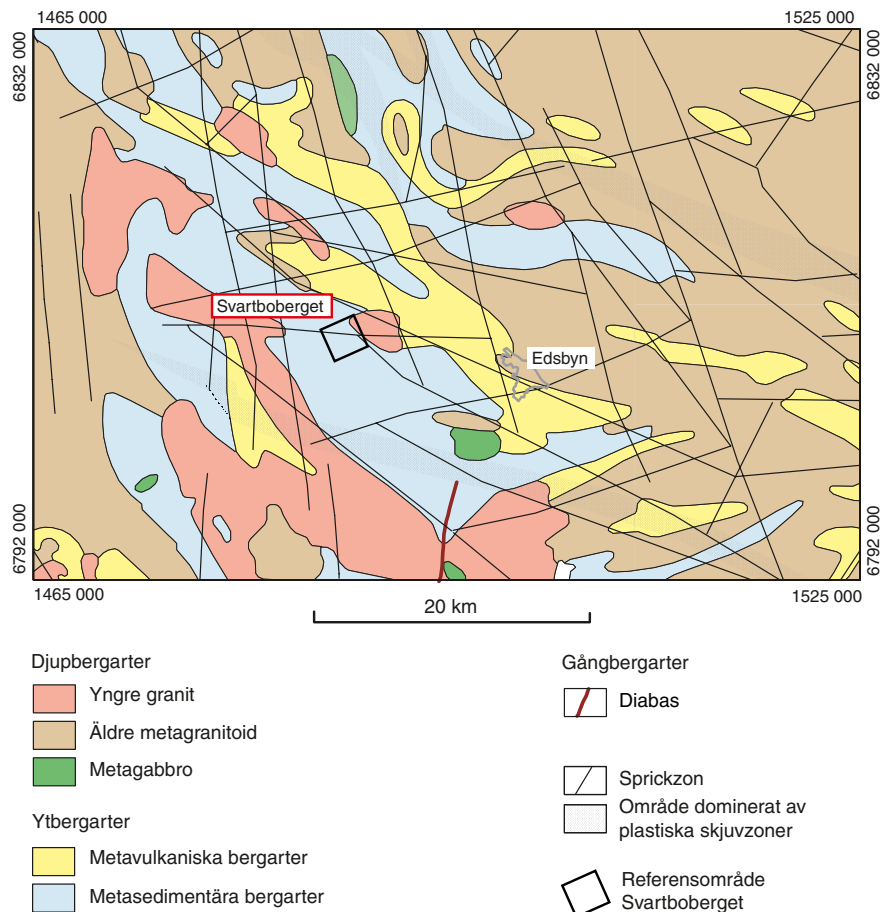
År 1999 redovisades säkerhetsanalysen SR 97 utifrån platsdata från tre platser i Sverige, däribland Finnsjön, som i studien kallas Beberg. Säkerhetsanalysens slutsats är att ”ett säkert djupförvar för använt kärnbränsle enligt KBS-3-metoden kan byggas på en plats där förhållandena liknar dem vid såväl Aberg, Beberg som Ceberg”, där Beberg alltså motsvarar Finnsjön, se vidare avsnitt 5.4 i huvudrapporten.

B.7 Svartboberget

B.7.1 Allmänt

Det aktuella typområdet Svartboberget ligger fem kilometer nordost om tätorten Voxna, se figur B-18. Typområdet Svartboberget utgörs av en avlång skogsbeklädd bergshöjd, cirka 5 kilometer lång och 2,5 kilometer bred. Höjdskillnaden mellan Svartbobergets högsta delar och omgivande dalgångar i nordost och sydväst är 85 respektive 75 meter. Svartbobergets högsta partier når cirka 305 meter över havet. Vid Kringeltjärn finns ett år 1996 öppnat dagbrott för brytning av grafit.

I typområdet Svartboberget bedrev SKB studier under perioden 1979–82 som omfattade mark- och borrhålsundersökningar. Sammanlagt borrades sju stycken kärnborrhål med längder mellan 397–801 meter (sammanlagd borrhålslängd 4 237 m) samt 17 st hammarborrhål med längder mellan 22–150 meter. Läget av kärnborrhålen framgår av figur B-19. Figur B-20 visar ett blockdiagram.



Figur B-18. Förenklad berggrundsgeologisk karta baserad på nationalatlasens berggrundskarta i skala 1:1 250 000. Sveriges geologiska undersökning.

Markundersökningarna omfattade berggrundsgeologisk kartering, markgeofysiska mätningar, lineamentstolkning från topografiska kartor och flygbilder samt sammanställning av hydro-meteorologiska data. Borrhålsundersökningarna innefattade kärnkartering, geofysiska undersökningar samt hydrauliska tester.

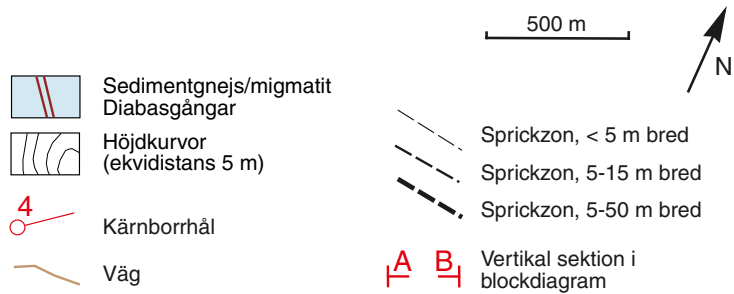
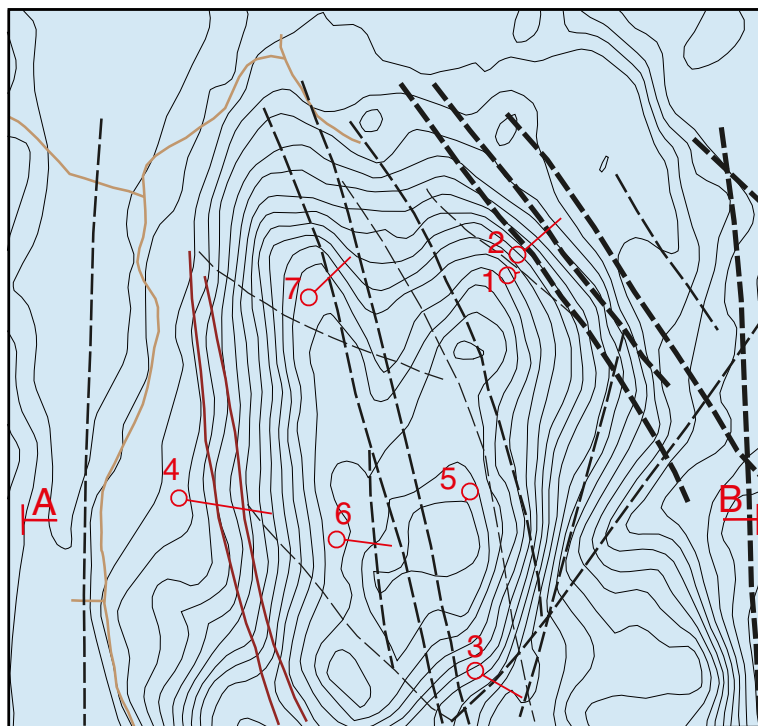
B.7.2 Geologi

Bergarter

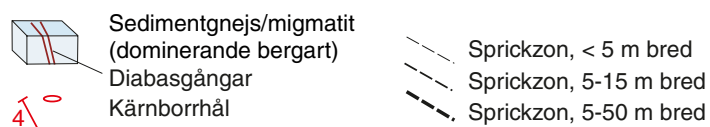
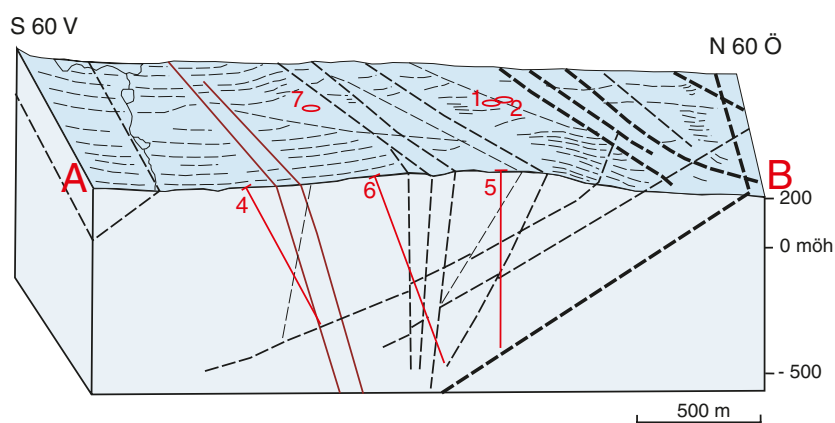
Typområdets berggrund domineras av en migmatitiserad gnejs av sedimentärt ursprung (95 % av arealen). Mäktigheten på denna uppgår till mer än 800 meter, vilket konstaterats genom borrhning. I ett av de östligast belägna kärnborrhålen påträffades mellan 365–505 meters djup flera lager grafitisk migmatit med 9–13 viktprocent kol. Lagren stupar flackt mot sydväst. Migmatiten innehåller även en grå migmatitgranit som uppträder i små, oregelbundna medeltill grovkorniga kroppar.

Grönstenar utgör 2–3 % av berggrunden vid Svartboberget. Grönstenarna uppträder i lager och som linser parallella med migmatitens foliationsriktning. I genomsnitt är tjockleken på dessa lager mindre än en meter, men i något fall har ett 15 meter mäktigt lager påträffats.

I Svartbobergets västra del indikerar markgeofysiska mätningar närvaron av två brant stupande, uthålliga diabasgångar orienterade i nord-nordvästlig riktning. Gångarna har undersökts genom borrhning och befunnits vara mindre än en meter mäktiga.



Figur B-19. Berggrundsgeologisk karta Svartboberget /efter B1-47/. Kartans avgänsning motsvarar referensområdet (undersökningsområdet). Obs norrpilens riktning!



Figur B-20. Blockdiagram Svartboberget /efter B1-47/. Läget framgår av figur B-19.

Jordarter

Trots att bergblottningsgraden på Svartboberget är låg, har de kvartära avlagringarna liten mäktighet på Svartboberget. Dominerande jordart är normalblockig sandig-moig morän. Stor- och rikblockiga partier förekommer också. Speciellt i de västra och östra delarna av området finns torvmarker i nordväst-sydostliga stråk.

Malmpotential

I typområdet finns den tidigare nämnda grafitmineraliseringen, som påträffats i ett av kärnborrhålen. Grafitinnehållet uppgår till cirka 13 viktprocent. De grafitiska lagren innehåller hög andel järnsulfid och en del kopparsulfid (kopparinnehållet mindre än 0,08 viktprocent koppar).

Deformationszoner och berggrundens stabilitet

Typområdet Svartboberget är beläget mellan två dalgångar med nord-nordvästlig riktning vilka utgör regionala sprickzoner. Den västra regionala zonen undersöktes med åtta markgeofysiska profiler och fem hammarborrhål. Bredden hos dessa zoner varierar mellan 10 meter till mer än 250 meter. Zonerna stupar 30–40° grader mot sydväst och de kan spåras topografiskt 10–15 kilometer. I de regionala zonerna växlar sektioner, ibland upp till 30 meter breda, med mycket uppsprucket eller krossat berg med 10–125 meter breda sektioner med normalsprucket berg. Både öster och väster om typområdet finns parallella regionala zoner på ett avstånd av tre till fem kilometer från varandra. Söderut klipps samtliga zoner i Voxnans dalgång.

De två förstnämnda regionala sprickzonerna avgränsar en bergplint med cirka fem km² areal, vilken utgör det aktuella typområdet. Inom typområdet finns lokala sprickzoner med ett inbördes avstånd av mellan 100–500 meter. På grund av topografin och det tunna jordtäcket framträder de flesta zonerna tydligt på topografiska kartan. Sammanlagt identifierades 17 lokala sprickzoner med varierande stupningar. Sju av de lokala sprickzonerna har en nordlig till nord-nordvästlig strykning, åtta stryker i nordväst, medan två har nordostlig strykning. De flesta zonerna har brant stupning, men speciellt de östra zonerna stupar flackt in under typområdet. Sprickzonerna skär därför varandra på olika djup i berggrunden. Borrhålsundersökningarna visade att sprickzonerna har en genomsnittlig bredd av 16 meter. De flesta sprickzonerna innehåller en eller flera decimetertjocka sektioner av krossat berg.

Bergmassans sprickighet (dvs sprickfrekvensen mellan sprickzoner) undersöktes på såväl hållar som i borrhävar. Sprickfrekvensen på berghällarna uppgår till 1,0 sprickor per meter (för sprickor längre än 0,5 m). Dominerande sprickriktningar är nord respektive nordost.

I Svartbobergsområdet varierar sprickfrekvensen i bergmassan obetydligt med djupet under markytan och uppgår genomsnittligt till 2,6 sprickor per meter. Sprickfrekvensen är dock lägre i områdets västra del, 1,6 sprickor per meter, än i dess östra, 2,7 sprickor per meter.

Svartboberget är beläget i en region med förhöjd seismisk aktivitet.

B.7.3 Hydrogeokemi

Från Svartboberget finns hydrogeokemiska analyser från två borrhål med fyra provtagna sektioner i varje. Beskrivning av provtagning och analysresultat finns i /B1-48/, grundvattenförhållandena är utvärderade i /B1-35/ och redoxförhållandena behandlas i /B1-34/. Fem av de provtagna sektionerna representerar 400 till 700 meters djup (jämför tabell B-21). Alla vatten är lågsalina och av dessa har enbart sektionen KSV04 (377 m) bedömts som representativ baserat på vattenbudget samt lågt tritiuminnehåll. Trots att det valts som representativt så är differensen mellan pH-värdet mätt med Chemmac på markytan cirka två enheter lägre än det som mättes på lab, vilket kan ha förändrat den kemiska sammansättningen i provet avsevärt. Detta belyser svårigheten att ta vattenprover av hög kvalitet i inströmningsområden, med vertikala zoner och stor vattenomsättning (jämför Klipperås och Fjällveden). Allt tyder ändå på att vattnen är reducerande på förvarsdjup.

Tabell B-21. Grundvattenkemi från borrhålen KSV04 och KSV05 i Svartboberget.

Borrhål	Djup (m)	Na (mg/L)	HCO ₃ (mg/L)	Cl (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	Tr (TU)	δ ¹⁸ O ‰ SMOW	pH	Eh (mV)	TDS (mg/L)	Ca+Mg (mg/L)	TOC (mg/L)	S ₂ (mg/L)
KSV04	377,35	40	127	9	0,8	<3	-13,2	9	-	190	15	-	0,03
KSV04	431,35	35	130	8	1,2	<3	-13	8,7	-	191	19	-	-
KSV04	631,35	35	126	7	0,8	<3	-13,1	8,7	-	186	19	-	-
KSV04	358,35	3	28	7	4,7	36	-12,6	6,1	-	51	10	-	-
KSV05	616,35	3	50	7	4,8	37	-12,1	6,5	-	73	9	-	-

B.7.4 Hydrogeologi

Svartboberget tillhör älven Voxnans avrinningsområde. Svartbobergets topografi indikerar att merparten av området utgör ett inströmningsområde för grundvatten. De smärre låglandsarealerna i den östra och västra delen av typområdet utgör dock utströmningsområden, även för djupare berggrundvatten. Svartboberget med de närmaste omgivningarna kan uppdelas i tre lokala avrinningsområden. Grundvatteflödet från Svartboberget är riktat i huvudsak mot de regionala sprickzonerna längs Brynåsbäckens och Älmåns dalgångar i öster och väster, men ett visst utflöde sker även mot Råttjärnsjön i norr. Ur regional aspekt är grundvattenflödet riktat mot Voxnan i söder och sydväst. Grundvattennivåerna varierar inom området mellan cirka 220 och 305 meter över havet.

Vid studiet av grundvattenförhållandena i Svartbobergsområdet konstaterades att den undersökta bergvolymen kan indelas i tre hydrauliska enheter, bergmassa, regionala sprickzoner respektive lokala sprickzoner. Med hjälp av regressionsanalys går det att visa att den hydrauliska konduktiviteten i bergmassan minskar med djupet. På 100 meters djup uppgår den till cirka 4×10^{-9} m/s och på 500 meters djup till 5×10^{-11} m/s. Även i de lokala sprickzonerna minskar den hydrauliska konduktiviteten med djupet. På 500 meters djup uppgår den till 8×10^{-10} m/s. Vad beträffar de regionala sprickzonerna utfördes hydrauliska undersökningar endast i den västra delen. Här utfördes propumpning, varvid fem vertikala hammarborrhål med längder mellan 50 och 150 meter utnyttjades. Den hydrauliska konduktiviteten i denna ytliga del av zonen bestämdes till cirka 6×10^{-7} – 3×10^{-6} m/s. Endast ett fåtal mätvärden existerar från större djup (cirka 440–790 m) i den regionala zonen. Den hydrauliska konduktiviteten varierar här mellan cirka 1×10^{-9} och 3×10^{-8} m/s.

Underlag för bedömning av de i avsnitt 6.2.2 uppsatta önskemålen presenteras nedan. Sammanställningen baseras på material från /B1-47/ och databasen Sicada.

Tabell B-22. Svartboberget. Hydraulisk konduktivitet i bergmassan och zoners transmissivitet i djupintervallet 400–700 meter (vertikalt djup under borrhålsmyningen) samt hydrauliska gradient på förvarsdjup.

Hydraulisk konduktivitet i bergmassan	
Antal hål som passerar det vertikala djupet 400 m	4
Totala antalet 25-meterssektioner	35
Antalet 25-meterssektioner där den hydrauliska konduktiviteten är mindre än 10^{-8} m/s	33
Andelen sektioner (%) som har en hydraulisk konduktivitet som är mindre än 10^{-8} m/s	94

Nedre mätgräns för ovan nämnda tester i 25-meterssektioner var 5×10^{-12} m/s.

Zoners transmissivitet		
Borrhålslängd i aktuellt djupintervall (m)	cirka 1 100	
Antal sprickzoner som skär hål i avsnittet 400–700 m	10	
Antal sprickzoner som skär hål i avsnittet 400–700 m och som har en transmissivitet större än 10^{-5} m ² /s	0	Bestämning av transmissiviteter har gjorts utgående från zonernas mäktigheter och hydrauliska konduktiviteter.
Antalet sprickzoner($T > 10^{-5}$ m ² /s) per 100 m borrhål	0	
Hydraulisk gradient på försvarsdjup		
Skattat värde på maximal medelgradient på försvarsdjup	cirka 5 %	Skattad gradient för ytlig grundvattenyta är 10 %.

B.7.5 Transportegenskaper

Tabell B-23. Transportmotstånd och formationsfaktor för berggrunden vid Svartboberget.

Transportmotstånd (F-parametern)	Uppgifter saknas	
Formationsfaktor	Beräknade formationsfaktorer ligger mellan $1,2 \times 10^{-5}$ och $4,1 \times 10^{-4}$	Det redovisade intervallet omfattar 15 mätningar gjorda på granit, gnejs och biotitgnejs med olika typer av lösningar och spårämnen /B1-7/.

B.7.6 Bergets mekaniska och termiska egenskaper

Ingen information finns om bergspänningar, mekaniska- eller termiska egenskaper.

B.7.7 Säkerhetsanalys

I KBS-3-rapporten redovisas resultat och bedömningar för undersökningsområde Svartboberget. Men någon komplett säkerhetsbedömning genomfördes inte. Anledningen till detta var att berggrunden inom området visade sig innehålla sprickzoner som var orienterade och fördelade så att ett tänkt slutförvar måste delas upp i många mindre delar på ett sätt som inte vore rationellt. Dessutom har berggrunden inom delar av området så höga halter grafit att brytning inte kan uteslutas. Av de områden (Fjällveden, Svartboberget, Gideå och Kamlunga) för vilka KBS-3 redovisade säkerhetsbedömningar ansågs Svartboberget minst lämpat för ett slutförvar.

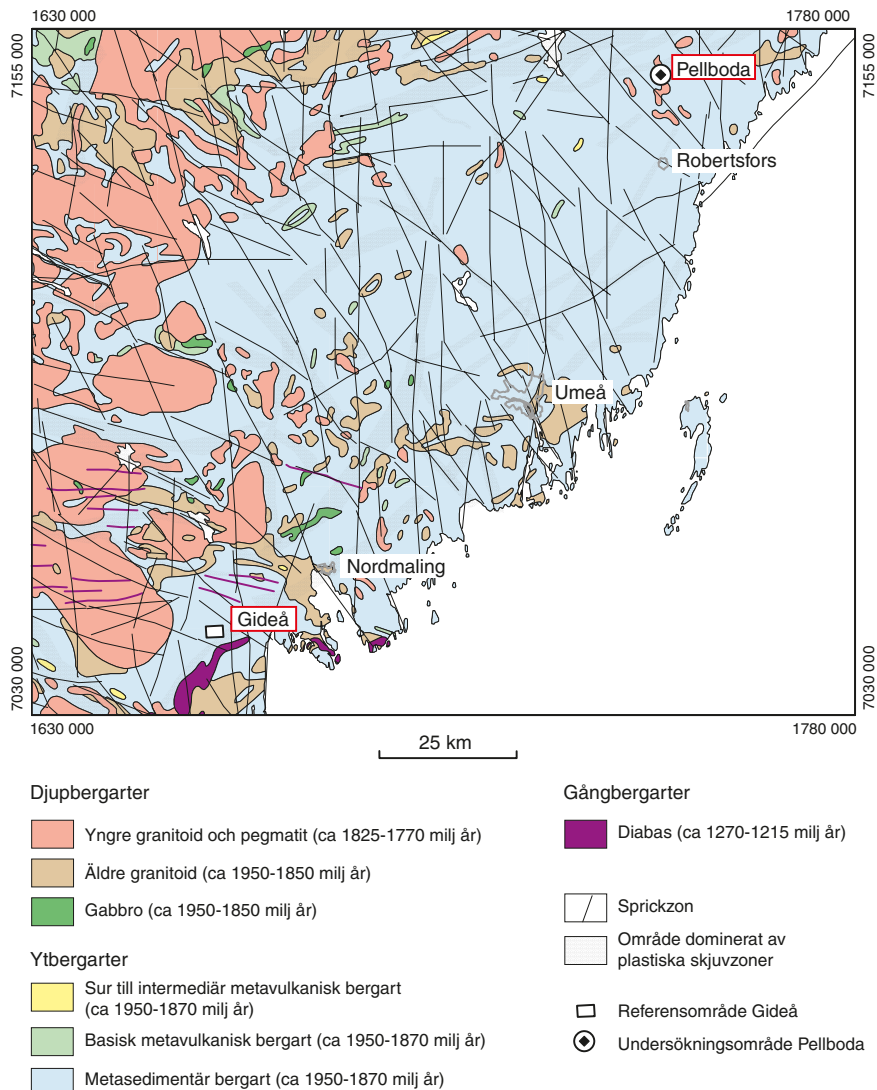
B.8 Gideå

B.8.1 Allmänt

Det aktuella typområdet (2×3 km) ligger cirka 5 kilometer öster om tätorten Gideå, se figur B-21. Typområdet utgörs av ett skogsområde som främst i öster och nordost har stora våtmarker (myrar). En större våtmark norr om typområdet kan bli föremål för torvtäkt. Marknivån inom typområdet varierar mellan cirka 80 och 130 meter över havet.

I Gideå bedrev SKB studier under perioden 1981–83 som omfattade mark- och borrhålsundersökningar. Sammanlagt borrades 13 st kärnborrhål med längder mellan 250–705 meter (sammanlagd borrhålslängd 8 252 m) samt 24 st hammarborrhål med längder mellan 40–153 meter. Läget av kärnborrhålen framgår av figur B-22. Figur B-23 visar tvärprofiler genom området.

Markundersökningarna omfattade berggrundsgeologisk kartering, markgeofysiska mätningar, lineamentstolkning från topografiska kartor och flygbilder samt sammanställning av hydro-meteorologiska data. Borrhålsundersökningarna innefattade kärnkartering, geofysiska undersökningar samt hydrauliska tester.



Figur B-21. Förenklad berggrundsgeologisk karta baserad på nationalatlasens berggrundskarta i skala 1:1 250 000. Sveriges geologiska undersökning.

B.8.2 Geologi

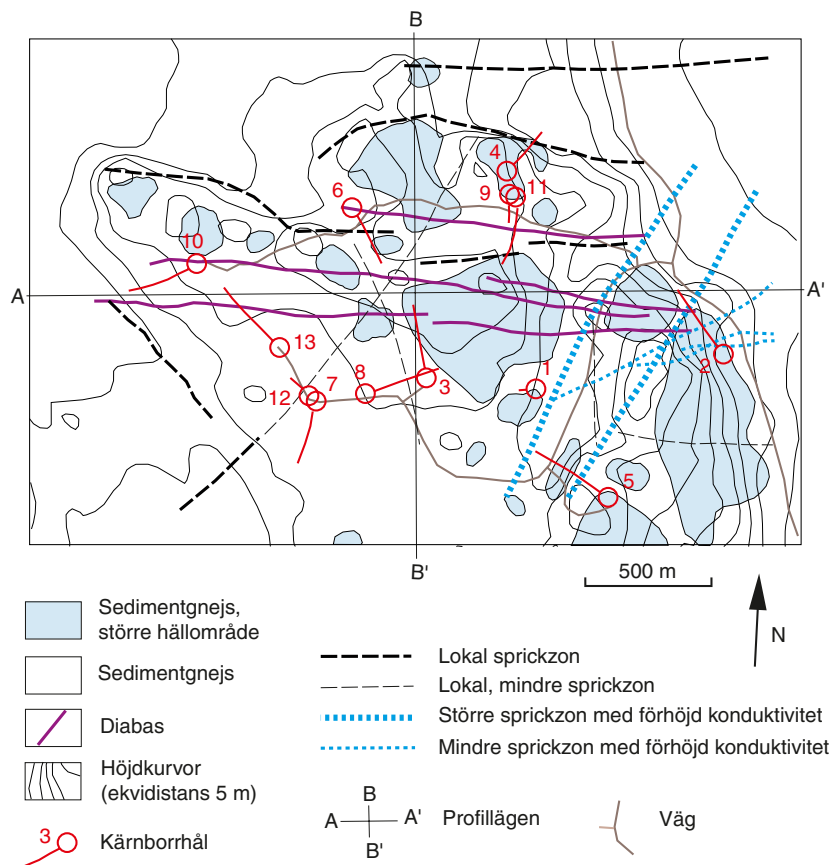
Bergarter

Gideåområdet är beläget på en relativt flack platå omgiven av större sprickzoner.

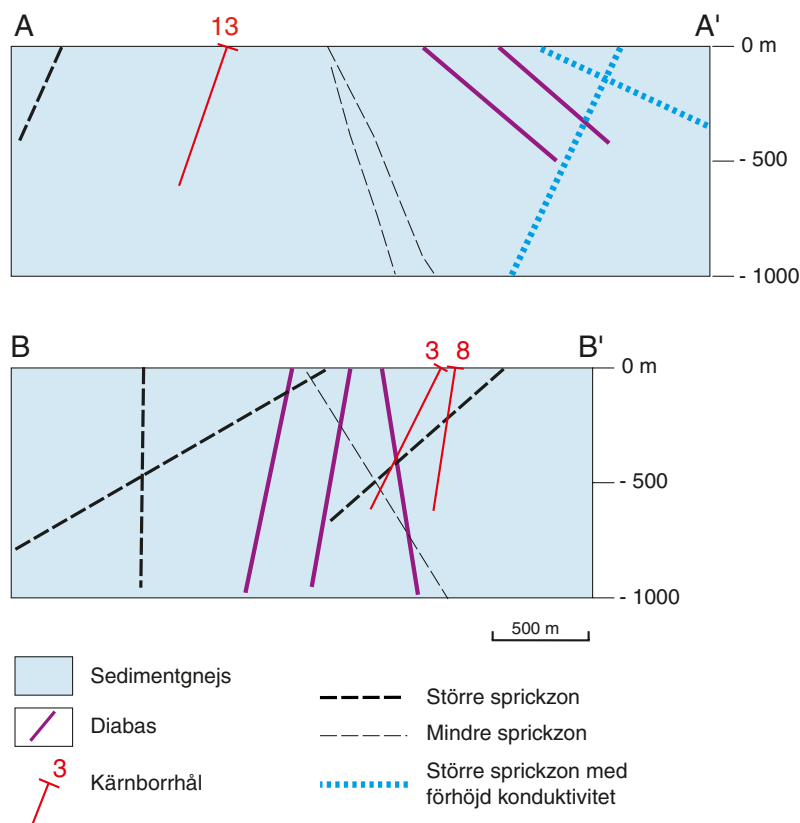
Typområdets berggrund domineras av gnejs av sedimentärt ursprung med varierande migmatitiseringsgrad. Migmatitiseringen har resulterat i två bergartstyper: ådergnejs (som är huvudbergarten) och (underordnat) migmatitiserad granit. Under den senare delen av den svekokarelska bergskedjebildningen trängde gångar av granit in i den äldre bergarten. Den deformation som blev resultatet av detta har gett upphov till veckning av granitgångarna liksom av ådergnejsen och den äldre, migmatitiserade graniten. Graniten omvandlades därvid till gnejsgranit. Veckningen har i Gideåområdet huvudstrykningen nordost-sydväst och stupar vanligen 10–30° mot nordväst. Granitgångarna följer troligen foliationen. Brantstående diabasgångar förekommer frekvent i berggrunden.

Jordarter

Bergblottningsgraden är relativt hög i typområdet, speciellt i områdets östra del. Jordarterna utgörs huvudsakligen av svallgrus, svallsand och torv och i mindre utsträckning morän och lera.



Figur B-22. Berggrundsgeologisk karta Gideå /efter B1-49/. Kartans avgänsning motsvarar referensområdet (undersökningsområdet).



Figur B-23. Berggrundsgeologiska tvärprofiler Gideå /efter B1-49/. Profilernas läge framgår av figur B-22.

Malmpotential

Gideåområdet berörs ej av malmpotentiella mineraliseringar.

Deformationszoner och berggrundens stabilitet

Gideåområdet omges av regionala sprickzoner med riktningarna västnordväst-ostsydost respektive nordväst-sydost. Bredden uppskattas från geofysiska data till mer än 100 meter. De nordväst-sydostliga zonerna är av något mindre dignitet med bredder i intervallet 50–100 meter. Tolkningen av de regionala zonerna baseras på studier av flygbilder och på geofysiska profilmätningar. Resultaten indikerar brant stupning, ibland med en dragning mot nordväst. De regionala sprickzonerna genomborrades ej i samband med KBS-3-studierna.

Tolkning av data som indikerar sprickzoner i Gideåområdet har lett fram till identifiering av 11 st mindre, s k lokala, sprickzoner. Tolkningarna grundas främst på resultat från markgeofysiska mätningar (elektriska och seismiska metoder), senare kontrollerade med borrhålsundersökningar. De vanligaste sprickzonsorienteringarna är nordost-sydväst samt ost-väst. Sprickzonernas bredd, såsom de har kunnat beräknas från borrhålsdata, varierar mellan 1–24 meter. Berget i sprickzonerna är i allmänhet kraftigt leromvandlat. Detta kan vara förklaringen till de, generellt, låga värden på hydraulisk konduktivitet som uppmätts i sprickzonerna (se nedan).

I Gideåområdet har bergmassans sprickighet (dvs sprickfrekvensen mellan sprickzoner) undersökts på såväl hällar som i borrhälor. Sprickfrekvensen på berghällarna uppgår till 1,2 sprickor per meter. Dominerande sprickriktningar är nord respektive nordost.

Sprickfrekvensen i bergmassan varierar med djupet under markytan. Ner till 500 meters djup är sprickfrekvensen större än 4,0 sprickor per meter, medan sprickfrekvensen på de undersökta djupen därunder är 2,0 sprickor per meter.

Gideåområdet är beläget i en region med förhöjd seismisk aktivitet.

B.8.3 Hydrogeokemi

I Gideå finns hydrogeokemiska analyser utförda på prover från två borrhål med fem provtagningssektioner i varje. Beskrivning av provtagning och analysresultat finns i /B1-50/, de grundvattenkemiska förhållandena är utvärderade i /B1-35/ och hela platsen är utvärderad i /B1-51/. Redoxförhållandena behandlas i /B1-34/. Sex av de provtagna sektionerna representerar 400 till 700 meters djup (jämför tabell B-24). Alla de provtagna vattnen är lågsalina. Endast två sektioner har bedömts som representativa men dessa ligger inte på försvarsdjup utan ytligare. Det finns starka indikationer på att vatten blandats och störts i samband borrhållning och provtagning och det finns därför inte möjlighet att göra en bedömning av områdets lämplighet utifrån ett hydrogeokemiskt perspektiv baserat på tillgängligt material. Förutom meteoriskt vatten av både recent och > 50 års ålder så kan man spåra mindre komponenter av både ett salint vatten och av ett glacialt vatten. ¹⁴C-innehållet har analyserats i flera sektioner men på grund av variationer i pH mätt i fält och på laboratoriet, vilket indikerar störning i bikarbonatsystemet så är ¹⁴C resultaten mycket svårtolkade. Allt tyder ändå på att vattnet är reducerande på djup mellan 400–700 meter.

Tabell B-24. Grundvattenkemi från borrhålen KGI02 och KGI04 i Gideå.

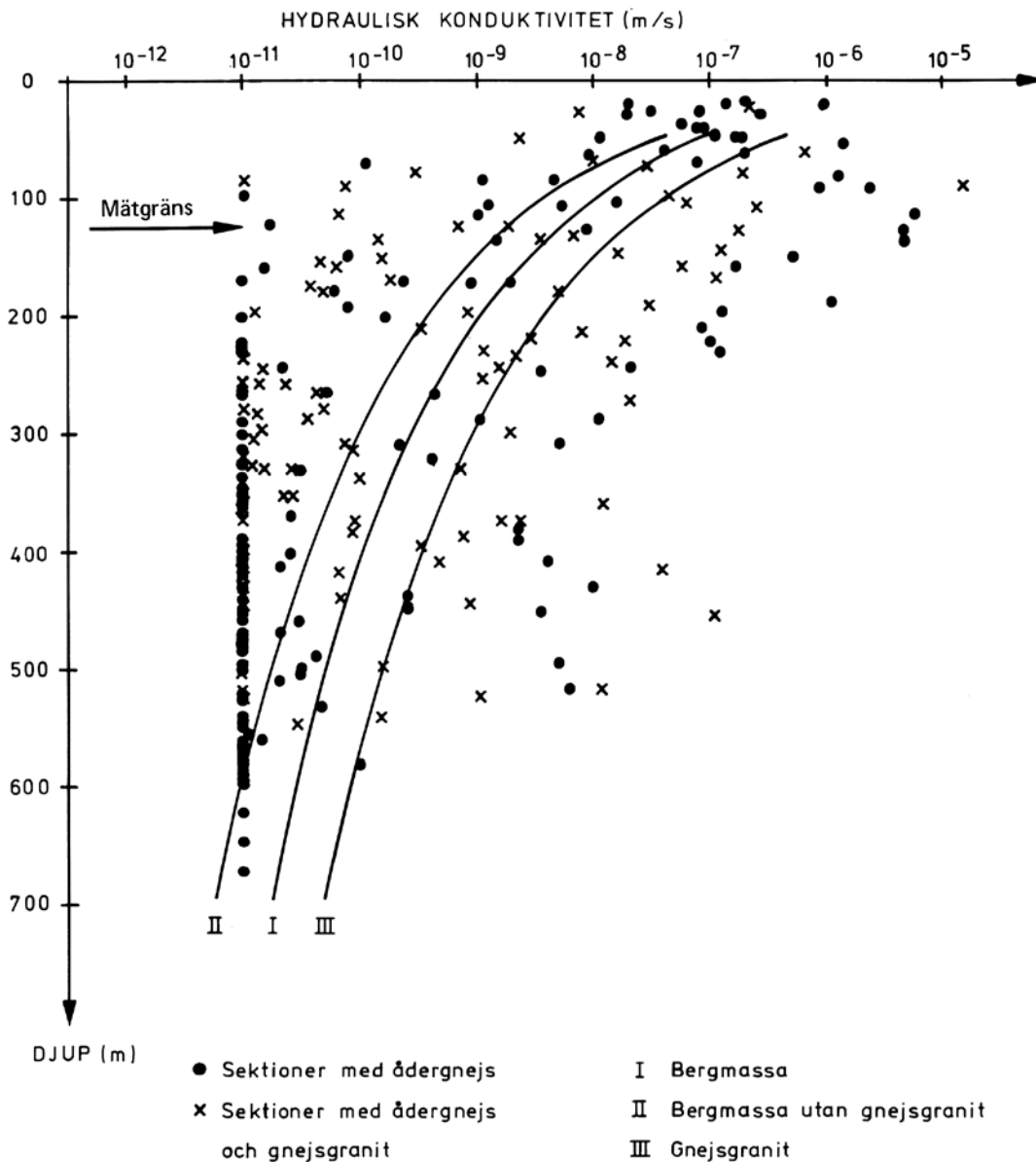
Borrhål	Djup (m)	Na (mg/L)	HCO ₃ (mg/L)	Cl (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	Tr (TU)	δ ¹⁸ O ‰ SMOW	pH	Eh (mV)	TDS (mg/L)	Ca+ Mg (mg/L)	TOC (mg/L)	S ₂ (mg/L)
KGI02	401,35	53	160	5,4	0,4	<3	-12,68	8,4	-	229	12	-	0,04
KGI02	545,35	51	160	5	0,1	<3	-12,44	8,3	-	226	12	-	0,02
KGI02	603,35	50	158	4,6	0,1	<3	-12,73	8,3	-	224	13	-	0,03
KGI04	405,35	105	18	178	0,1	8	-13,63	8,7	-	322	22	-	0,00
KGI04	513,35	5	121	2,2	8	49	-12,94	7,3	-	175	34	-	0,00
KGI04	617,35	145	50	260	0,1	10	-13,81	6,7	-	513	60	-	0,00

B.8.4 Hydrogeologi

Den centrala delen av Gideåområdet utgör ett inströmningsområde för grundvatten, medan låglandet mot öster utgör ett lokalt utströmningsområde. Det ytliga grundvattenflödet är huvudsakligen riktat mot de regionala lineamenten, som i sydväst sammanfaller med Gideälven och Husån i öster. Väster om Gideåområdet finns ett lokalt höjdområde. Grundvattenytans nivå inom typområdet är relativt flack och varierar mellan cirka 80 och 125 meter över havet.

Vid studiet av grundvattenförhållandena i Gideåområdet konstaterades att den undersökta bergvolymen kan indelas i olika hydrauliska enheter, i första hand bergmassa respektive sprickzoner. Bergmassan kan i sin tur uppdelas i ådergnejs respektive gnejsgranit.

Den hydrauliska konduktiviteten hos ådergnejs, beräknad genom regressionsanalys, är så låg som cirka 10^{-11} m/s på 500 meters djup, medan motsvarande värde för gnejsgraniten är cirka en tiopotens högre, det vill säga 10^{-10} m/s. Antalet mätvärden från sprickzoner är mycket begränsat. De uppmätta konduktiviteter är dock, med några få undantag, mycket låga, i samma storleksordning som den hydrauliska konduktiviteten i gnejsgranitens bergmassa, se figur B-24.



Figur B-24. Sambandet mellan hydraulisk konduktivitet och djup för bergmassan i Gideå /B1-10 (figur 18-17)/.

Modellberäkningar av grundvattenflödet på försvarsdjup (500 m) gav till resultat 5–15 (ml/m²)/år eller 2–4 (ml/m²)/år, beroende på vilka modellantaganden som tillämpades.

Underlag för bedömning av de i avsnitt 6.2.2 uppsatta önskemålen presenteras nedan. Sammanställningen baseras på material från /B1-51, B1-37, B1-52/ och databasen Sicada.

Tabell B-25. Gideå. Hydraulisk konduktivitet i bergmassan och zoners transmissivitet i djupintervallet 400–700 meter (vertikalt djup under borrhålsmyningen) samt hydrauliska gradient på försvarsdjup.

Hydraulisk konduktivitet i bergmassan		
Antal hål som passerar det vertikala djupet 400 m	11	
Totala antalet 25-meterssektioner	95	
Antalet 25-meterssektioner där den hydrauliska konduktiviteten är mindre än 10 ⁻⁸ m/s	92	
Andelen sektioner (%) som har en hydraulisk konduktivitet som är mindre än 10 ⁻⁸ m/s	97	Nedre mätgränserna för tester i 25-meterssektioner varierade mellan 5×10 ⁻¹² och 1×10 ⁻¹¹ m/s.
Zoners transmissivitet		
Borrhålslängd i aktuellt djupintervall (m)	cirka 2 500	
Antal sprickzoner som skär hål i aktuellt djupintervall	5	
Antal sprickzoner som skär hål i aktuellt djupintervall och som har en transmissivitet större än 10 ⁻⁵ m ² /s	0	
Antalet sprickzoner (T>10 ⁻⁵ m ² /s) per 100 m borrhål	0	
Hydraulisk gradient på försvarsdjup		
Skattat värde på maximal medelgradient på försvarsdjup	cirka 1 %	Skattad gradient för ytlig grundvattenyta är 2 %. Redovisad gradient i SR 97 är 0,5–0,6 %.

B.8.5 Transportegenskaper

Tabell B-26. Transportmotstånd och formationsfaktor för berggrunden vid Gideå.

Transportmotstånd (F-parametern)	95 % av antalet flödesvägar har ett transportmotstånd $F > 4 \times 10^5$ år/m 50 % av antalet flödesvägar har ett transportmotstånd $F > 2 \times 10^6$ år/m	Värdena är hämtade från /B1-21/.
Formationsfaktor	Beräknade formationsfaktorer ligger mellan $7,1 \times 10^{-6}$ och $8,1 \times 10^{-5}$	Det redovisade intervallet omfattar 10 st mätningar gjorda på granit och gnejs med olika typer av lösningar och spårämnen /B1-7/.

B.8.6 Bergets mekaniska och termiska egenskaper

I typområdet Gideå gjordes, liksom i Finnsjön, bergspänningsmätningar med hydraulisk uppspräckning, ner till cirka 500 meters djup /B1-53/. Resultaten visar inte på några överraskningar när det gäller beloppen. Riktningarna avvek från den i Skandinavien förhärskande trenden med störst belastningar i nordväst-sydostlig riktning. Spridningen och osäkerheten i riktningens data var emellertid avsevärd.

Mekaniska laboratorietester har gjorts på kärnprover från ett borrhål /B1-54/. Testerna inkluderade enaxiell tryckning för bestämning av E-modul och hållfasthet, ett mindre antal treaxliga tryckförsök för att bestämma motsvarande parametrar under inspända förhållanden, standardtester för bestämning av draghållfasthet, 3-punkts böjtester (en brottmekanisk metod) samt mätningar av utbredningshastighet för kompressionsvågor. Resultaten visade genomgående på normala värden för de bergarter som proverna representerade.

Temperaturmätningar gjordes i ett antal borrhål. Medeltemperaturen på 500 meters djup bestämdes till 10,9 °C /B1-9/. Termiska egenskaper (konduktivitet, diffusivitet och kapacitivitet) bestämdes på 15 prover. Resultaten visade på normala värden och spridningar som bedömdes motsvara variationerna i bergartsfördelning. Medelvärdet för den termiska konduktiviteten var 3,86 W/(m·K) /B1-51/.

B.8.7 Säkerhetsanalys

En säkerhetsbedömning för Gideå gjordes 1983 inom ramen för KBS-3-utredningen. Grundvattensammansättningen bedömdes vara sådan att den inte påverkar säkerheten kring ett tänkt slutförvar. Vidare bedömde KBS-3 att de geologiska och hydrologiska förutsättningarna för ett förvar var goda i Gideå och att den tillgängliga volymen är mycket stor. KBS-3 konstaterade att Gideå är ett exempel på ett område där *berggrunden är sådan att den väl lämpar sig för anläggning av ett säkert slutförvar* /B1-10/.

År 1999 redovisades säkerhetsanalysen SR 97 utifrån platsdata från tre platser i Sverige, däribland Gideå, som i studien kallas Ceberg. Säkerhetsanalysens slutsats är att *ett säkert slutförvar för använt kärnbränsle enligt KBS-3-metoden kan byggas på en plats där förhållandena liknar dem vid såväl Aberg, Beberg som Ceberg*, se vidare avsnitt 5.4.

B.9 Kamlunge

B.9.1 Allmänt

Typområde Kamlunge ligger cirka 25 kilometer nordväst om centralorten Kalix, se figur B-25. Området avgränsas i väster och sydväst av Kalixälven i öster av Korpiksåns dalgång och i söder Mojärvsåsen, som har för kommunen viktiga grundvattentäkter med fastställda skyddsområden.

Det undersökta området är cirka 7,5 km² stort och utgörs huvudsakligen av en högplatå med relativt flack topografi. Viss del av området når dock ner mot omgivande sluttningar, varför marknivån varierar mellan cirka 40 och 170 meter över havet. SKB:s studier pågick här under perioden 1981–83 och omfattade mark- och borrhålsundersökningar. Sammanlagt borrades 16 st kärnborrhål med längder mellan 105 meter och 801 meter med en sammanlagd borrhålslängd på 7 778 meter samt 22 st hammarborrhål med längder mellan 50 meter och 174 meter. Läget av kärnborrhålen framgår av figur B-26. Figur B-27 visar tvärprofiler genom området.

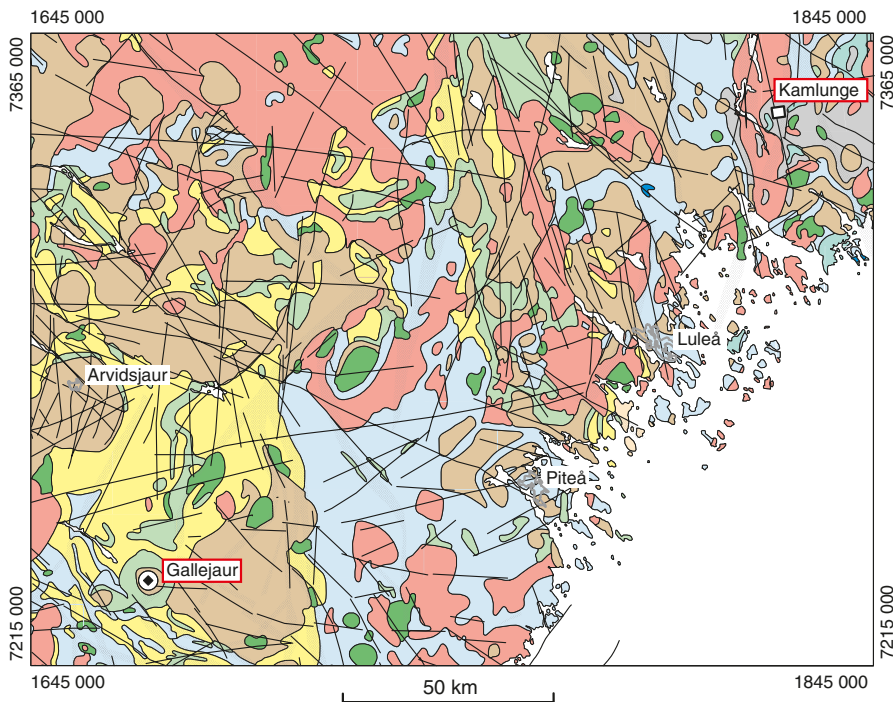
Markundersökningarna omfattade berggrundsgeologisk kartering, markgeofysiska mätningar, lineamentstolkning från topografiska kartor och flygbilder samt sammanställning av hydro-meteorologiska data. Borrhålsundersökningarna innefattade kärnkartering, geofysiska undersökningar samt hydrauliska tester.

B.9.2 Geologi

Bergarter

På Kamlungekölen finns anmärkningsvärt stora hälltytor blottade (flera kvadratkilometer). Merparten av ytarealen inom typområdet tillhör den s k Sockbergetgruppen bestående av i huvudsak två metasedimentära bergarter, kvartsitisk gnejs och biotitgnejs.

På större djup i berggrunden överväger graniter tillhörande den s k Linaserien. Även granodiorit tillhörande Haparandaserien har observerats inom typområdet men i liten omfattning. Smärre kroppar av basiska bergarter, exempelvis amfibolit och gabbro, är vanligt förekommande både



Ytbergarter

- Kalksten
- Sur till intermediär metavulkanisk bergart (ca 1950-1870 milj år)
- Intermediär och basisk metavulkanisk bergart (ca 1950-1870 milj år)
- Metasedimentär bergart (ca 1950-1870 milj år)
- Basisk metavulkanisk bergart (ca 2500-1950 milj år)
- Metasedimentär bergart (ca 2500-1950 milj år)

Djupbergarter

- Granitoider, pegmatit (ca 1950-1770 milj år)
- Äldre metagranitoider (ca 1950-1850 milj år)
- Metagabbro, metadiorit, amfibolit (ca 1950-1850 milj år)
- Granitoid gnejs och granit (ca 2800-2600 milj år)
- Sprickzon
- Område dominerat av plastiska skjuvzoner
- Referensområde Kamlunge
- Undersökningsområde Gallejaur

Figur B-25. Förenklad berggrundsgeologisk karta baserad på nationalatlasens berggrundskarta i skala 1:1 250 000. Sveriges geologiska undersökning.

vid ytan och på större djup. I borrhämnarna från Kamlungeområdet fördelar sig bergarterna på följande sätt: Linagranit med tillhörande pegmatit 40 %, biotitgnejs 25 %, kvartsitgnejs 14 %, granodiorit 13 % samt amfibolit 7 %.

Jordarter

En betydande andel, cirka 30 %, av typområdets yta utgörs av blottat berg. Där jordlager förekommer, är dessa i allmänhet tunna och består av ett fåtal jordarter. Områdets berggrund är därför lättundersökt. Kamlungekölen är kraftigt svallad av havet och svallsediment i olika fraktioner upptar en betydande areal. Bland annat finns flera klapperfält inom området. I övrigt dominerar morän med svallat ytskikt samt torv.

Malmpotential

Kamlungekölen är ej malmpotentiellt område.

Deformationszoner och berggrundens stabilitet

Kamlungeområdet är beläget inom den stora plastiska skjuvzon som brukar benämnas den Baltisk-Bottniska skjuvzonen, som i denna region har en bredd av cirka 5–10 kilometer med strukturer orienterade i cirka nord-syd.

Typområdet begränsas i norr, väster och öster av regionala sprickzoner och kan därmed sägas utgöra ett triangulärt block. Den västra zonen har en nordväst-sydostlig strykning, vilken sammanfaller med den dominerande trenden för regionala sprickzoner i nordöstra Norrbotten. I samband med typområdesundersökningarna utfördes ett hammarborrhål i den västra regionala sprickzonen. Jorddjupet var betydande, 72 meter, och den underliggande berggrunden var uppsprucken och kraftigt vattenförande. Zonens bredd har uppskattats till cirka 550 meter och stupningen är troligen brant. Detta gäller även stupningen hos den norra och den östra begränsande zonen.

Inom typområdet har sju sprickzoner av lokal karaktär identifierats vid berggrundsytan. Fyra av dessa har nordostlig strykning, övriga tre nordvästlig. Vinkeln mellan de två systemen är således cirka 90°. Bredden av dessa lokala zoner varierar från en meter till 14 meter med en medelbredd på sex meter. Samtliga zoner stupar brant. Avståndet mellan dem varierar mellan cirka 500 meter och 1 500 meter. Förutom de brantstående zonerna genomborrades en horisontell sprickzon på cirka 550 meters djup. Den horisontella zonen är vattengenomsläpplig och har en bredd som varierar mellan fyra och 14 meter.

Sprickfrekvensen är generellt sett låg, 1,1–1,3 sprickor per meter på hållar respektive 3,6–4,7 sprickor per meter i borrhåll.

Området är beläget i en region med något förhöjd seismisk aktivitet. Aktiviteten är dock betydligt lägre än längs exempelvis Norrlandskusten.

B.9.3 Hydrogeokemi

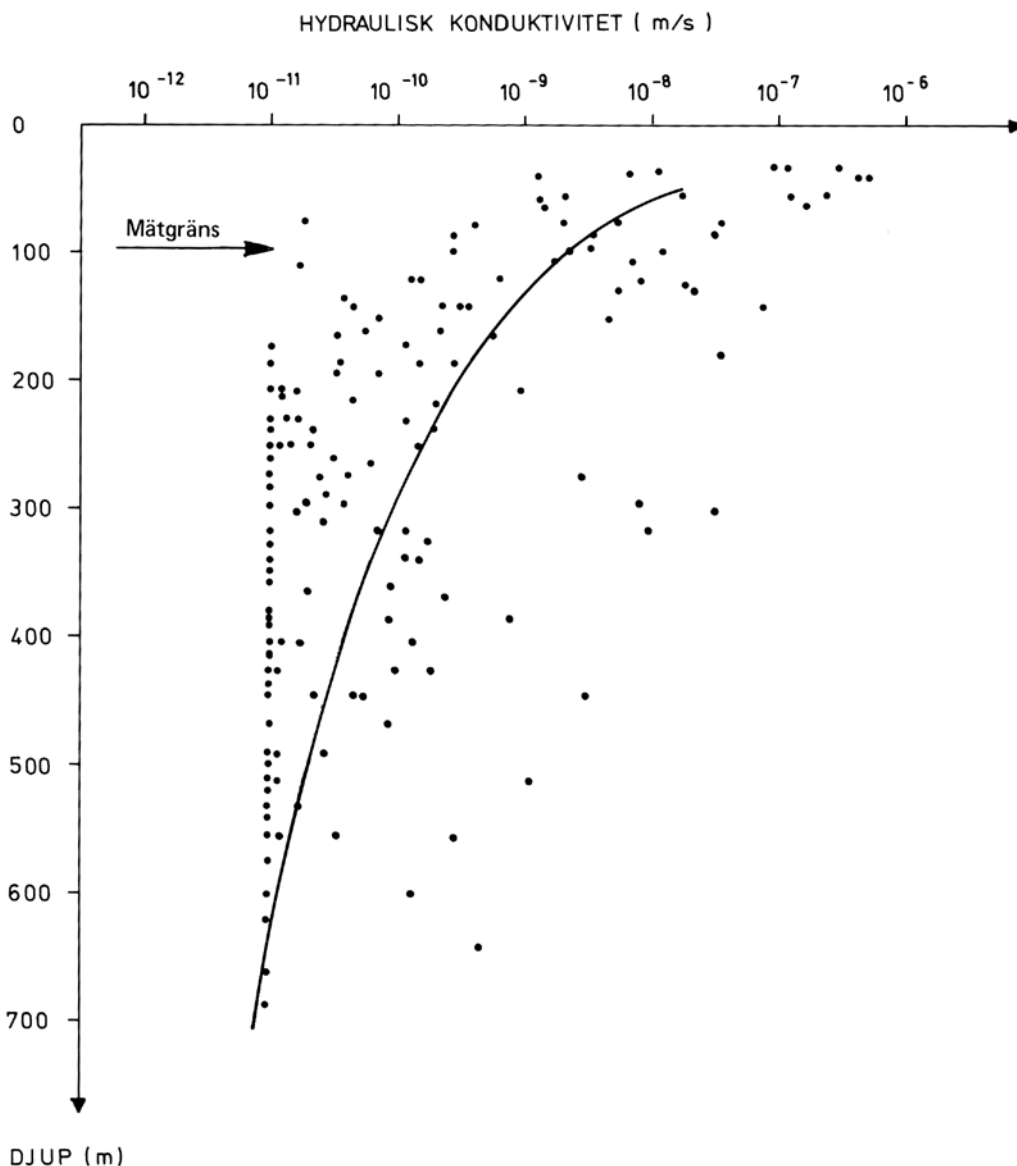
Från Kamlunge finns hydrogeokemiska analyser utförda i tre borrhål och sammanlagt sju sektioner. Beskrivning av provtagning och analysresultat finns i /B1-56/, de grundvattenkemiska förhållandena är utvärderade i /B1-35/ och hela platsen är utvärderad i /B1-55/. Redoxförhållandena behandlas i /B1-34/. Endast tre av de provtagna sektionerna ligger inom 400 till 700 metersintervallet (jämför tabell B-27). Alla de provtagna vattnen är lågsalina och inget av dessa har bedömts som representativa. Det finns ingen indikation av att spolvatten finns kvar i hålet däremot har sannolikt ytvatten runnit ner längs borrhållsväggen. Tritiumhalten är hög i alla tre proverna vilket stödjer en ytvatten-kontamination. Endast två sektioner har bedömts som representativa men dessa ligger inte på försvarsdjup utan ytligare. ¹⁴C-innehållet har analyserats i flera sektioner och är generellt sett högre än 40 % modernt kol (pmC) men eftersom vattnen är kontaminerade med ytvatten görs ingen tolkning av dessa data. Ingen utvärdering av redoxförhållanden kan heller göras.

Tabell B-27. Grundvattenkemi från borrhållen KKM03 och KKM13 i Kamlunge.

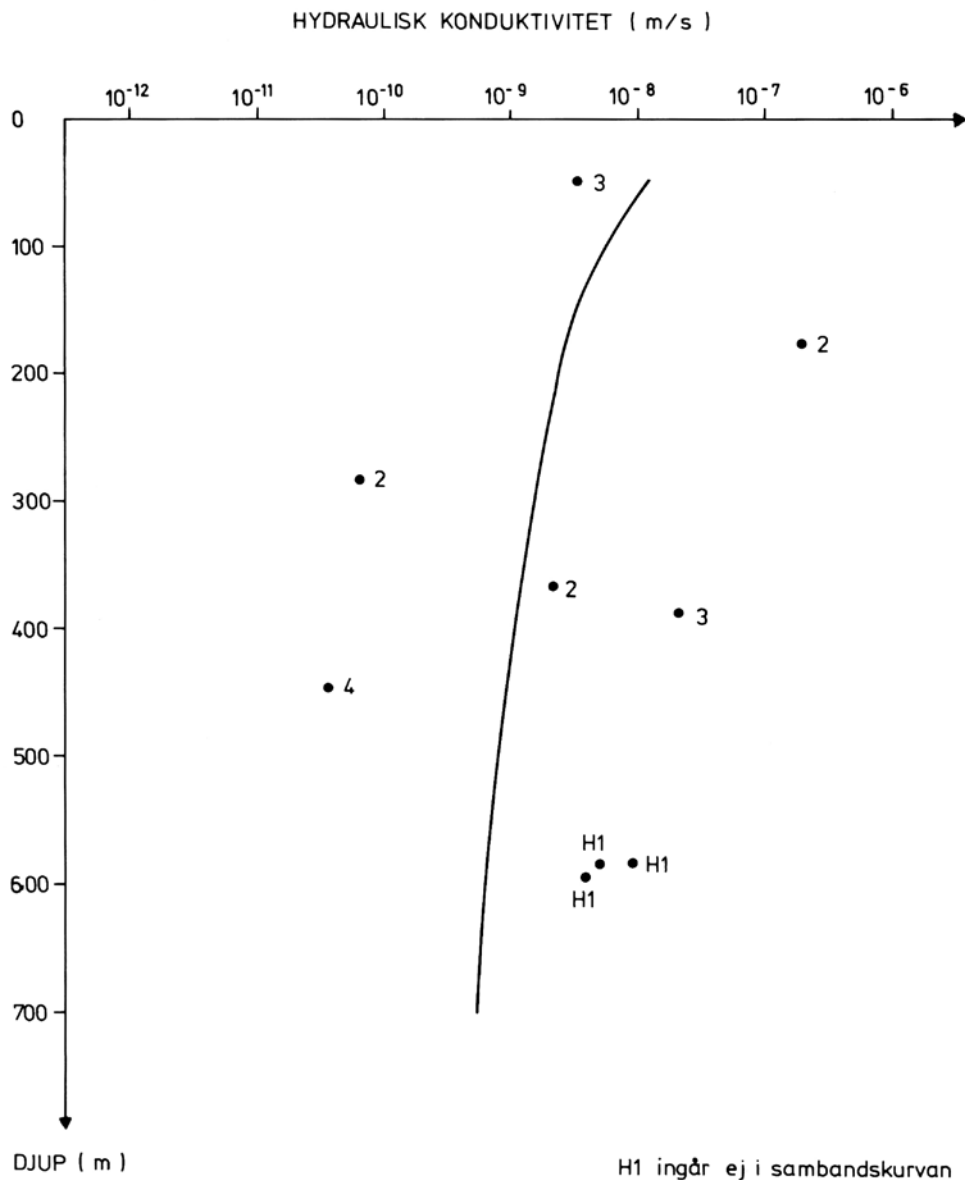
Borrhål	Djup (m)	Na (mg/L)	HCO ₃ (mg/L)	Cl (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	Tr (TU)	δ ¹⁸ O ‰ SMOW	pH	Eh (mV)	TDS (mg/L)	Ca+Mg (mg/L)	TOC (mg/L)	S ₂ (mg/L)
KKM03	446,35	5	66	2,5	6	56	-13,76	7,8	-	94	16	-	0,01
KKM13	515,35	14	23	10	244	28	-13,49	7,8	-	396	107	-	0,01
KKM13	671,35	1,4	8	5	5	39	-14,9	6,9	-	40	4,2	-	-

B.9.4 Hydrogeologi

Ett stort antal mätningar av berggrundens hydrauliska konduktivitet har utförts. Regressionsberäkningar gjorda på resultaten av de sektionssvisa mätningarna visar att bergmassans hydrauliska konduktivitet är låg, cirka 10^{-11} m/s på 500 meters djup, se figur B-28. Sprickzonernas hydrauliska konduktivitet på motsvarande djup är cirka 10^{-9} m/s, se figur B-29. Modellberäkningar av grundvattenflödet på djupet 450 meter gav resultatet 20–60 (ml/m²)/år. Existensen av en horisontell hydrauliskt konduktiv sprickzon på 550 meters djup medför emellertid att ett förvar i Kamlungeområdet bör placeras minst 100 meter över denna. Grundvattenflödet omedelbart under den horisontella zonen, vid cirka 570 meters djup, beräknades med samma hydrauliska modell till 4–10 (ml/m²)/år, det vill säga ett betydligt lägre värde än ovanför zonen. Trots att de beräknade flödena var mycket mindre under zonen föreslog SKB att förvaret skulle läggas på cirka 450 meters djup /B-10/. Anledningen till detta var att undersökningarna under zonen bedömdes inte vara tillräckliga för att föreslå ett djupare beläget förvar.



Figur B-28. Sambandet mellan hydraulisk konduktivitet och djup i bergmassan för Kamlunge /B1-10 (figur 18-28)/.



Figur B-29. Sambandet mellan hydraulisk konduktivitet och djup för sprickzonerna i Kamlunge /B1-10 (figur 18-29)/.

Underlag för bedömning av de i avsnitt 6.2.2 uppsatta önskemålen presenteras nedan. Sammanställningen baseras på material från /B1-55, B1-57/ och databasen Sicada.

Tabell B-28. Kamlunge. Hydraulisk konduktivitet i bergmassan och zoners transmissivitet i djupintervallet 400–700 meter (vertikalt djup under borrhålsmyningen) samt hydrauliska gradient på förvarsdjup.

Hydraulisk konduktivitet i bergmassan		
Antal hål som passerar det vertikala djupet 400 m	8	
Totala antalet 25-meterssektioner	53	
Antalet 25-meterssektioner där den hydrauliska konduktiviteten är mindre än 10^{-8} m/s	53	Nedre mätgräns för tester i 25-meterssektioner var 1×10^{-11} m/s.
Andelen sektioner (%) som har en hydraulisk konduktivitet som är mindre än 10^{-8} m/s	100	

Zoners transmissivitet		
Borrhålslängd i aktuellt djupintervall (m)	1 300	
Antal sprickzoner som skär hål i aktuellt djupintervall	5	
Antal sprickzoner som skär hål i aktuellt djupintervall och som har en transmissivitet större än 10^{-5} m ² /s	0	Bestämning av transmissiviteter har gjorts utgående från zonernas mäktigheter och hydrauliska konduktiviteter.
Antalet sprickzoner ($T > 10^{-5}$ m ² /s) per 100 m borrhål	0	
Hydraulisk gradient på försvarsdjup		
Skattat värde på maximal medelgradient på försvarsdjup	cirka 4 %	Skattad gradient för ytlig grundvattenyta är 8 %. Några av de grundvattenmodelleringar som gjorts på ungefär försvarsdjup indikerar att det kan finnas gradienter som är något större än 4 % /B1-37/.

B.9.5 Transportegenskaper

Tabell B-29. Transportmotstånd och formationsfaktor för berggrunden vid Kamlunge.

Transportmotstånd (F-parametern)	Uppgifter saknas
Formationsfaktor	Uppgifter saknas

B.9.6 Bergets mekaniska och termiska egenskaper

Inga bergspänningsmätningar eller bestämningar av mekaniska egenskaper har gjorts i Kamlunge. Temperaturmätningar gjordes i ett antal borrhål. Medeltemperaturen på 500 meters djup bestämdes till 8,7 °C /B1-9/. Termiska egenskaper (konduktivitet, diffusivitet och kapacitivitet) bestämdes på 15 prover. Resultaten visade på normala värden. Medelvärdet för den termiska konduktiviteten var 3,61 W/(m·K). Spridningen var betydande (2,5–6,5 W/(m·K)) vilket kunde tillskrivas litologiska variationer /B1-55/.

B.9.7 Säkerhetsanalys

En säkerhetsbedömning för Kamlunge gjordes 1983 inom ramen för KBS-3-utredningen. Grundvattensammansättningen bedömdes vara sådan att den inte påverkar säkerheten kring ett tänkt slutförvar. Vidare bedömde KBS-3 att området har goda förutsättningar för ett enplansförvar på 450 meters djup. KBS-3 konstaterade att Kamlunge är ett exempel på ett område där berggrunden är sådan att den väl lämpar sig för anläggning av ett säkert slutförvar /B1-10/.

B.10 Taavinunnanen

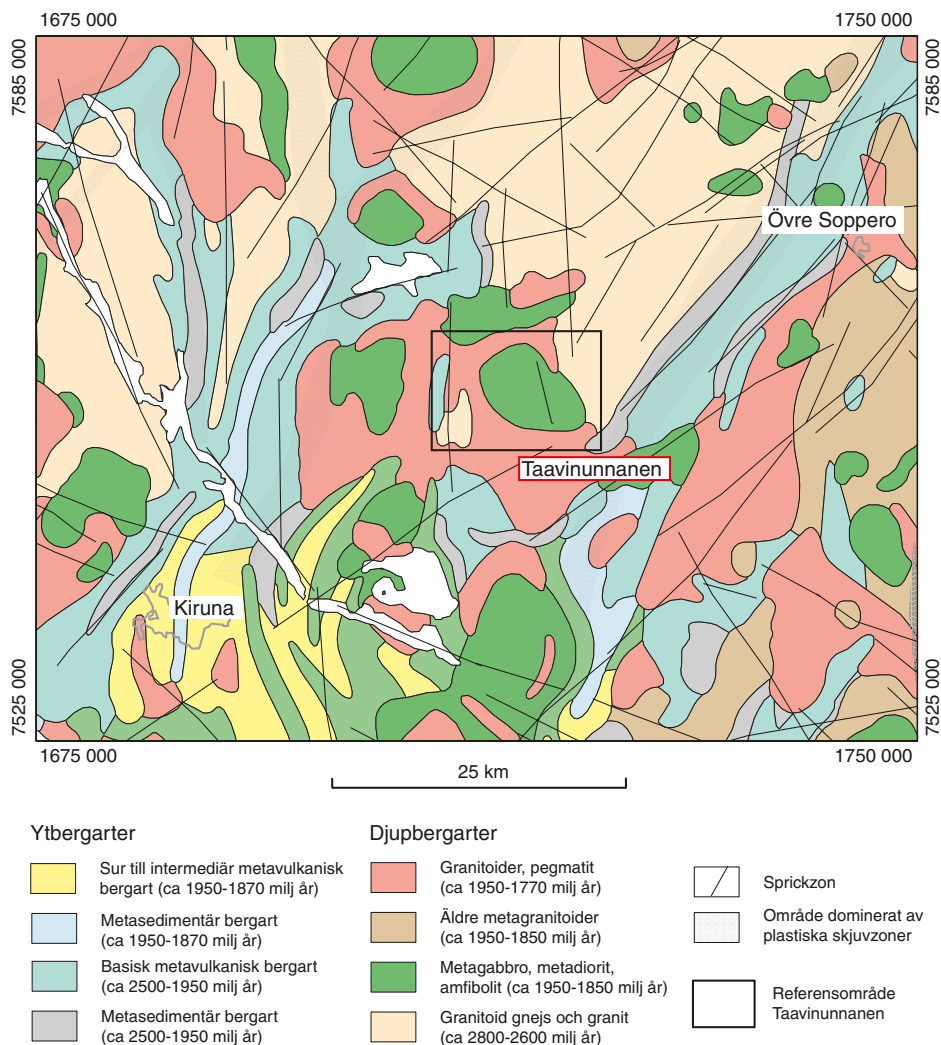
B.10.1 Allmänt

Typområdet Taavinunnanen ligger cirka 35 kilometer nordost om Kiruna centralort, se figur B-30. Närmaste järnväg finns i Kiruna. Hela området ligger inom raketuppskjutningsfältet Esrange.

B.10.2 Geologi

Allmänt om gabbro samt geologiskt bedömningsunderlag

Berggrunden i typområdet Taavinunnanen består till största delen av bergarten gabbro. Gabbrointrusioner har bildats genom att smält material från övre manteln har rört sig uppåt och intruderat (trängt in i) jordskorpan. Intrusionerna har bildat isolerade kroppar med en utsträckning i djupled som vanligen är betydligt mindre än deras horisontella utbredning. Således kan ytan på gabbrointrusionerna variera mellan mycket små upp till drygt flera tiotals km².



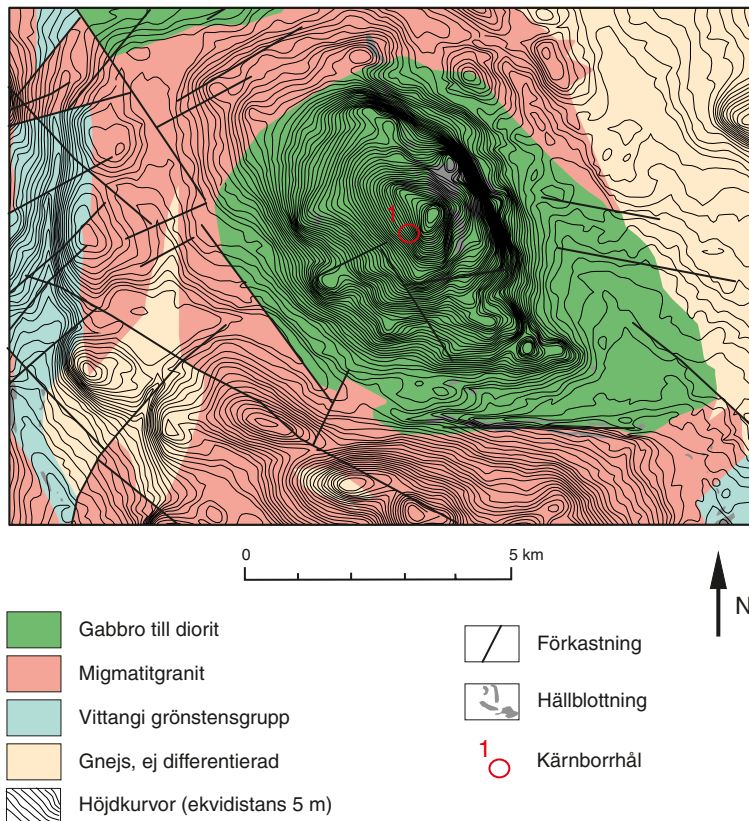
Figur B-30. Förenklad berggrundsgeologisk karta baserad på nationalatlasens berggrundskarta i skala 1:1 250 000. Sveriges geologiska undersökning.

Gabbro består huvudsakligen av mineralerna plagioklas och pyroxen. Det är främst det sistnämnda som ger gabbron dess mörka färg. Magnetitnehållet är ofta så stort, upp till 10 %, att gabbrointrusionerna blir ”magnetiska” och därmed tydligt urskiljbara på flygmagnetiska kartor. Gabbrons höga densitet medför att gabbrokroppar dessutom ofta uppträder som anomalier på tyngdkraftskartor.

Vid PRAV:s genomgång av större gabbrointrusioner i Norrland åren 1980–81 studerades fyra objekt något utförligare. Efter granskning av dessa utvaldes Taavinunnanenmassivet, beläget på kartbladet 30 K Soppero SV, för vidare studier. Här utfördes under våren 1981 ett 700 meter djupt, vertikalt ansatt, kärnborrhål Ø 56 mm, se figur B-31. Borrhålen undersöktes med avseende på bergarter, sprickfördelning, sprickmineral samt hållfasthetsegenskaper. Dessutom utfördes geofysisk borrhålsloggning, vatteninjektionstester i borrhålet för bestämning av hydrauliska egenskaper samt grundvattenkemisk provtagning.

Topografi och bergarter

Berggrunden, som omger Taavinunnanens gabbromassiv, består i norr och öster av migmatitiserad gnejs, i huvudsak av sedimentärt ursprung, tillhörande den senare delen av karelska orogenesisen. I söder och väster vidtar sig linagranit samt något äldre basisk vulkanit. Även dessa bergarter tillhör den karelska cykeln.



Figur B-31. Berggrundsgeologisk karta Taavinunnanen /efter B1-59/. Kartans avgränsning motsvarar referensområdet (undersökningsområdet).

Gabbroområdet domineras av en höjdplåta med en högsta punkt på kalvfjäll, 780 meter över havet. Höjdskillnaden mellan fjällets topp och gabbrons utkanter varierar mellan 250 meter och 400 meter. Gabbron har en elliptisk form med längdaxeln i nordväst-sydost. Diametern varierar mellan sex och åtta kilometer och ytan är cirka 50 km². Inlandsisen har i detta område rört sig i nordostlig riktning varvid Taavinunnanen har skulpterats med en svagt sluttande stötsida i sydväst och en brant sluttning på plocksidan⁹ i nordost. Det är främst på toppen och på den branta sluttningen i nordost som gabbron är välblottad, medan övriga delar är jordtäckta.

Taavinunnanengabbbron uppvisar en lagrad struktur med stor variation i den mineralogiska sammansättningen vinkelrätt lagerställningen. Lagringen har utbildats i samband med steltningsprocesser i gabbron. Variationen mellan de olika lagren beror på skillnader i proportioner mellan huvudmineralen plagioklas, pyroxen och olivin. I gabbron förekommer brottstycken av kvartsit.

Borrkärnan i det cirka 700 meter långa kärnbråhålet består till den helt övervägande delen av lagrad gabbro. Lagren kan variera i tjocklek mellan några millimeter upp till flera hundra meter. Lagren har olika mineralogisk sammansättning och varierar i färg, kornstorlek och textur. Färgen är vanligen olika nyanser av grått.

Cirka 14 % av den borrade sektionen består av en omvandlad, grönaktig, finkornig, biotirik bergart. Dessa partier ligger oftast i anslutning till tektoniskt störda områden. Gångar av aplit och granit är relativt vanliga och upptar totalt åtta procent av borrkärnan. Även någon enstaka basisk gång förekommer.

⁹ Plocksida, inom glacialgeologin detsamma som läsida.

Jordarter

De jordarter som påträffas i Taavinunnanenområdet består av morän och torvmark.

Malmpotential

I ytprover från Taavinunnanengabbron varierar järnoxidinnehållet (summan av FeO och Fe₂O₃) mellan 6,0 % och 14,2 %. Dessa halter är alldeles för låga för att det skulle vara intressant att bryta gabbro för dess järninnehåll. Däremot är gabbro en tänkbar miljö för andra malm-mineral, exempelvis nickel. Det finns idag ingen känd nickel- eller annan malmförekomst i Taavinunnanengabbron. Det är dock inte helt uteslutet att malm kan förekomma mot djupet.

Deformationszoner och berggrundens stabilitet

Flygbildstolkning av lineament har påvisat två huvudriktningar i typområdets välblottade norra del: nordnordväst och nordnordost/nordost. Fältkontroller visar att de senare är mest markerade, även om de inte har någon större uthållighet. Dessa zoner är brantstående. De nordnordvästliga sprickzonerna utgörs dels av flacka, med lagringen parallella, sprickzoner, dels mer brantstående, orsakade av iserosion. Endast i ett belagt fall har en sprickzon i Taavinunnanengabbons inre del varit associerad med tecken på större rörelsebelopp.

I områdets jordtäckta södra del har detaljerad flygbildstolkning av sprickzoner ej varit möjlig, men gabbrons södra begränsning är troligen ett resultat av förkastningsrörelser, som gett upphov till en djup sprickdal i ost-västlig riktning. Hällarna i och kring dalen är starkt uppkrossade.

Sprickmätning på håll i Taavinunnanengabbron har påvisat en sprickfrekvens av 1,9 sprickor per meter. Dominerande sprickriktning är nord-nordost/nordost, vilken sammanfaller med en av huvudriktningarna för flygbildstolkade lineament. I borrhållarna är medelsprickfrekvensen 3,9 sprickor per meter. Sprickfrekvensen avtar dock markant mot djupet.

Taavinunnanenmassivet är beläget i ett område med något förhöjd seismisk aktivitet.

B.10.3 Hydrogeokemi

I Taavinunnanen finns bara ett kärnborrhål och hydrogeokemiska analyser utfördes i två sektioner i detta. Beskrivning av provtagning och analysresultat finns i /B1-60/, de grundvattenkemiska förhållandena är utvärderade i /B1-35/. Båda de provtagna sektionerna visar lågsalint vatten på 400 till 700 meters djup (jämför tabell B-30). Inget prov har bedömts som representativt, kontaminationen från ytligare nivåer eller ytvatten är påtaglig. Tritiumhalten är mycket hög och joninnehållet i vattnet är extremt lågt.

Tabell B-30. Grundvattenkemi från borrhålen KTA01 i Taavinunnanen.

Borrhål	Djup (m)	Na (mg/L)	HCO ₃ (mg/L)	Cl (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	Tr (TU)	δ ¹⁸ O ‰ SMOW	pH	Eh (mV)	TDS (mg/L)	Ca+Mg (mg/L)	TOC (mg/L)	S ₂ (mg/L)
KTA01	497,35	3,9	32	–	6,2	123	–13,9	8,5	–	49	8	5	–
KTA01	677,00	4,8	25	–	5,8	129	–13,7	9,1	–	55	9	32	–

B.10.4 Hydrogeologi

Mätningar av berggrundens hydrauliska konduktivitet utfördes i ett stort antal borrhållssektioner av olika längd i det 700 meter långa kärnborrhålet. Med hjälp av mätresultaten har bergmassans hydrauliska konduktivitet vid olika djup kunnat bestämmas. I detta fall har det ej varit möjligt att göra en uppdelning i bergmassa respektive sprickzoner. Däremot har den hydrauliska konduktiviteten hos gabbro respektive granit i Taavinunnanenborrhålet jämförts. Den del av

bergmassan som består av gabbro har låg hydraulisk konduktivitet, cirka 5×10^{-10} – 10^{-11} m/s (beroende på mätmetod) på 500 meters djup. Motsvarande värde för graniten är cirka 5×10^{-9} – 10^{-10} m/s. Om bergmassans hydrauliska konduktivitet på 500 meters djup i SKB:s typområden Fjällveden, Svartboberget Gideå och Kamlunge jämförs med Taavinunnanengabbrons hydrauliska konduktivitet på motsvarande djup, visar det sig att den senare har allra lägst värde.

Underlag för bedömning av de i avsnitt 6.2.2 uppsatta önskemålen presenteras nedan. Sammanställningen baseras på material från /B1-59, B1-61/ och databasen Sicada.

Tabell B-31. Tavinunnanen. Hydraulisk konduktivitet i bergmassan och zoners transmissivitet i djupintervallet 400–700 meter (vertikalt djup under borrhålsmyningen) samt hydrauliska gradient på förvarsdjup.

Hydraulisk konduktivitet i bergmassan		
Antal hål som passerar det vertikala djupet 400 m	1	
Totala antalet 25-meterssektioner	11	
Antalet 25-meterssektioner där den hydrauliska konduktiviteten är mindre än 10^{-8} m/s	11	Nedre mätgräns för tester i 25-meterssektioner var 5×10^{-12} m/s.
Andelen sektioner (%) som har en hydraulisk konduktivitet som är mindre än 10^{-8} m/s	100	
Zoners transmissivitet		
Borrhålslängd i aktuellt djupintervall (m)	cirka 300	
Antal sprickzoner som skär hål i aktuellt djupintervall	i.u.	I redovisningen finns inga uppgifter angående transmissiviteter i zoner. Om det existerat en sprickzon i hålet så skulle dess transmissiviteten vara lägre än 10^{-5} m ² /s. Detta baseras på resultaten från 25-meters mätningar.
Antal sprickzoner som skär hål i aktuellt djupintervall och som har en transmissivitet större än 10^{-5} m ² /s	i.u.	–
Antalet sprickzoner ($T > 10^{-5}$ m ² /s) per 100 m borrhål	i.u.	–
Hydraulisk gradient på förvarsdjup		
Skattat värde på maximal medelgradient på förvarsdjup	cirka 6 %	Skattad gradient för ytlig grundvattenyta blev cirka 12 %.

B.10.5 Transportegenskaper

Tabell B-32. Transportmotstånd och formationsfaktor för berggrunden vid Tavinunnanen.

Transportmotstånd (F-parametern)	Uppgifter saknas
Formationsfaktor	Uppgifter saknas

B.10.6 Bergets mekaniska och termiska egenskaper

Ingen information finns tillgänglig om bergspänningar, mekaniska- eller termiska egenskaper. Temperaturmätningar i det enda borrhålet i området visade på en medeltemperatur på 5,5 °C på 500 meters djup /B1-9/.

B.10.7 Säkerhetsanalys

Ingen säkerhetsbedömning har gjorts för området.

C Finska undersökningar

C.1 Hästholmen

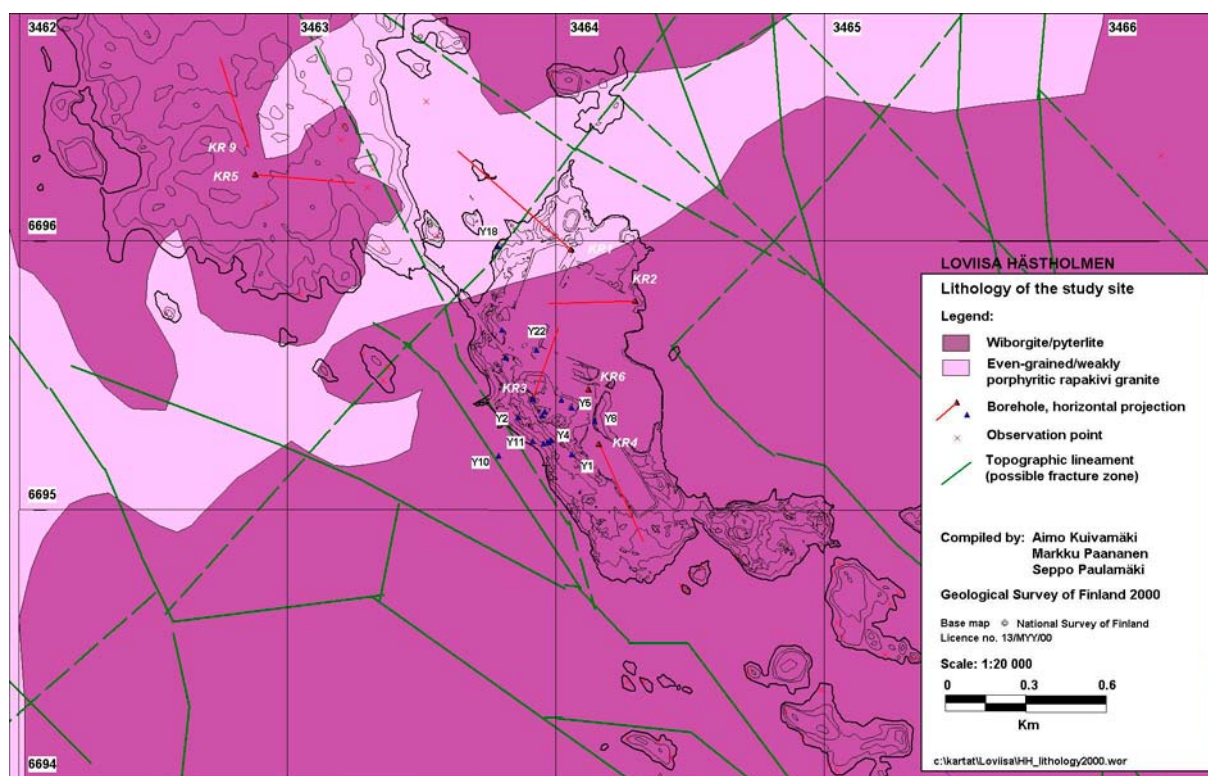
C.1.1 Geologi med mera

Se kapitel 3 (avsnitt 3.3.1) och figur C-1.

C.1.2 Hydrogeokemi

I Hästholmen finns hydrogeokemiska analyser utförda på prover från sju borrhål med totalt 23 sektioner fördelat på dessa. Av dessa representerar nio stycken djup mellan 380 och 700 meter (jämför tabell C-1). Beskrivning av provtagning och analysresultat samt utvärdering finns redovisat i /C1-2, C1-3/. De provtagna vattnen har kloridhalter som varierar mellan 3 040 till 18 100 mg/L. De flesta proverna representerar bräckt vatten (5 st) och resterande är salina. Med några få undantag visar vattnen lågt tritiuminnehåll. Fyra prover visar ett spolvatteninnehåll på mellan 3,8 till 10,2 %. De andra proverna är representativa.

De vattentyper som finns representerade är: Littorina-havsvatten (höga Mg-värden) som har blandats med varierande mängd glacialt smältvatten (låga $\delta^{18}\text{O}$; -12 till -13 ‰). I de vatten som har högst kloridhalt finns sannolikt också en komponent av ett äldre saltvatten (marint eller icke-marint). I några vatten med Cl runt 4 000 mg/L och $\delta^{18}\text{O}$ runt -10 ‰ kan Littorina-vatten ha blandats med ett senare meteoriskt vatten. Reducerande förhållanden demonstreras av mätbara sulfidhalter samt detekterbara halter av Fe^{2+} . Däremot varierar uppmätt redoxpotential (Eh) ganska mycket; ett erhållet positivt värde i det salina vattnet på 686 meters djup betraktas definitivt som felaktigt. Variabiliteten i Eh-värden tillskrivs tekniska problem med mätningarna /C1-3/. Metan har detekterats i flera av proverna vilket stödjer att reducerande förhållanden råder.



Figur C-1. Berggrundsgeologisk karta Hästholmen /C1-1/.

Tabell C-1. Grundvattenkemi från borrhålen HHKR01, HHKR02, HHKR03, HHKR04, HHKR05, och HHKR07 på Hästholmen.

Borrhål	Djup (m)	Na (mg/L)	HCO ₃ (mg/L)	Cl (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	Tr (TU)	δ ¹⁸ O ‰ SMOW	pH	Eh (mV)	TDS (mg/L)	Ca+Mg (mg/L)	TOC (mg/L)	S ₂ (mg/L)
HHKR01	604	1 500	86,0	4 000	390	1	-10,5	7,40	-200	6 812	1 060	-	0,01
HHKR01	531	1 560	43,3	4 380	400	0,8	-12,6	7,75	-133	7 159	976	1,50	0,02
HHKR01	381	234	21,4	18 100	141	0,8	-11,3	7,50	-135	22 929	4 910	6,20	0,04
HHKR02	378	1 600	46,2	3 990	420	1,8	-10,8	8,00	-511	6 827	970	1,50	0,01
HHKR03	646,5	2 810	33,2	6 890	460	0,8	-12,2	7,90	-350	11 414	1 530	5,80	0,10
HHKR04	686	3 200	27,5	8 280	152	0,8	-11,4	7,80	130	13 220	1 790	6,00	0,01
HHKR05	384,5	1 240	62,2	3 040	310	0,8	-	7,80	-	5 253	738	1,30	0,01
HHKR05	592,5	1 980	64,1	5 140	135	0,8	-13,0	7,30	-	8 290	1 093	3,00	0,01
HHKR07	673	3 760	29,3	8 380	113	4,1	-10,0	8,10	-378	13 483	1 380	8,30	0,01

C.1.3 Hydrogeologi

Undersökningsområdet Hästholmen består av ön Hästholmen och en del av det närliggande fastlandet. Topografin är flack. Den högsta punkten på ön ligger cirka 16 meter över havet och de högsta partierna på det närbelägna fastlandet ligger 20–25 meter över havet. I Hästholmen låg transmissiviteterna på sprickzoner¹⁰ mellan 10⁻⁷ och 10⁻⁴ m²/s. I området är medelvärdet för hydraulisk konduktivitet i bergmassan i de översta 200-metrarna lägre än 10⁻¹⁰ m/s /C1-4/.

Underlag för bedömning av de i avsnitt 6.2.2 uppsatta önskemålen presenteras nedan. Sammanställningen baseras på information från /C1-1, C1-5a, C1-5b, C1-5c/.

Tabell C-2. Hästholmen. Hydraulisk konduktivitet i bergmassan och zoners transmissivitet i djupintervallet 400–700 meter (vertikalt djup under borrhålsmyningen) samt hydrauliska gradient på försvarsdjup.

Hydraulisk konduktivitet i bergmassan		
Antal hål som passerar det vertikala djupet 400 m	8	
Totala antalet 20-meterssektioner	115	
Antalet 20-meterssektioner där den hydrauliska konduktiviteten är mindre än 10 ⁻⁸ m/s	115	Nedre mätgräns för tester i 25-meterssektioner var 1×10 ⁻¹⁰ m/s.
Andelen sektioner (%) som har en hydraulisk konduktivitet som är mindre än 10 ⁻⁸ m/s	100	
Zoners transmissivitet		
Borrhålslängd i aktuellt djupintervall (m)	cirka 2 000	
Antal sprickzoner som skär hål i aktuellt djupintervall	15	
Antal sprickzoner som skär hål i aktuellt djupintervall och som har en transmissivitet större än 10 ⁻⁵ m ² /s	1	
Antalet sprickzoner (T>10 ⁻⁵ m ² /s) per 100 m borrhål	cirka 0,05	
Hydraulisk gradient på försvarsdjup		
Skattat värde på maximal medelgradient på försvarsdjup	≤ 0,5 %	Skattad gradient för yttlig grundvattenyta är 0,5–1 %, se bilaga 2. Numeriskt beräknad gradient är 0,2–0,5 % /C1-5a/.

¹⁰ För Posivas definition av sprickzon, se bilaga 3.

C.1.4 Transportegenskaper

Tabell C-3. Transportmotstånd och formotionsfaktor för berggrunden vid Hästholmen.

Transportmotstånd (F-parametern)	Baserat på resultat från hydrotester har transportmotståndet F beräknats till $1,6 \times 10^6$ – $8,0 \times 10^6$ år/m (/C1-4/, tabell 11-18)	För de finska områdena har värden för transportmotstånd enligt TILA-99 multiplicerats med en faktor 2 så att de kan jämföras med F-parametern som presenterats för de svenska områdena (se /C1-4/, sid 116). För säkerhetsanalysen TILA-99 valdes värdet 4×10^4 år/m för transportmotståndet (95 % av beräknade värden bedömdes vara större än detta värde).
Formotionsfaktor	Beräknade formotionsfaktorer ligger mellan $3,2 \times 10^{-5}$ och $4,0 \times 10^{-5}$	Intervallat omfattar tre mätningar gjorda på gnejs med en lösning med olika koncentrationer och ett spårämne /C1-6/.

C.1.5 Bergets mekaniska och termiska egenskaper

Bergspänningarmätningar har gjorts på Hästholmen, dels i samband med undersökningar för förvaret för låg- och medelaktivt avfall (VLJ), dels under den senare platsundersökningen när Hästholmen utsågs till kandidatplats för det finska slutförvaret för använt kärnbränsle /C1-1/. Mätningarna knutna till VLJ omfattade djup ner endast cirka 140 meter, och har därför mindre intresse i sammanhanget.

Platsundersökningen omfattade mätningar – eller åtminstone mät försök – ner till cirka 600 meter. Både överborrning och hydraulisk spräckning har använts, men svårigheterna att få tillförlitliga data har i båda fallen varit betydande. Överborrningsmätningarna resulterade i uppspruckna kärnor (s k core discing), utom i några fall på djup mindre än cirka 300 meter. Mät försöken med hydraulisk spräckning resulterade till övervägande del i sprickor orienterade så att de inte medgav fullständig utvärdering. Senare tester med hydraulisk öppning av befintliga sprickor har dock fungerat bättre. De mättekniska problemen är med all säkerhet en konsekvens av höga och anisotropa horisontalspänningar. De data som finns indikerar belopp (största horisontalspänning) på 30–35 MPa på 500 meters djup.

Mekaniska standardparametrar (deformationsegenskaper, hållfasthet vid tryck- och dragbelastning) har bestämts dels genom enklare tester i fält, dels genom laborietester på ett betydande antal kärnprover från olika borrhål. Proverna togs huvudsakligen från de två huvudbergarterna området – wiborgit och rapakivigranit. Data visar inte på några överraskningar vad gäller deformations- och hållfasthetsegenskaper hos dessa bergarter.

Temperaturmätningar i borrhål visade en medeltemperatur på cirka 13 °C på 500 meters djup. Termiska egenskaper (konduktivitet, diffusivitet, kapacitivitet) har bestämts på prover från fyra olika borrhål. Överlag var värdena normala med hänsyn till bergarternas sammansättning. Medelvärdena för den termiska konduktiviteten var 2,6 W/(m·K) för wiborgit och 3,4 W/(m·K) för rapakivigranit.

C.1.6 Säkerhetsanalys

I TILA-99 studerades den långsiktiga säkerheten för ett slutförvar enligt KBS-3-metoden lokaliserat till fyra finska kandidatplatser, bland annat Hästholmen. Den övergripande slutsatsen i TILA-99 är att alla fyra platserna med marginal uppfyller regeringens och myndigheternas kriterier för säker slutförvaring av använt kärnbränsle. Se vidare avsnitt 5.6 och 7.2 i huvudtexten.

C.2 Olkiluoto

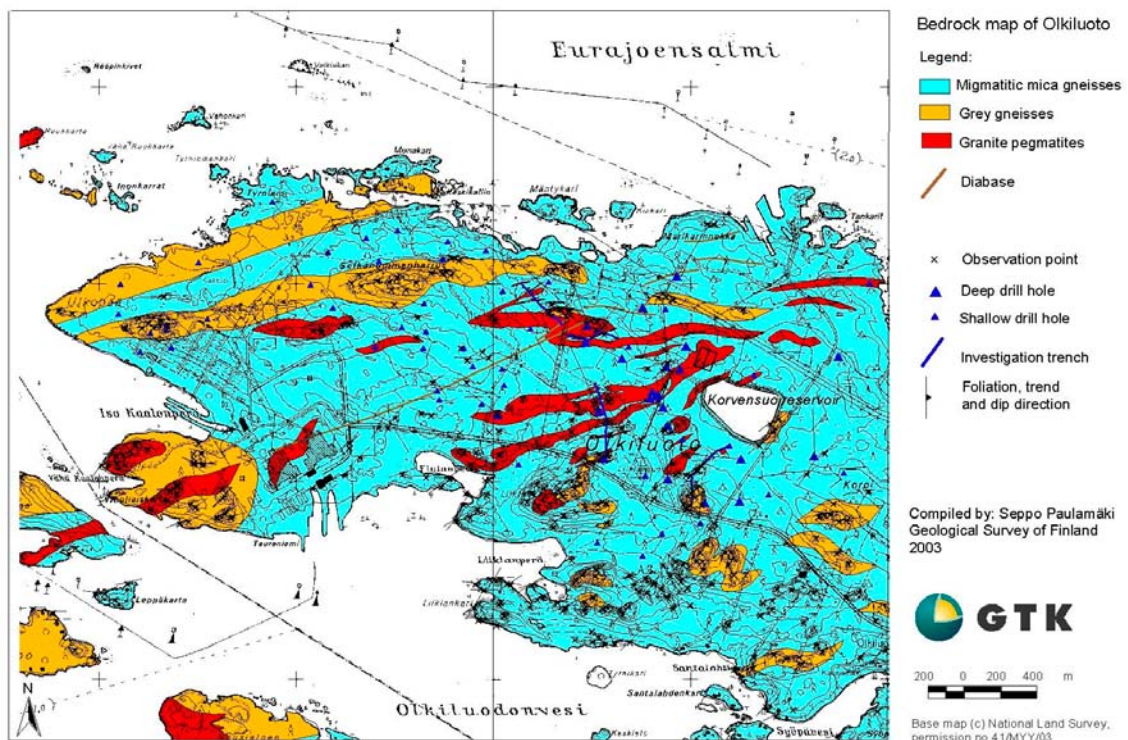
C.2.1 Geologi med mera

Se kapitel 3 (avsnitt 3.3.2) och figur C-2.

C.2.2 Hydrogeokemi

I Olkiluoto pågår för närvarande platsundersökningar och första fasen av bergbrytning för ett slutförvar, men de hydrogeokemiska data som diskuteras här är de som finns rapporterade i /C1-7/ och /C1-8/. Fördelat på åtta borrhål har sammanlagt 37 sektioner provtagits. Beskrivning av provtagning och analysresultat samt utvärdering finns redovisat i /C1-7/. Elva av proverna representerar djup mellan 400 och 700 meter (jämför tabell C-4). De flesta av dessa vatten är salina, men fyra prover har en lägre salthalt och kan klassificeras som bräckta (kloridhalterna varierar mellan 2 880 och 14 800 mg/L). Med några få undantag visar vattnen mycket låga tritium-halter och spolvatten-halterna är generellt sett låga varför de flesta analyserna kan anses som representativa för vattensammansättningen på det djup där de provtagits.

De vattentyper som finns representerade är Littorinahavsvatten (höga Mg-värden). Detta har blandats med varierande mängd glacialt smältvatten och/eller meteoriskt vatten. $\delta^{18}\text{O}$ varierar från $-10,7$ till $-12,3$ ‰. I de vattnen med högst kloridhalt finns sannolikt också en komponent av ett äldre saltvatten som kan vara av marint eller ickemarint ursprung. Eh-mätningarna har inte varit helt framgångsrika. Däremot visar beräknade Eh-värden baserade på olika redoxpar (CO_2/CH_4 och SO_4/HS) att reducerande förhållanden råder. DOC-värdena är höga på grund av kontamination från utrustningen. ^{14}C -innehållet har använts som ett stöd för uppdelningen av olika vattentyper. ^{14}C -halter mellan 20 och 60 % modernt kol (pmC) återfinns i vattnen av potentiellt Littorina-ursprung och stödjer en post-glacial ålder för dessa vatten medan vattnen med högre kloridhalter ($< 10\,000$ mg/L) generellt sett innehåller mindre ^{14}C (< 20 pmC) vilket alltså tyder på att de varit isolerade under längre tid.



Figur C-2. Berggrundsgeologisk karta Olkiluoto /C1-7/.

Tabell C-4. Grundvattenkemi från borrhålen KR1, KR3, KR5, KR6, KR9 och KR10 från Olkiluoto.

Borrhål	Djup (m)	Na (mg/L)	HCO ₃ (mg/L)	Cl (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	Tr (TU)	δ ¹⁸ O ‰ SMOW	pH	Eh (mV)	TDS (mg/L)	Ca+Mg (mg/L)	TOC (mg/L)	S ₂ (mg/L)
KR1_T612_2	615	4 800	20,1	14 800	0,8	2,8	-10,70	8,3	-270	23 621	4 056	8,2	0,03
KR3_T356_1	381	1 600	12,8	3 400	26,0	<0,8	-12,10	8,0	-120	5 443	429	7,5	0,04
KR3_T416_1	438,5	2 100	22,0	3 900	16,0	<0,8	-12,20	8,3	-5	6 418	390	17,4	0,00
KR3_438_1	440,5	1 590	13,1	2 880	11,7	1,1	-12,30	-	-	4 705	220	-	0,00
KR3_T461_1	481,5	2 690	4,9	5 865	31,2	0,9	-11,70	8,1	-	9 481	927	31,4	0,00
KR5_T376_1	411	2 230	35,4	4 700	75,0	0,8	-11,30	7,6	-100	8 000	1 001	16,8	1,30
KR5_446_6	502	3 325	13,4	9 500	3,1	0,8	-11,80	8,1	-246	15 097	2 320	2,2	0,44
KR6_525_1_ T01-001-00	526,5	4 500	2,8	12 300	5,3	2,6	-11,27	8,6-8,7	-120	19 308	2 508	6,5	0,26
KR9_470_1	472,5	2 810	17,7	8 030	17,1	0,9	-12,27	7,8	+68	12 825	1 979	4,8	0,00
KR9_563_1	567	4 200	13,4	11 480	1,3	1,6	-11,00	8,2	-	18 945	3 290	1,6	0,00
KR10_498_1	500,5	4 830	6,7	13 500	1,4	<0,8	-11,81	8,0	-152	21 908	3 608	14,3	0,00

C.2.3 Hydrogeologi

Undersökningsområdet Olkiluoto ligger på en halvö med samma namn. Topografin på halvön är relativt flack och större delen av området ligger mindre än fem meter över havsnivån. Den högsta platsen ligger 18 meter över havet. Sprickzonerna (R-strukturerna) är mycket mer konduktiva än bergmassan /C1-4/.

Underlag för bedömning av de i avsnitt 6.2.2 uppsatta önskemålen presenteras nedan. Sammanställningen baseras på information från /C1-7, C1-9b, C1-9c, C1-9d/.

Tabell C-5. Olkiluoto. Hydraulisk konduktivitet i bergmassan och zoners transmissivitet i djupintervallet 400–700 meter (vertikalt djup under borrhålsmyningen) samt hydrauliska gradient på förvarsdjup.

Hydraulisk konduktivitet i bergmassan	
Antal hål som passerar det vertikala djupet 400 m	19
Totala antalet 20-meterssektioner	161
Antalet 20-meterssektioner där den hydrauliska konduktiviteten är mindre än 10 ⁻⁸ m/s	161
Andelen sektioner (%) som har en hydraulisk konduktivitet som är mindre än 10 ⁻⁸ m/s	100
Zoners transmissivitet	
Borrhåls längd i aktuellt djupintervall (m)	cirka 3 900
Antal sprickzoner som skär hål i aktuellt djupintervall	40
Antal sprickzoner som skär hål i aktuellt djupintervall och som har en transmissivitet större än 10 ⁻⁵ m ² /s	2
Antalet sprickzoner (T>10 ⁻⁵ m ² /s) per 100 m borrhål	cirka 0,05

Hydraulisk gradient på försvarsdjup

Skattat värde på maximal medelgradient på försvarsdjup	$\leq 0,5 \%$	Skattad gradient för ytlig grundvattenyta är 1 %, se bilaga 2. Numeriskt beräknad gradient är 0,6–0,8 % /C1-9b/.
--	---------------	---

C.2.4 Transportegenskaper

Tabell C-6. Transportmotstånd och formationsfaktor för berggrunden vid Olkiluoto.

Transportmotstånd (F-parametern)	Baserat på resultat från hydrotester har transportmotståndet F beräknats till $1,2 \times 10^6$ – $2,2 \times 10^6$ år/m (/C1-4/, tabell 11-18)	För de finska områdena har värden för transportmotstånd enligt TILA-99 multiplicerats med en faktor 2 så att de kan jämföras med F-parametern som presenterats för de svenska områdena (se /C1-4/, sid 116). För säkerhetsanalysen TILA-99 valdes värdet 4×10^4 år/m för transportmotståndet (95 % av beräknade värden bedömdes vara större än detta värde).
Formationsfaktor	Beräknade formationsfaktorer ligger mellan $4,1 \times 10^{-5}$ och $8,4 \times 10^{-4}$	Intervallt omfattar 34 mätningar gjorda på gnejs och pegmatit med en lösning med olika koncentrationer och ett spårämne /C1-6/.

C.2.5 Bergets mekaniska och termiska egenskaper

Bergspänningsmätningar har gjorts i flera skeden av undersökningarna vid Olkiluoto /C1-7/. Totalt har mätningar gjorts i fyra borrhål ner till som mest cirka 800 meters djup. Hydraulisk spräckning användes i tre borrhål, i två av dessa med begränsad framgång. Överborrning har med gott resultat använts i ett hål. Sammantaget visar resultaten på spänningsbelopp i paritet med genomsnittliga trender för urbergsområden i Skandinavien. För riktningarna konstaterades en betydande spridning mellan olika borrhål och mätpunkter, till stor del troligen hänförligt till mättekniska osäkerheter.

Mekaniska standardparametrar (deformationsegenskaper, hållfasthet vid tryck- och dragbelastning) har bestämts dels genom enklare tester i fält, dels genom laboratorietester på ett betydande antal kärnprover från olika borrhål. Proverna togs från huvudbergarterna i området, flertalet dock från den glimmergnejs som dominerar. Hållfasthetsparametrarna uppvisade förhållandevis låga värden och stor spridning, vilket tolkades spegla en betydande heterogenitet hos berget, framförallt för den dominerande gnejsen.

Temperaturmätningar i borrhål gav värden på 12–13 °C på 500 meters djup. Termiska egenskaper (konduktivitet, diffusivitet, kapacitivitet samt termisk längdutvidningskoefficient) har bestämts på ett fåtal prover från fyra olika borrhål. Överlag var värdena normala med hänsyn till bergarternas sammansättning. Medelvärdena för den termiska konduktiviteten var 2,7 W/(m·K) för glimmergnejs och tonalit, 4,2 W/(m·K) för granit.

C.2.6 Säkerhetsanalys

I TILA-99 studerades den långsiktiga säkerheten för ett slutförvar enligt KBS-3-metoden lokaliserat till fyra finska kandidatplatser, bland annat Olkiluoto. Den övergripande slutsatsen i TILA-99 är att alla fyra platserna med marginal uppfyller regeringens och myndigheternas kriterier för säker slutförvaring av använt kärnbränsle. Se vidare avsnitt 5.6 och 7.2 i huvudtexten.

C.3 Kivetty

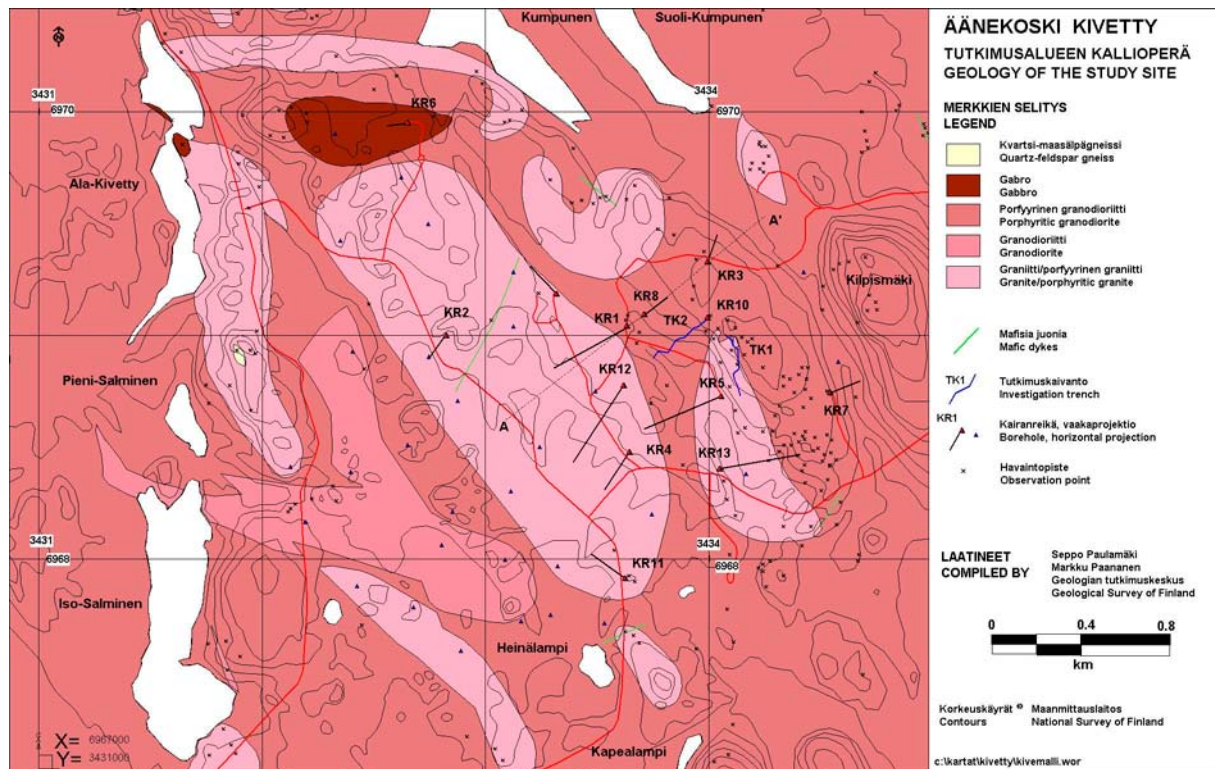
C.3.1 Geologi med mera

Se kapitel 3 (avsnitt 3.3.3) och figur C-3.

C.3.2 Hydrogeokemi

Från Kivetty finns hydrogeokemiska analyser från 31 sektioner fördelade på åtta borrhål. Av dessa är det sex prover som representerar djup mellan 400 och 700 meter (jämför tabell C-7). Beskrivning av provtagning och analysresultat samt utvärdering finns redovisat i /C1-11, C1-12/ och hela platsundersökningen är sammanfattad i /C1-10/. Alla vattenprover som redovisas i tabellen nedan kommer från djupintervallet 392–535 meter. De är lågsalina och fyra stycken har ett relativt högt tritium-innehåll. Detta gäller till exempel de grundvatten som provtagits i de tre sektionerna i borrhål KI-KKR5. Dessa har homogeniserats via en närliggande subvertikal sprickzon (R8) som sannolikt har fört ner ytliga vatten till stort djup. Detta har sannolikt också varit fallet i flera av de andra provtagna sektionerna och belyser ytterligare en gång problemet med provtagning i inströmningsområden i synnerhet i närheten av vertikala sprickzoner.

De vatten som provtagits är av meteoriskt ursprung, men det finns en antydning till att vatten med lägre $\delta^{18}\text{O}$ ($< -13,0$ ‰) har ett något lägre ^{14}C -innehåll. Detta kan tolkas som inslag av en glacial komponent. Det finns dock stor osäkerhet i kolisotop-värdena (både ^{14}C och $\delta^{13}\text{C}$) på grund av kontamination från ytan. Endast två prover visar låga tritiumvärden. Eh-värdena varierar men närvaron av sulfid och Fe^{2+} tyder på att vattnen är i huvudsak reducerande och förmodligen är det $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ som kontrollerar Eh. DOC-värdena är höga, vilket kan vara ett resultat av ytvattenkontamination. Kiselhalterna är höga (12,2–14,9 mg/L) på grund av silkathydrolys.



Figur C-3. Berggrundsgeologisk karta Kivetty /C1-10/.

Tabell C-7. Grundvattenkemi från borrhålen KI-KKR1, KI-KKR4 och KI-KKR5 i Kivetty.

Borrhål	Djup (m)	Na (mg/L)	HCO ₃ (mg/L)	Cl (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	Tr (TU)	δ ¹⁸ O ‰ SMOW	pH	Eh (mV)	TDS (mg/L)	Ca+Mg (mg/L)	TOC (mg/L)	S ₂ (mg/L)
KI-KKR1/T5	392,50	40	81,8	22,2	6,8	0,8	-13,7	8,0	-30	179	12	7,0	0,03
KI-KKR1/T4	535,00	18	86	2,05	1,15	0,8	-12,6	8,1	-	120	13	3,0	0,01
KI-KKR4/T1	465,00	9,6	90,9	1,4	2,3	4,6	-12,7	8,3	-35	120	20	6,1	0,03
KI-KKR5/T3	410,00	11	70,2	4,68	2,78	14	-13	-	-	99	14	-	-
KI-KKR5/T2	435,00	12	89,1	4,3	1,58	11,8	-12,7	8,3	-	124	21	5,9	0,01
KI-KKR5/T1	477,50	12	80,5	2,1	1,2	8,1	-12,6	8,0	+30	106	14	4,8	0,01

C.3.3 Hydrogeologi

Topografin i Kivettyområdet är relativt flack. Höjd- och lågpartier undulerer mellan 10–20 meter, förutom i den östra delen där topografin är mer varierande med höjdskillnader upp till 40 meter. Berggrunden är till största delen täckt med lösa jordarter. De hydrauliska förhållandena i de översta 150–200 metrarna skiljer sig från förhållandena på större djup. De ytligt belägna sprickorna är mer frekventa och transmissiviteten mycket högre. Vanligtvis är sådana sprickor öppna, men i Kivetty hittades bara fyllda sprickor /C1-4/.

Underlag för bedömning av de i avsnitt 6.2.2 uppsatta önskemålen presenteras nedan. Sammanställningen baseras på information från /C1-9c, C1-10, C1-12b/.

Tabell C-8. Kivetty. Hydraulisk konduktivitet i bergmassan och zoners transmissivitet i djupintervallet 400–700 meter (vertikalt djup under borrhålsmyningen) samt hydrauliska gradient på förvarsdjup.

Hydraulisk konduktivitet i bergmassan	
Antal hål som passerar det vertikala djupet 400 m	9
Totala antalet 20-meterssektioner	84
Antalet 20-meterssektioner där den hydrauliska konduktiviteten är mindre än 10 ⁻⁸ m/s	81
Andelen sektioner (%) som har en hydraulisk konduktivitet som är mindre än 10 ⁻⁸ m/s	96
Nedre mätgräns för tester i 20-meterssektioner var satt till 1×10 ⁻¹⁰ m/s.	
Zoners transmissivitet	
Borrhålslängd i aktuellt djupintervall (m)	cirka 2 000
Antal sprickzoner som skär hål i aktuellt djupintervall	6
Antal sprickzoner som skär hål i aktuellt djupintervall och som har en transmissivitet större än 10 ⁻⁵ m ² /s	1
Antalet sprickzoner (T>10 ⁻⁵ m ² /s) per 100 m borrhål	cirka 0,05

Hydraulisk gradient på förvarsdjup

Skattat värde på maximal medelgradient på förvarsdjup	cirka 1,5 %	Skattad gradient för ytlig grundvattenyta är cirka 3 %, se bilaga 2. Numeriskt beräknad gradient är 1,7 % /C1-12b/.
---	-------------	--

C.3.4 Transportegenskaper

Tabell C-9. Transportmotstånd och formationsfaktor för berggrunden vid Kivetty.

Transportmotstånd (F-parametern)	Baserat på resultat från hydrotester har transportmotståndet F beräknats till $2,6 \times 10^5$ – $1,7 \times 10^6$ år/m (/C1-4/, tabell 11-18)	För de finska områdena har värden för transportmotstånd enligt TILA-99 multiplicerats med en faktor 2 så att de kan jämföras med F-parametern som presenterats för de svenska områdena (se /C1-4/, sid 116). För säkerhetsanalysen TILA-99 valdes värdet 4×10^4 år/m för transportmotståndet (95 % av beräknade värden bedömdes vara större än detta värde).
Formationsfaktor	Beräknade formationsfaktorer ligger mellan $5,8 \times 10^{-5}$ och $2,5 \times 10^{-4}$	Intervallet omfattar 25 st mätningar gjorda på granit med en lösning med olika koncentrationer och ett spårämne /C1-6/.

C.3.5 Bergets mekaniska och termiska egenskaper

Bergspänningsmätningar har gjorts i flera skeden av undersökningarna vid Kivetty, i ungefär samma omfattning som vid Olkiluoto /C1-10/. Totalt har mätningar utförts i fyra borrhål ner till som mest cirka 800 meters djup. Hydraulisk spräckning har använts i tre hål och 3D-överborrning i ett. Resultaten ligger helt i linje med genomsnittliga trender för urbergsområden i Skandinavien. Det gäller beloppen och i huvudsak även riktningarna.

Mekaniska standardparametrar (deformationsegenskaper, hållfasthet vid tryck- och dragbelastning) har bestämts dels genom enklare tester i fält, dels genom laborietester på ett betydande antal kärnprover från olika borrhål och bergarter. Värdena för deformationsegenskaperna är genomgående normala för bergarterna ifråga. Det samma gäller till stora delar hållfasthetsvärdena, med visst undantag för en typ av granodiorit som uppvisar relativt låg hållfasthet.

Temperaturmätningar i borrhål gav värden på 9–10 °C på 500 meters djup. Termiska egenskaper (konduktivitet, diffusivitet, kapacitivitet samt termisk längdutvidningskoefficient) har i varierande utsträckning bestämts med laboriemetoder på prover från sex olika borrhål. För bergarter med granitisk-granodioritisk sammansättning varierade värdena för den termiska konduktiviteten (medelvärden för respektive bergart, varierande antal prover) i intervallet 2,5–3,6 W/(m·K), vilket är normalt för dessa bergarter. Ett enstaka prov av gabbro gav som väntat ett väsentligt lägre värde. För övriga parametrar är dataunderlaget mera begränsat, men uppvisar inga avvikelser från vad som kan förväntas.

C.3.6 Säkerhetsanalys

I TILA-99 studerades den långsiktiga säkerheten för ett slutförvar enligt KBS-3-metoden lokaliserat till fyra finska kandidatplatser, bland annat Kivetty. Den övergripande slutsatsen i TILA-99 är att alla fyra platserna med marginal uppfyller regeringens och myndigheternas kriterier för säker slutförvaring av använt kärnbränsle. Se vidare avsnitt 5.6 och 7.2 i huvudtexten.

C.4 Romuvaara

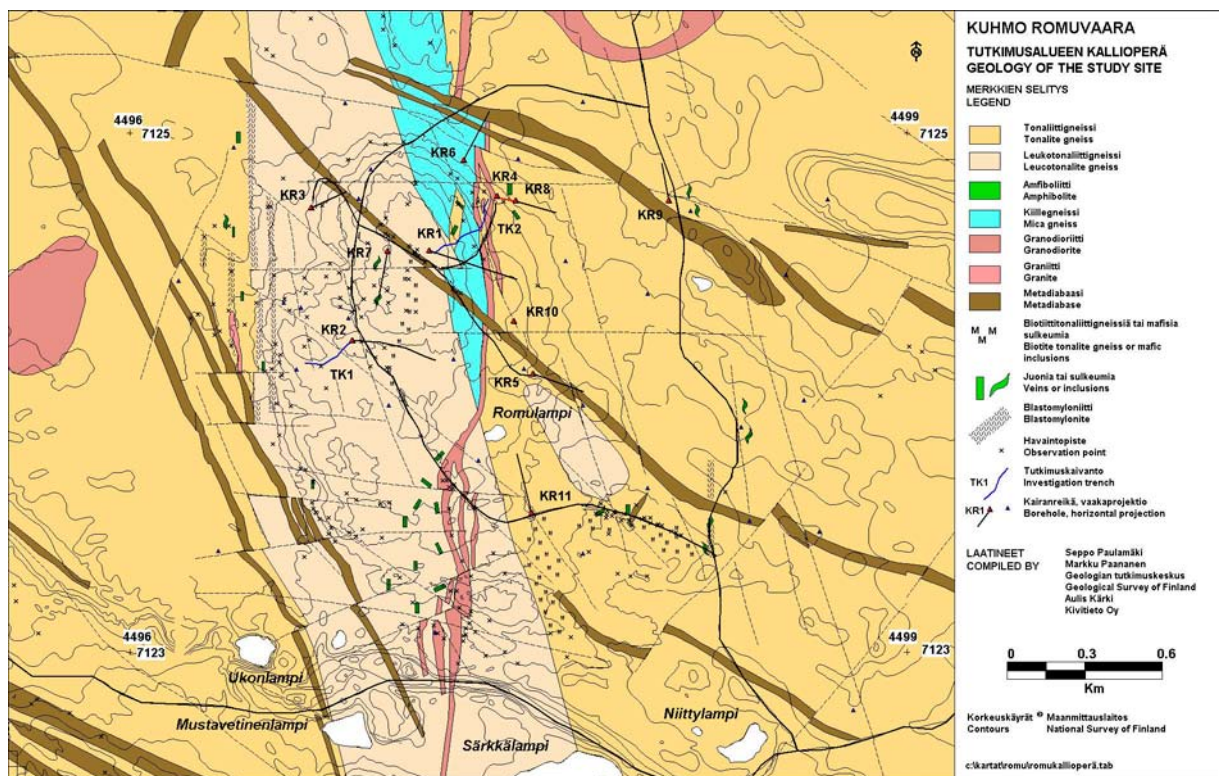
C.4.1 Geologi med mera

Se kapitel 3 (avsnitt 3.3.4) och figur C-4.

C.4.2 Hydrogeokemi

Från Romuvaara finns hydrokemiska data från 17 sektioner fördelade på nio olika borrhål. Av dessa är det fyra prover som representerar djup mellan 400 och 700 meter (jämför tabell C-10). Beskrivning av provtagning och analysresultat samt utvärdering finns redovisat i /C1-14/, och hela platsundersökningen är sammanfattad i /C1-13/. Alla de fyra provtagna vattnen är från djupintervallet 377–480 meter. De är lågsalina och samtliga har ett detekterbart tritiuminnehåll även om det är lågt i två av sektionerna (1,4 och 3,2 TU). Det är sannolikt att det grundvatten som provtagits har homogeniserats längs sprickzonerna som sannolikt har fört ner ytliga vatten till stort djup.

Det analyserade vattnen är av meteoriskt ursprung, med $\delta^{18}\text{O}$ runt -13‰ . Det finns stor osäkerhet i informationen från kolisotop-värdena (både ^{14}C och $\delta^{13}\text{C}$) på grund av kontamination från ytan. Eh-värdena varierar men närvaron av sulfid i två av de provtagna sektionerna indikerar i huvudsak reducerande förhållanden. DOC-värdena är höga vilket kan vara ett resultat av ytvattenkontamination. Kiselhalterna är höga (8,8–13,6 mg/L) på grund av silkathydrolys.



Figur C-4. Berggrundsgeologisk karta Romuvaara /C1-13/.

Tabell C-10. Grundvattenkemi från borrhålen RO-KKR2, RO-KKR3, RO-KKR4 och RO-KKR5 i Romuvaara.

Borrhål	Djup (m)	Na (mg/L)	HCO ₃ (mg/L)	Cl (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	Tr (TU)	δ ¹⁸ O ‰ SMOW	pH	Eh (mV)	TDS (mg/L)	Ca+Mg (mg/L)	TOC (mg/L)	S ₂ (mg/L)
RO-KKR2/ T2	395,00	3,5	94	4,5	3	25,4	-13,1	7,7	-	130	27	10,7	<0,05
RO-KKR3/ T1	457,50	45	61	109	1,21	1,4	-13	8,85	-170	252	37	14,4	0,6
RO-KKR4/ T3	377,50	36	67,1	23	1,6	10,5	-13,2	8,3	+200	132	5	5,6	0,16
RO-KKR5/ T1	480,00	37	97,1	6	5,1	3,2	-13,4	9,6	-	148	3	10,7	<0,03

C.4.3 Hydrogeologi

Området Romuvaara har en utjämnad topografi där de relativa höjdförändringarna varierar mellan 10–30 meter. Området har mycket liten blottning av berg. Majoriteten av sprickzonerna (R-strukturerna¹¹) är hydrauliskt mer konduktiva än bergmassan /C1-4/.

Underlag för bedömning av de i avsnitt 6.2.2 uppsatta önskemålen presenteras nedan. Sammanställningen baseras på information från /C1-9c, C1-13, C1-14b/.

Tabell C-11. Romuvaara. Hydraulisk konduktivitet i bergmassan och zoners transmissivitet i djupintervallet 400–700 meter (vertikalt djup under borrhålsmyningen) samt hydrauliska gradient på försvarsdjup.

Hydraulisk konduktivitet i bergmassan		
Antal hål som passerar det vertikala djupet 400 m	5	
Totala antalet 20-meterssektioner	35	
Antalet 25-meterssektioner där den hydrauliska konduktiviteten är mindre än 10 ⁻⁸ m/s	35	Nedre mätgräns för tester i 25-meterssektioner var 1×10 ⁻¹⁰ m/s.
Andelen sektioner (%) som har en hydraulisk konduktivitet som är mindre än 10 ⁻⁸ m/s	100	
Zoners transmissivitet		
Borrhåls längd i aktuellt djupintervall (m)	cirka 800	
Antal sprickzoner som skär hål i avsnittet 400–700 m	8	
Antal sprickzoner som skär hål i avsnittet 400–700 m och som har en transmissivitet större än 10 ⁻⁵ m ² /s	0	
Antalet sprickzoner (T>10 ⁻⁵ m ² /s) per 100 m borrhål	0	
Hydraulisk gradient på försvarsdjup		
Skattat värde på maximal medelgradient på försvarsdjup	cirka 2 %	Skattad gradient för ytlig grundvattenyta är 3,5–4 %, se bilaga 2. Numeriskt beräknad gradient är 1,8 % /C1-14b/.

¹¹ R-strukturer, se bilaga 3.

C.4.4 Transportegenskaper

Tabell C-12. Transportmotstånd och formotionsfaktor för berggrunden vid Romuvaara.

Transportmotstånd (F-parametern)	Baserat på resultat från hydrotester har transportmotståndet F beräknats till $7,2 \times 10^4$ – $1,1 \times 10^6$ år/m (/C1-4/, tabell 11-18)	För de finska områdena har värden för transportmotstånd enligt TILA-99 multiplicerats med en faktor 2 så att de kan jämföras med F-parametern som presenterats för de svenska områdena (se /C1-4/, sid 116). För säkerhetsanalysen TILA-99 valdes värdet 4×10^4 år/m för transportmotståndet (95 % av beräknade värden bedömdes vara större än detta värde).
Formotionsfaktor	Uppgifter saknas	Diffusivitetvärden från Romuvaara finns presenterade i /C1-15/.

C.4.5 Bergets mekaniska och termiska egenskaper

Bergspänningsmätningar har gjorts i flera skeden av undersökningarna vid Romuvaara, i ungefär samma omfattning som vid Olkiluoto och Kivetty /C1-13/. Totalt har mätningar utförts i fyra borrhål ner till som mest cirka 800 meters djup. Hydraulisk spräckning har använts i fyra hål och 3D-överborrning i ett. Överborrningarna gav goda resultat, medan testerna med hydraulisk spräckning till delar inte medgav fullständig utvärdering, till följd av att sprickor genererades i horisontell istället för vertikal riktning. Sammantaget ligger resultaten från mätningarna väl i linje med genomsnittliga trender för urbergsområden i Skandinavien. Det gäller både belopp och riktningar.

Mekaniska standardparametrar (deformationsegenskaper, hållfasthet vid tryck- och dragbelastning) har bestämts dels genom enklare tester i fält, dels genom laborietester på ett betydande antal kärnprover från olika borrhål och bergarter i området. Beträktade som medelvärden är resultaten normala, men variationerna är stora. Detta är inte förvånande mot bakgrund av den betydande litologiska heterogenitet som utmärker platsen.

Temperaturmätningar i borrhål visade på en medeltemperatur på cirka 7 °C på 500 meters djup. Termiska egenskaper (konduktivitet, diffusivitet, kapacitivitet samt termisk längdutvidningskoefficient) har i varierande utsträckning bestämts med laboriemetoder på prover från fyra olika borrhål. Värdena är genomgående normala för bergarterna ifråga. Variationen är betydande eftersom bergarterna representerar en stor variation i mineralogisk sammansättning. Resultaten för den termiska konduktiviteten spänner över värden från 2,4 W/(m·K) för en glimmergnejs till 5,6 W/(m·K) för en mylonit.

C.4.6 Säkerhetsanalys

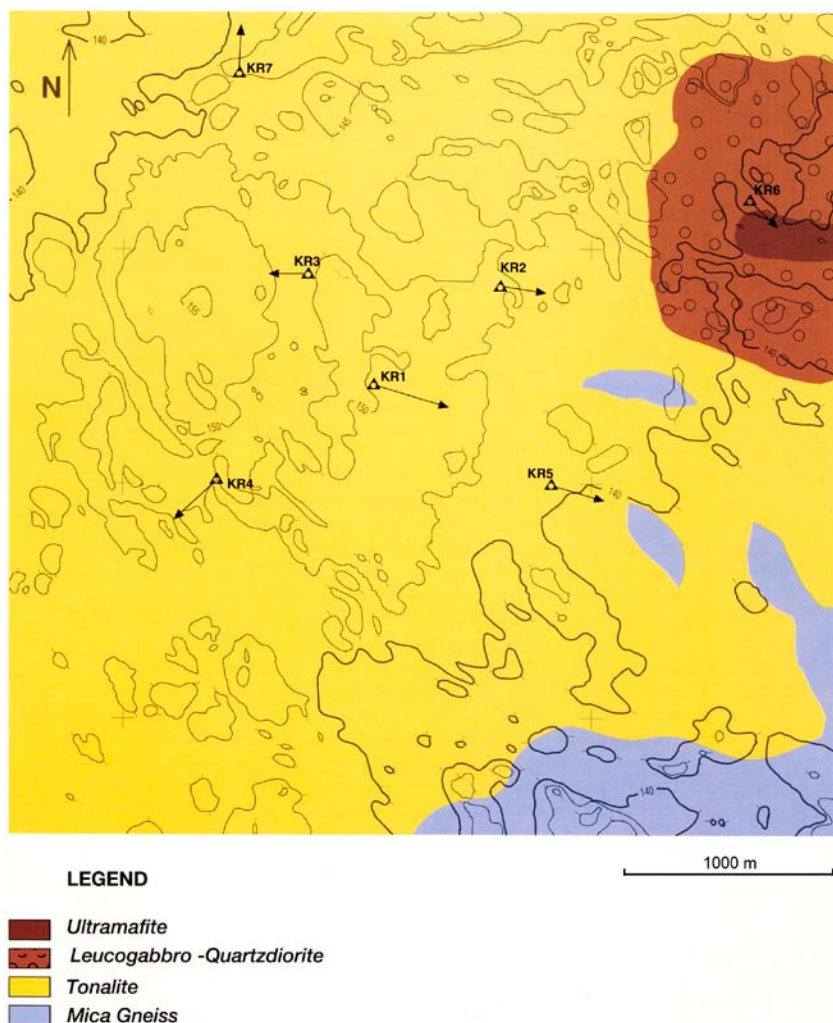
I TILA-99 studerades den långsiktiga säkerheten för ett slutförvar enligt KBS-3-metoden lokaliserat till fyra finska kandidatplatser, bland annat Romuvaara. Den övergripande slutsatsen i TILA-99 är att alla fyra platserna med marginal uppfyller regeringens och myndigheternas kriterier för säker slutförvaring av använt kärnbränsle. Se vidare avsnitt 5.6 och 7.2 i huvudtexten.

C.5 Syry och Veitsivaara

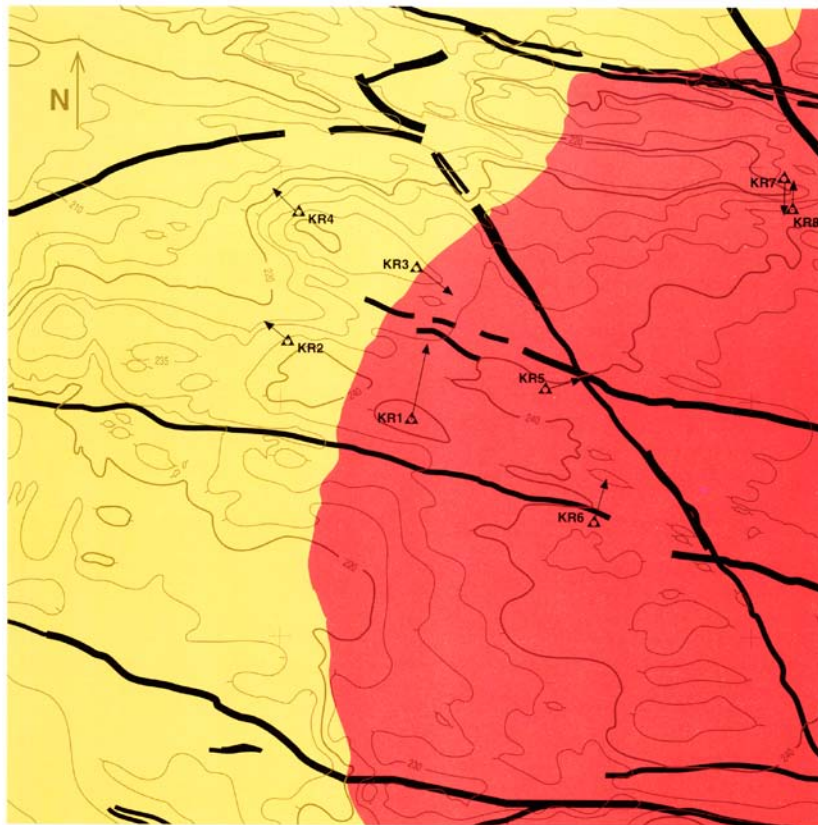
Syry i Sievi kommun och Veitsivaara i Hyrynsalmi kommun ingick bland de fem områden som våren 1987 valdes för preliminära platsundersökningar. Resultatet av de preliminära platsundersökningarna avrapporterades 1992 /C1-16/ och resulterade i att undersökningarna vid Syry och Veitsivaara avslutades och detaljerade platsundersökningar och MKB-förfarande genomfördes inom de ovan redovisade områdena, Kivetty, Romuvaara, Olkiluoto samt Hästholmen.

C.5.1 Geologi med mera

Se kapitel 3 (avsnitt 3.3.5 och 3.3.6) samt figur C-5 och figur C-6.



Figur C-5. Berggrundsgelogisk karta för undersökningsområde Syry /C1-16/.



LEGEND

- Tonalite Gneiss
- Granite
- Metadiabase

Figur C-6. Berggrundgeologisk karta för undersökningsområde Veitsivaara /C1-16/.

Bearbetning och redovisning av data avseende hydrogeologi och transportegenskaper

I kapitel 7 sammanfattas gjorda bedömningar av undersökningsresultat från referensområdena. Bedömningarna har sin utgångspunkt i de krav och önskemål som redovisas i kapitel 6. För vissa parametrar som redovisas i bilaga 1, har bearbetning och nya beräkningar varit nödvändiga för att jämföra parametervärden. Tillvägagångssättet redovisas nedan.

För att bedöma om ett referensområde uppfyller eller inte uppfyller ett önskemål har det för hydro- och transportparametrar också varit nödvändigt att ta fram klassgränser. Dessa redovisas i tabell B2-1 nedan.

Hydraulisk konduktivitet i bergmassan

Vid jämförelserna av bergmassans hydrauliska konduktivitet har enbart data från 400–700 meters djup (vertikalt djup under borrhålsmyningen) tagits med. Data ska representera längder som ungefär motsvarar deponeringshålens längd (= djup) inklusive den närbelägna bergvolymen. Om rapporterade data är mätta med sektionlängder i intervallet 20–30 meter så används rapporterade data. Vid mätningar i kortare sektionlängder så har transmissiviteterna från dessa mätningar summerats så att de representerar längder på 20–30 meter, varefter hydrauliska konduktiviteter beräknades för aktuella längdintervall. I anslutning till zoner har beräknade värden tagits med även om den beräknade sektionlängden blir så kort som 10 meter. Vid summering av tester där mätresultatet angivits som ”nedre mätgräns” så används nedre mätgränsen vid summeringen. Då klassgränsen för ”godkända sektioner” är satt så högt som 1×10^{-8} m/s (se tabell B2-1 nedan) så påverkas inte resultatet av att nedre mätgränsen används vid summering av mätningar gjorda i korta sektioner.

Då det finns en viss risk att vatten kan läcka runt manschetter, så kan beräknade mätvärden baserade på mätningar i korta sektioner och som, enligt föregående stycke, räknats om till långa sektioner vara högre än om samma borrhålsavschnitt skulle ha mätts i form av långa sektioner.

I tidigare gjorda avrapporteringar från några av områdena har den hydrauliska konduktiviteten för bergmassan uppdelats i undergrupper (för Gideå och Fjällveden i två bergarter, för Finnsjön i två områden). I denna rapport har ingen hänsyn tagits till dessa indelningar i undergrupper, utan samtliga värden för bergmassan har medtagits. Anledningen till att detta är att det är svårt att utforma ett förvar i enbart den mest gynnsamma bergarten om bergmassan utgör en komplex blandning av olika bergarter. I denna studie har endast medtagits borrhål borrade från markytan.

Transmissivitet i deformationszoner

I bilaga 1 redovisas; antal hål, totala antalet zoner, samt antalet zoner med en transmissivitet större än 10^{-5} m²/s, som påträffats i hål i djupintervallet 400–700 meter (vertikalt djup under borrhålsmyningen). Vanligtvis har informationen tagits direkt från tidigare gjorda avrapporteringar. Endast deformationszoner som tilldelats en transmissivitet samt någon typ av beteckning i gjorda avrapporteringar har beaktats och tagits med i denna rapport. Bland dessa finns zoner som klassats som troliga. För Äspö har dock viss bearbetning gjorts av ursprungsdata. I vissa områden har det i rapporteringarna inte gjorts någon uppdelning mellan zoner och bergmassa. Detta kommenteras i anslutning till redovisningen i bilaga 1. Samma zon kan räknas två gånger om den passerar av två hål. I bilaga 1 redovisas för varje område antalet deformationszoner med en transmissivitet större än 10^{-5} m²/s per 100 meter borrhål, i djupintervallet 400 till 700 meter. Den totala borrhåls längden i djupintervallet har beräknats utgående från de borrhåls längder som hydraultestats med dubbelmanschettmätningar.

Hydraulisk gradient

I denna rapport har den maximala hydrauliska gradienten beräknats på en något utslätad yttopografi. Grundvattenytans gradient har skattats utgående från markytans höjd över havet för de högsta respektive de lägsta partierna inom området. En förnuftsmässig kompensering har gjorts utgående från gissade avstånd från markytan till grundvattenytan i de lägsta och högsta partierna inom området. För att anpassa gradienten till försvarsdjup så har den ytliga gradienten dividerats med 2. Detta förfarande grundas på jämförelse mellan numeriskt beräknade gradienter på försvarsdjup /B2-1a, B2-1b, B2-1c, B2-1d/ och den ytliga gradienten grundad på markens topografi i de finska underökningsområdena, se bilaga 1, avsnitten C.1–C.4. Motsvarande värden från svenska områden finns bara för områden med små gradienter och där är vanligen kvoten mellan den numeriskt beräknade gradienten på försvarsdjup och gradienten beräknad utifrån markens topografi större, se bilaga 1, områdena Äspö, Finnsjön och Gideå.

Darcyhastighet

Denna parameter har inte tagits med i rapporten på grund av att det finns mycket få bestämningar av darcyhastighet (bestäms bl a med specialutrustning, utspädningssond) och att darcyhastigheten i ett område knappast överskrider 0,01 m/år om den hydrauliska konduktiviteten i 30-metersskala understiger 10^{-8} m/s. Bergmassans hydrauliska konduktivitet i 20–30-meterssektioner finns redan med bland parametrar som nämnts ovan och klassgränsen för bergmassan är satt till 10^{-8} m/s.

Transportmotstånd

Värden på transportmotstånd (F-parametern) redovisas endast för Gideå, Finnsjön och Äspö, se bilaga 1. Värdena är hämtade från SR 97 och baseras på resultatet av grundvattenflödesberäkningar kombinerade med uppskattning av flödesvättan per volym berg. I rapporten /B2-2/ redovisas värden på transportmotstånd för 5:e percentilen och median av flödesvägarna (dvs 95 % respektive 50 % av fördelningen ligger över dessa värden). När man för det uppsatta önskemålet har använt begreppet ”en stor del av alla flödesvägar” så har detta i denna rapport tolkats som att 95 % av flödesvägarna ska ha ett F-värde som större än 10^4 år/m.

Motsvarande värden för de finska områdena Hästholmen, Olkiluoto, Kivetty och Romuvaara redovisas i bilaga 1.

Matrisdiffusivitet och matrisporositet

Utgående från diskussioner¹² med ämnessakkunniga angående vilken parameter som bäst representerar bergets diffusionsegenskaper så togs ett beslut att i denna rapport ändra kriteriet från matrisdiffusivitet till formationsfaktor. Formationsfaktorn definieras som förhållandet mellan effektiva diffusiviteten på berget och diffusiviteten i den fria lösningen (i berget: formationsvattnet). Utgående från skrivningar i SR 97 så bör inte formationsfaktorn vara lägre än cirka 5×10^{-7} . De värden som redovisas i bilaga 1 utgör laboratoriemätningar på olika typer av bergarter och med olika typer vatten, samt olika typer av spårämnen. I anslutning till presentationen av värdena görs vissa kommentarer angående bergarter med mera.

I bilaga 5 redovisas vilka typer av mätningar som utfördes i referensområdena och under platsundersökningarna för att beräkna formationsfaktorer.

¹² Vid diskussionerna deltog representanter för området flöde och transport och sakkunniga om diffusionsmätningar och säkerhetsanalys (Peter Andersson, Erik Gustavsson, Kristina Skagius och Johan Andersson).

Tabell B2-1. Klassgränser för bedömning av om ett referensområde uppfyller eller inte uppfyller vissa av önskemålen enligt avsnitt 6.2.

Aktuellt önskemål	Önskemålet uppfyllt	Önskemålet med tvekan uppfyllt	Önskemålet inte uppfyllt
Det är en fördel om en stor del av bergmassan i deponeringsområdet har en vattengenomsläpplighet (K) som är mindre än 10^{-8} m/s.	Om fler än 70 % av mätsektionerna har en hydraulisk konduktivitet som är mindre än eller lika med 1×10^{-8} m/s.	Om andelen mätsektioner som har en hydraulisk konduktivitet som är mindre än eller lika med 1×10^{-8} m/s ligger mellan 50 % och 70 %.	Om mindre än 50 % av mätsektionerna har en hydraulisk konduktivitet som är mindre än eller lika med 1×10^{-8} m/s.
Sprickzoner som behöver passeras under bygge bör ha så låg vattengenomsläpplighet att passage kan ske utan stora problem vilket innebär att zoner bör ha en transmissivitet (T) som är lägre än 10^{-5} m ² /s och att de dessutom inte är byggnadstekniskt besvärliga.	Om antalet sprickzoner med en transmissivitet större än 10^{-5} m ² /s är mindre än eller lika med 0,5 per 100 meter borrhål.	Om antalet sprickzoner med en transmissivitet större än 10^{-5} m ² /s är fler än 0,5 men mindre än 2 per 100 meter borrhål.	Om antalet sprickzoner med en transmissivitet större än 10^{-5} m ² /s är fler än 2 per 100 meter borrhål.
Det är en fördel om den lokala hydrauliska gradienten är lägre än 1 % på förvarsnivå, men det är ingen ytterligare fördel med ännu lägre värden på förvarsdjup.	Om gradienten är mindre än eller lika med 1 %.	Om gradienten är större än 1 % men mindre eller lika med 4 %.	Om gradienten är större än 4 %.
Det är ett önskemål att det sker en väsentlig fördröjning av viktiga radionuklider i geosfären. Ett kvantitativt önskemål kan uttryckas i form av transportmotståndet (F-parametern) där darcy-hastighet, flödesfördelning och våta ytan per volym berg (eller motsvarande parametrar) är sådana att en stor del av alla strömningsvägar har ett transportmotstånd F är större än 10^4 år/m.	Om 95 % eller fler av flödesvägarna har $F > 10^4$ år/m.	Om antalet flödesvägar som har $F > 10^4$ år/m är 75 % eller fler, men mindre än 95 %.	Om mindre än 75 % flödesvägarna har $F > 10^4$ år/m.
Utgående från skrivningar i SR 97 så bör formationsfaktorn inte vara lägre än cirka 5×10^{-7} .	Om formationsfaktorn är större än 5×10^{-7} .	Om formationsfaktorn ligger mellan 1×10^{-8} och 5×10^{-7} .	Om formationsfaktorn är mindre än 1×10^{-8} .

Definition av begreppen deformationszon och R-strukturer¹³

Termen ”**deformationszon**” används som övergripande beteckning för en i huvudsak tvådimensionell struktur, vars bredd är relativt liten i förhållande till dess längd, och i vilken deformationen har koncentrerats eller kan komma att koncentreras i aktiva förkastningar /B3-3/.

En deformationszon kan vara *spröd*, *plastisk* eller *sammansatt*. En sammansatt zon visar vanligen tecken på både spröd och plastisk deformation. En ursprungligen plastisk zon har ofta reaktiverats genom spröd deformation.

Termen ”**sprickzon**” kan användas för zoner med övergripande *spröd deformation*. På motsvarande sätt kan termen ”**plastisk skjuvzon**” användas för zoner med övervägande *plastisk deformation*.

I Äspöprojektet användes följande definition för **spröda strukturer** under förundersökningar och tunneldokumentation /B3-4/. Inom parentes anges som jämförelse den terminologi som fastställts för platsundersökningarna enligt /B3-5/.

Större (regional) sprickzon

Denna term används för strukturer, mer än fem meter breda och längre än cirka 1 000 meter, med en sprickfrekvens som var minst två gånger så hög som för omgivande berggrund. I definitionen inkluderades mineralogisk omvandling och kinematiska indikationer (”regional sprickzon” och ”lokal större sprickzon”, enligt /B3-5/).

Mindre sprickzon

Termen mindre sprickzon betecknade strukturer mindre än fem meter breda med en längd av cirka 10–1 000 meter (”lokal mindre sprickzon”, enligt /B3-5/).

Enskild öppen spricka

Uthålliga cirka 10–100 meter långa, mindre än 0,1 meter breda, ofta vattenförande sprickor (”lokal mindre sprickzon”, enligt /B3-5/).

Sprickor

Mindre än 10 meter långa och mindre än 0,1 meter breda sprickor vilka beskrivs statistiskt (”sprickor”, enligt /B3-5/).

Posivas kriterier för deformationszoner (R-strukturer)

Posiva tillämpar följande kriterier för deformationszoner: Huvudkriteriet för en deformationszon är att minst tio sprickor per meter per två meters borrhåslängd har registerats i borrhprotokollet. Deformationszonen börjar och slutar (utsträckningen i längsled) där sprickfrekvensen minskat till sju sprickor per meter på en sträcka av minst två meter. Sprickklass bestäms enligt finsk ingenjörsgelogisk klassificering, samma klassificering som i borrhprotokoll. Klass Ri III motsvarar sprickzon (fracture zone) och klasserna Ri IV–Ri V motsvarar krosszon (crushed zone). Ett nytt kriterium är att alla karterade avsnitt med klasserna Ri IV och Ri V modelleras oavsett avsnittens längd. Det nya kriteriet tillämpades inte i bergmodellerna för Romuvaara, Kivetty och Hästholmen.

¹³ Källor: /B3-1, B3-2/.

Bedömning av data från hydrogeokemiska undersökningar

Bedömningen av hydrokemiska förhållanden baserar sig både på befintliga uppmätta data i berggrunden på varje enskild plats och på idag tillgänglig kunskap om grundvattenkemin på stort djup i kristallint berg. Vid en noggrann genomgång av de hydrogeokemiska analyserna från samtliga undersökta områden har vi identifierat ett antal platser (flertalet från inlandet) där det tillgängliga analysmaterialet inte har tillräcklig kvalitet. Dessa områden är Sternö, Klipperås, Kråkemåla, Fjällveden, Svartboberget, Gideå, Kamlunge, Taavinunnanen, Kivetty och Romuvaara. För dessa platser kan man utifrån tillgängliga data, inte bedöma om uppställda krav och önskemål är uppfyllda eller ej. Bedömningarna för dessa platser har därför försetts med reservationer och en hänvisning till redovisningen av data för respektive område i bilaga 1. Men utifrån dagens kunskap om grundvattenkemin på stort djup i kristallint berg är det ändå rimligt att tro att t ex pH-värden, TDS och DOC ligger på godkända nivåer och att grundvattnet på förvarsnivå är fritt från löst syre. Men då representativa analysdata för att verifiera detta saknas, har ingen bedömning gjorts för dessa platser. Det bör också tilläggas att kravet på vattnets salthalt (< 100 g/L) betraktas som uppfyllt på samtliga platser eftersom de platser som uppvisar i huvudsak icke-representativa prover alla är dominerade av icke-salint vatten. Det får anses uteslutet att vatten med så höga salthalter som 100 g/L skulle visa sig på förvarsdjup på dessa platser.

Det kan finnas flera orsaker till att de hydrokemiska undersökningarna vid dessa områden inte har tillräckligt kvalitet. Mest troligt är att det handlar om platser:

1. som undersöktes tidigt när kunskapen om lämpliga metoder och rutiner var mycket begränsad,
2. som i huvudsak har icke salint grundvatten ned till stort djup.

För att kunna bedöma representativiteten hos proverna behövs en databas som omfattar både hydrogeologiska och hydrogeokemiska data. När de hydrogeokemiska undersökningarna startade för mer än 25 år sedan, var kunskapen om grundvattnets sammansättning på stort djup i kristallint berg oerhört begränsad. Nya metoder för provtagning och analys fick utvecklas och sedermera har även metoder för utvärdering och modellering förbättrats avsevärt. Den kunskapsuppbyggnad som har skett har varit betydande och möjligheten att bedöma kvalitén och representativiteten hos de prover som togs tidigare har därmed ökat markant.

Rent generellt är det undersökningsplatser i inlandet som uppvisar de största störningarna medan platser som ligger närmare kusten oftast har gett mer representativa prover. Detta kan enklast förklaras med att de platser som i huvudsak har icke salint vatten ned till stort djup (cirka 500 m) var bland de första som undersöktes, när erfarenheterna av provtagning följaktligen var som mest begränsade. Dessutom är det så att dessa platser, som domineras av icke-salint vatten, mycket lättare störs vid provtagningen än de som senare undersöktes och som har bräckt eller salint vatten på 500 meters djup. Baserat på hydrogeologiska kriterier (vattenbudget) visar hydrogeokemiska data från dessa tidigt undersökta platser låg grad av representativitet /B4-1/.

Parallellt med att metoder för provtagning och analys samt utvärdering och modellering har förbättrats har även kriterierna för att bedöma om ett krav eller önskemål är uppfyllt utvecklats. I takt med ökad kunskap och förbättrade metoder har kriterierna skärpts. För de första områdena som undersöktes räckte det med något enstaka godkänt prov för att kravet eller önskemålet skulle anses uppfyllt. Idag krävs betydligt mer omfattande information innan ett krav/önskemål anses vara uppfyllt.

Undersöknings- och analysmetoder

Innehåll

1	Introduktion	187
2	Undersökningar och metoder för geologisk dokumentation	188
2.1	Syfte	188
2.2	Särskilt viktiga förändringar i omfattning och undersökningsmetoder	188
2.3	Undersökningarnas omfattning och använda metoder – förr och nu	188
3	Hydrogeologiska undersökningar och undersökningsmetoder	192
3.1	Syfte	192
3.2	Särskilt viktiga förändringar i omfattning och undersökningsmetoder	193
3.3	Undersökningarnas omfattning och använda metoder – förr och nu	193
4	Hydrogeokemisk provtagning och analys	196
4.1	Syfte	196
4.2	Särskilt viktiga förändringar i omfattning samt undersöknings- och analysmetoder	196
4.3	Undersökningarnas omfattning samt undersöknings- och analysmetoder – förr och nu	197
5	Bergets transportegenskaper	203
5.1	Syfte	203
5.2	Särskilt viktiga förändringar i omfattning och undersökningsmetoder	203
5.3	Undersökningarnas omfattning och använda metoder – förr och nu	203
6	Bergets mekaniska och termiska egenskaper	206
6.1	Syfte	206
6.2	Särskilt viktiga förändringar i omfattning och undersökningsmetoder	206
6.3	Undersökningarnas omfattning och använda metoder – förr och nu	206
7	Datainsamling och datalagring	208
7.1	Datainsamling	208
7.2	Datalagring	208
8	Kvalitetssäkring	210

1 Introduktion

I denna bilaga redovisas undersökningarnas omfattning samt utvecklingen av undersöknings- och analysmetoder, mätprecision, kvalitetssäkring och datahantering från typområdesundersökningarna, via förundersökningar vid Äspö och fram till platsundersökningarna i Forsmark och Laxemar/Simpevarp. I de fall då detta är möjligt redovisas hur skillnader mellan då och nu har förändrat möjligheterna att göra tillförlitliga bedömningar och prognoser. Omfattningen av undersökningarna för vart och ett av referensområdena redovisas översiktligt i kapitel 3 i huvudtexten och mer detaljerat i bilaga 1.

Använda metoder, metodutveckling och undersökningarnas omfattning redovisas ämnesvis. I praktiken har undersökningarna utförts mer eller mindre samordnat och information från ett ämnesområde används i flera fall även inom andra ämnesområden. Samordningen av undersökningarna har utvecklats successivt och är idag väsentligt bättre än den var tidigare. Numera drar man nytta av resultat från andra discipliner redan vid planeringen av kommande undersökningsinsatser. Detta interdisciplinära arbetssätt förbättrar avsevärt möjligheterna att göra tillförlitliga bedömningar.

De olika refererade metoderna är väl dokumenterade i ett stort antal SKB-rapporter. Vi har därför valt att bara kortfattat redogöra för de metoder som tillämpats under typområdesundersökningarna, förundersökningarna för Äspölaboratoriet samt platsundersökningarna. I stället för omfattande beskrivningar finns således hänvisningar till referenser där den aktuella metoden beskrivs.

2 Undersökningar och metoder för geologisk dokumentation

2.1 Syfte

Geologisk kartering och geologiska undersökningar syftar till att bestämma:

- Förekommande bergarter.
- Bergartsgränser.
- Sprickors frekvens och egenskaper.
- Deformationszoner.

2.2 Särskilt viktiga förändringar i omfattning och undersökningsmetoder

Större insatser och bättre metoder har förbättrat möjligheterna att göra geologiska bedömningar av ett förvarsområde. Följande förändringar (från de metoder som användes under typområdesundersökningarna till de metoder som användes under platsundersökningarna i Forsmark och Oskarshamn) bedöms vara särskilt viktiga.

2.2.1 Större omfattning

- Jord- och bergartskartering och därmed sammanhängande provtagningar och analyser.
- Fältundersökning av sprickor (frekvens, orientering och längd) samt analys av sprickmineral.
- Markgeofysik, bland annat ökad täthet mellan mätpunkterna.
- Petrofysik, mer omfattande bestämning av densitet, susceptibilitet, porositet och resistivitet på ytprover och borrhärlor.

2.2.2 Metodutveckling

- Reflektionsseismik (lokalisering av subhorisontella strukturer).
- BIPS (fotografering av borrhålsvägg och absolutorientering av strukturer).
- Borrhålsradar (förbättrad teknik för orientering av strukturer med hjälp av riktantenn i kärnborrhål).
- Kärnbörning – tredubbelt kärnrör ger avsevärt ökad möjlighet att få bra kärnupptag, speciellt i deformationszoner.

2.3 Undersökningarnas omfattning och använda metoder – förr och nu

2.3.1 Berggrundskartering

Berggrundskartering utfördes för samtliga typområden om än i varierande omfattning. Karteringen var oftast av översiktlig karaktär som komplement till befintlig kartbladsinformation (SGU). Kartor och data återfinns i rapporter men endast undantagsvis i digital form, till exempel i Sicada.

I samband med förundersökningarna på Äspö och platsundersökningarna utfördes detaljerade berggrundsundersökningar enligt SGU:s metodik och nomenklatur /B5-1/. Analys för bergartsbestämning har utförts och samtliga data har lagrats i databasen Sicada.

2.3.2 Jordartskartering

Den jordartskartering som utfördes för typområdena var i allmänhet av mycket begränsad omfattning. De uppgifter som rapporteras hade oftast hämtats från befintligt kartmaterial (SGU).

I samband med platsundersökningarna har detaljerad jordartskartering utförts enligt SGU:s metodik och nomenklatur /B5-2/. Ytkarteringen har kompletterats med data från grävningar och borrhningar. Jordartsanalyser har utförts och alla data finns lagrade i Sicada.

2.3.3 Analys av sprickdata

Analysen av sprickdata i samband med typområdesundersökningarna var begränsad till beräkning av sprickfrekvens och orientering baserad på information från befintliga berghällar. Sprickfrekvensen beräknades också på borrhkärnorna. Orienteringen av sprickorna i borrhålen var svårare att utföra utan hjälp av BIPS.

I samband med platsundersökningarna gjordes sprickanalyser baserade på omfattande linjekartering över hållar och ett antal detaljkarteringar över utvalda områden där berget rymdes av inom 100–200 m² stora ytor. Alla sprickor ner till decimeter-längd mättes in och koordinatbestämdes /B5-3/. På motsvarande sätt behandlades sprickorna i borrhålen och orienterades med hjälp av BIPS /B5-4/. Detaljundersökning av detta slag utfördes inte i samband med typområdesundersökningarna.

En väsentlig skillnad mellan undersökningarna i typområdena och platsundersökningarna är att i de senare har även läkta sprickor kartlagts vid karteringen av borrhkärnor.

Geometri och egenskaper för enskilda sprickor kan inte bestämmas deterministiskt i en storskalig modell. Därför använder man statistiska metoder för behandling av sprickdata (geometri, riktning och andra egenskaper i bergmassan). DFN-analys (DFN=Discrete Fracture Network) är en standardiserad metod för statistisk bearbetning. Information från detaljerad kartering av hållar och borrhål ger data för att definiera de olika DFN-parametrarna /B5-5/. Metoden användes i Äspö-projektet och under platsundersökningarna, men inte i samband med typområdesundersökningarna.

2.3.4 Sprickmineralundersökningar

Kartering av sprickfyllnadsmineral utförs i samband med den detaljerade karteringen av borrhkärnorna med Boremap-metoden. I samband med karteringen tar man ut prover för identifiering av mineral /B5-6/. Detta utförs i större omfattning nu än vid typområdesundersökningarna.

2.3.5 Geofysik

I samband med typområdesundersökningarna användes olika markgeofysiska mätningar (refraktionsseismik, magnetmätningar, slingram och resistivitetsmätningar) för att lokalisera deformationszoner. Programvaror för inversion och tolkning har sedan dess vidareutvecklats. Magnet- och resistivitetsmätningar används idag i större omfattning än tidigare – större punkttäthet ger ökade möjligheter att lokalisera även mindre lokala deformationszoner. Refraktionsseismik har använts på liknande sätt som under typområdesundersökningarna.

Reflektionsseismik och VSP (vertical seismic profiling) används för undersökning av strukturer och bergartskontakter ner till stort djup i berggrunden (1–3 km). Reflektionsseismik användes inte i samband med typområdesundersökningarna och därmed fanns i allmänhet inga möjligheter att lokalisera och bestämma orienteringen av subhorisontella zoner. Vid Finnsjöområdet, Ävrö, Äspö och i Laxemar gjordes vissa försök med metoden med varierande framgång. På senare år har metoden utvecklats främst vad gäller möjligheten att lokalisera subhorisontella zoner och bergartskontakter inom djupintervallet 100–1 000 meter i kristallin berggrund, vilket utnyttjats och varit av stor betydelse för platsundersökningarna. Som källor har dynamit med en storlek på 25–75 gram utnyttjats i 0,5 till 1,5 meter djupa borrhål. Även vibratorokälla VIBSIST (Swept Impact Seismic Technique) provades vid platsundersökningarna.

2.3.6 Kärnbörning

Kärnbörning utfördes vid samtliga typområden. Kärndiametern var oftast 42 mm med 56 mm håldiameter.

Idag borras genomgående 76 mm håldiameter, vilket ger en borrkärna med 50 mm diameter. Största skillnaden är övergången till wire-line metoden och att triple-tube kärnrör (tredubbelt kärnrör där det inre röret inte roterar) används. Detta ger en närmast 100 %-ig kärnåtervinning mot 90–95 % när enbart dubbla kärnrör användes. Andra förändringar är: kontinuerlig registrering av maskindata under börning, bl a vridmoment, borrsjunkning och spolvattendata; infräsning av längdkalibreringsspår i borrhålsväggen cirka var 50:e meter efter slutförd börning samt krökningkontroll under pågående börning och styrd börning om krökningen är större än en för borrhålet uppsatt specifikation /B5-7/.

Under Äspöprojektet och platsundersökningarna rymdes kärnborrhålets övre del (s k teleskopdel). Mammutpumpning kunde då genomföras under börning för att så mycket spolvatten och borrkax som möjligt skulle transporteras upp ur borrhålet. Spolvatten för kärnbörningen togs under platsundersökningen från hammarborrade spolvattenbrunnar. Innan vattnet användes för spolning kontrollerades vattenkvaliteten främst med avseende på salthalt och organiskt innehåll. Från den godkända brunnen pumpades vattnet till borrplatsen där kvävgasbubbling skedde under övertryck för att minimera halten löst syre i vattnet. Efter bestrålning med UV-ljus och märkning med spårämne var vattnet klart att pumpas ner i borrhålet. UV-bestrålningen hade till uppgift att döda bakterier och förhindra organisk tillväxt. Märkningen med spårämnet uranin gjorde det möjligt att ha kontroll på det spolvatten som kom i retur vid börningen samt att detektera eventuella rester av spolvatten i vattenprover som togs vid pumptester, vilka utfördes både i samband med börningen och i senare skeden av platsundersökningen.

Borrinsatsen (både totala antalet borrhål och antalet djupa, cirka 1 000 m, borrhål) i samband med platsundersökningarna var avsevärt större än vid typområdesundersökningarna. Främst därför att man ville karakterisera deformationszoner men även för att fastställa bergartsfördelningen mot djupet.

2.3.7 Hammarbörning

Hammarbörning utfördes vid ett stort antal typområden. Någon större förändring i teknik har inte skett om man jämför med dagens börningsutförande förutom att man numera oftast har automatisk borrsjunkningsregistrering. Denna var tidigare i allmänhet manuell.

2.3.8 Borrhålsradar

Borrhålsradarsystemet utvecklades under Stripaprojektet i syfte att förbättra möjligheterna att beskriva grundvattenflöde i kristallint berg. Reguljär användning av borrhålsradarsystemet RAMAC har skett sedan 1985. Under platsundersökningarna har introduktionen av riktantenn möjliggjort bestämning av reflektorers orientering i rymden. Riktantenn användes inte under typområdesundersökningarna /B5-8/. Vidare har dipolantennar med frekvenserna 20, 100 och 250 MHz använts under platsundersökningarna. Under senare delen av typområdesundersökningarna (Klipperås) användes endast frekvenserna 22 och 60 MHz. Högre frekvens ger högre upplösning av strukturer nära borrhålet.

Inför platsundersökningarna togs ett nytt borrhålsradarsystem fram. Mättiden för det nya systemet förkortades avsevärt. I kombination med spårfräsmärken i borrhålet får man en mycket säkrare längdangivelse än med tidigare radarsystem, där man var beroende av i förväg inmätta märken på mätkabeln och en osäkerhet i påverkan av kabelns töjning under loggning /B5-8/. Under platsundersökningarna kalibreras längden mot bestämning med BIPS (där läget av spårfräsningarna syns) och märke på kabeln eftersom vikten i vatten för BIPS-sonden och radarsonderna är ungefär densamma.

2.3.9 BIPS

Borehole Image Processing System (BIPS) är en borrhåls-TV för orientering och dokumentation av sprickor och andra strukturer i borrhålsväggen. Metoden togs i bruk av SKB under 1995. Loggningar har inte utförts i några typområden men användes standardmässigt inom platsundersökningarna i Sverige och även utomlands bl a av Posiva i Finland.

BIPS är en metod för avbildning av hela borrhålsväggen (360°). Data från BIPS-loggningar finns som elektroniska bilder och används i karteringssystemet Boremap för den geologiska karteringen, till exempel för orientering av sprickor, gångar och kontakter samt mätning av sprickvidd. BIPS-bilderna används även som underlag vid placering av manschetter i borrhål vid hydrogeologiska loggningar.

Den horisontella upplösningen är 360 pixlar per varv och den vertikala upplösningen är 0,25 mm, 0,5 mm eller 1,0 mm. Under platsundersökningen har 1,0 mm vertikal upplösning använts vilket ger en loggningshastighet på 1,5 m/min /B5-8/.

2.3.10 Boremap

Boremap har utvecklats av SKB, sedan andra hälften av 1990-talet. Boremap är en utveckling av Petrocore som togs fram vid utbyggnaden av Äspölaboratoriet. Systemets idé är att genom att använda både borrhärna och BIPS-bild från borrhålsväggen, kan man orientera sprickor och andra strukturer längs borrhålet. Boremap utnyttjar BIPS-bilden för geometriska data såsom sprickans läge, sprickvidd, sprickapertur, strykning och stupning och borrhärnan används för den kvalitativa karaktäriseringen, såsom bergarter, strukturer, sprickmineral, sprickråhet och omvandling.

Förutom den stora fördelen med orienterade data, så är möjligheten att i detalj studera kross-zoner och spricköppningar en fördel. Boremap längdjusterar data med hjälp av de spår som är infrästa i borrhålsväggen var 50:e meter och som är synliga i BIPS.

Inom platsundersökningarna användes Boremap för detaljkartering (normal), översiktlig kartering (snabb), samt hammarborrhålskartering. All provtagning av borrhärnan registrerades i Boremap. Data från Boremap kan snabbt exporteras till Sicada för vidare analys och presentation /B5-9/.

2.3.11 RVS (modellverktyg)

Rock Visualization System (RVS) har utvecklats av SKB med inriktningen på att ta fram ett väl fungerande visualiserings- och modelleringsverktyg som stöd för platsundersökningarna. RVS innehåller verktyg för visualisering av undersökningsdata och funktioner för framställning av platsbeskrivande modeller i tre dimensioner. Modeller och datavisualiseringar kan publiceras och utbytas med andra användare av RVS på ett effektivt och spårbart sätt.

Arbetet med att ta fram RVS började i samband med att Äspölaboratoriet färdigställdes. Verktyget togs i bruk 1998 /B5-10/.

2.3.12 Längdjustering i borrhål

Under typområdesundersökningarna på 1980-talet användes för till exempel geofysisk borrhålsloggning ett brythjul som monterades på foderröret. Brythjulet var utrustat med ett mekaniskt räkneverk. Dessutom var kabeln längdmärkt var 50:e meter. Längdkorrigerade loggningsdata hade en precision på cirka 1,5 meter för ett 1 000 meter långt borrhål.

Vid platsundersökningarna användes ett spårmärkningsverktyg som fräser spår i borrhålsväggen på bestämda nivåer (normalt var 50:e meter) i kärnborrhål. Ett kalibreringsspår består av två urfrästa spår med ett inbördes mellanrum på 10 cm för att undvika förväxling med en enskild spricka i borrhålsväggen. I BIPS syns dessa kalibreringsspår tydligt och används som referens vid kärnkartering med Boremap /B5-11/.

Genom att också lokalisera de frästa spåren i kärnborrhålen med hjälp av akustisk televiwer och att mäta naturlig gamma i samtliga sonder kan en överföring av kalibrerade längder göras för samtliga geofysiska loggingmetoder. Detta ger en precision i längdbestämningen som är cirka 0,1 meter per 1 000 meter. Kalibreringsspåren avläses också med hydrotestutrustningarna PSS och PFL.

Spårfräsningar genomförs ej i hammarborrhål.

2.3.13 Krökningsmätning i borrhål

Syftet med att mäta krökningen av ett borrhål är att få kunskap om hålets geometri, dvs x-, y- och z-koordinater för alla punkter i borrhålet. Då det endast är praktiskt möjligt att mäta ett ändligt antal punkter interpoleras hålets väg mellan de inmätta punkterna. Att inmätningen görs mycket noga är helt avgörande för att data från övriga borrhålmätningar ska kunna tilldelas korrekta positionsangivelser. I ett borrhål från markytan saknas möjligheter att kalibrera de instrument som används för krökningsmätningarna. Kvalitetskontrollen av utförda mätningar måste därför bygga på jämförelser av resultaten från upprepade mätningar i samma borrhål.

Under 1980-talet användes ett instrument benämnt Boremac. Noggrannheten på bestämningen av bäringen (azimut) var cirka 1 grad och inklinationen cirka 0,2 grader. Punktavståndet längs med borrhålet var generellt 10 meter.

Vid platsundersökningarna har två typer av mätutrustning använts, en optiskt baserad metod ("Maxibor") och en magnetometer/accelerometer-baserad metod (i huvudsak "Flexit"). I ett fåtal borrhål har även krökningsdata från Acoustic Televiwer-sonden använts.

För kärnborrhål rekommenderades inför starten av platsundersökningarna att borrhålet skulle mätas med den optiska metoden (Maxibor) i samband med borrhållningen. Om den optiska metoden gav oklarheter skulle mätningarna kompletteras med en metod som bygger på magnetometer/accelerometermätning. I hammarborrhål rekommenderades mätningar med en punktbaserad magnetometer/accelerometermetod.

I början av platsundersökningarna förutsattes mätningar med den optiska metoden i kärnborrhål ge bäst resultat, och fram till hösten 2006 användes avvikelldata huvudsakligen från denna metod. I samband med en revision (hösten 2006 och våren 2007) omvärderades tillförlitligheten av krökningsmätningarna. Den hittills använda standardmetoden för krökningsmätningar visade sig ha problem med låg repeterbarhet och problem med längdmätningen. Detta föranledde introduktionen av en ny strategi, som möjliggör en kombination av flera oberoende krökningsmätningar.

Ett annat viktigt resultat av revisionen är introduktionen av ett mått på onoggrannheten av krökningsmätningar. Onoggrannheten presenteras som en individuell onoggrannhet av inklinations och bäring, men också i geometriska termer som en konisk "strut" kring borrhålsaxeln. Data för samtliga borrhål vid platsundersökningarna i Forsmark och Oskarshamn har uppdaterats med denna strategi /B5-12, B5-13/.

3 Hydrogeologiska undersökningar och undersökningsmetoder

3.1 Syfte

Hydrogeologiska undersökningar syftar till att bestämma:

- Hydraulisk gradient.
- Hydraulisk konduktivitet i bergmassa och jordlager.
- Transmissivitet i sprickor och zoner.

3.2 Särskilt viktiga förändringar i omfattning och undersökningsmetoder

Större insatser samt nya och bättre metoder har förbättrat möjligheterna att göra hydrogeologiska bedömningar av ett försvarsområde. Följande förändringar av platsundersökningarna relativt typområdesundersökningarna anses särskilt viktiga för att bedöma om ett område är lämpligt för ett försvar:

- Införande av differensflödesmetoden; denna möjliggör detaljerad positionering av hydrauliska anomalier längs hål, samt underlag för beräkning av hydraulisk sprickfrekvens.
- Utökade mätinsatser (fler borrhål och större borrhålsdjup).
- Införande av observationshål med många avgränsade sektioner; detta möjliggör registrering av tryckresponser vid interferenstester och kan användas vid storskaliga spårförsök.

3.3 Undersökningarnas omfattning och använda metoder – förr och nu

3.3.1 Enhålstester

Inför typområdesundersökningarna utvecklades och testades ett antal olika metoder. Utvecklingen och testerna föregicks av litteraturstudier, bland annat avseende metoder och tester som användes inom oljeindustrin /B5-14/. Hydrotester gjordes i så gott som alla kärnborrhål i de olika typområdena. Antalet hydrotestade borrhål redovisas i bilaga 1. I de tidiga undersökningarna mättes varje hål i 2- och 3-meterssektioner. Testtiderna var relativt korta och mätningarna utvärderades enligt antagna stationära förhållanden. Efter en tid ökades sektionens längd till 20 eller 25 meter (vissa mätningar gjordes även med sektionens längd på 5 och 10 meter). I samband med detta ökades testtiderna, vilket möjliggjorde mer avancerade transienta utvärderingar av transmissivitet eller hydraulisk konduktivitet längs borrhålen.

Under platsundersökningarna ändrades mätstrategin något för att få ut optimal information på kort tid. Först mättes hålen i 100-meters sektioner. De sektioner vars mätvärden var över ett uppsatt minsta värde på transmissiviteten ($T = \text{cirka } 8 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$) mättes därefter i 20-meterssektioner. De 20-meterssektioner vars mätvärden var över samma minsta värde på transmissiviteten ($T = \text{cirka } 8 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$) mättes i 5-meterssektioner /B5-15/.

Under platsundersökningarna användes även Posivas Differensflödesmetod /B5-16/. Mätningar utförs i två steg; först mäts 5-meterssektioner i hela borrhålet. Därefter identifieras flödesanomalier genom att en 1-meters testsektion flyttas en decimeter i taget i de borrhålsavsnitt som med 5-meters testsektion visat på konduktivt berg. Utvärdering baseras på stationära utvärderingsmetoder. Mätningarna används bl a för noggranna lägesbestämningar av vattenförande sprickor eller sprickzoner längs hål.

Under platsundersökningen mättes den hydrauliska konduktiviteten i de flesta kärnborrhål både med Posivas differensflödeslogg (PFL) och med vatteninjektionstester (PSS). Förutom att dessa olika metoder till viss del ger kompletterande information ansågs det också viktigt att bestämma denna viktiga parameter med två skilda mätmetoder.

3.3.2 Interferenstester

Interferenstester används för att bestämma hydrauliska samband, exempelvis mellan jord och berg samt längs zoner och mellan zoner i berg. Testerna utförs mellan två eller flera borrhål. Tryckstörningar åstadkoms under kontrollerade förhållanden i ett hål (exempelvis provpumpningar) eller av andra aktiviteter i ett område (till exempel borrhållningar i ett centralt beläget hål). Tryckresponserna mäts i ett annat hål inom området. Vanligtvis beräknas hydraulisk konduktivitet, transmissivitet och magasincoefficiënt baserat på data från provpumpningarna.

Under typområdesundersökningarna byggdes mätutrustningar av lösa komponenter för enskilda interferenstester. Inför platsundersökningarna utvecklade SKB flera mätsystem som specialanpassades för att kunna utgöra delsystem som användes vid interferenstester. Exempelvis:

- PSS och HTHB (se avsnitten nedan).
- Flermanschettsystem för observationshål, se avsnittet ”bestämning av hydraulisk gradient” nedan.
- Övervakningssystem för borrhning, se ”Kärnborrhning” i avsnitt 2.3.6.

Dessutom har nya utvärderingsprogram tillförts som möjliggör manuell och automatisk passning av datakurvor för beräkning av hydrauliska parametrar /B5-15/.

I typområdena gjordes enstaka interferenstester, dock ej i Sternö, Kråkemåla Kamlunge och Taavinunnanen. I Finnsjön och på Äspö gjordes flera avancerade interferenstester i samband med specialundersökningar. En del av testerna kombinerades med spårämnesförsök. I Finnsjön introducerade SKB tekniken med att utnyttja borrhning för att erhålla uppgifter om hydrauliska samband mellan sektioner i omgivande borrhål.

Under platsundersökningarna utfördes ett 20-tal interferenstester av olika typer i Oskarshamn och cirka 10 tester i Forsmark.

3.3.3 Bestämning av hydraulisk gradient

Översiktliga hydrauliska gradienter beräknas vanligtvis utgående från punktmätningar av grundvattenytor och tryck i jord, berg och ytvattendrag. Ofta är punkttätheten för låg för att beräkning av detaljerade gradienter ska kunna utföras i alla riktningar i ett område. Vanligen involveras därför även områdets yttopografi och djupet till grundvattenytan i beräkningarna.

I typområdena utfördes:

- Mätning av grundvattenytor i jordlagren längs några profiler med installerade jordborror.
- Mätning av grundvattenytor i det ytliga berget i grunda hammarborrhål installerade med en manschett.
- Skattning av tryck längs djupa kärnborrhål i samband med utvärderingar av sektionsvisa hydraultester.

När undersökningarna för Äspölaboratoriet startade utvecklades flermanschettsystem för samtidiga tryckmätningar i flera sektioner längs borrhål /B5-17a, B5-17b/. Dessa system utvecklades ytterligare med bl a fler sektioner inför platsundersökningarna /B5-18, B5-19/.

Skattningar av vattennivåer för anomalier längs borrhål gjordes under platsundersökningarna även med hjälp av differensflödesmetoden, se avsnittet nedan.

Utrustningen som användes under platsundersökningarna för att mäta nivåer i grundvattenrör förfinades relativt mätningar i typområdena. Totala antalet mätsektioner för tryckmätningar utökades mycket relativt typområdesundersökningarna eftersom antalet jordborror, kärn- och hammarborrhål var större. Då hålen dessutom var längre kunde fler sektioner installeras. Vanligtvis installerades cirka åtta sektioner i ett kärnborrhål och cirka 2–3 sektioner i hammarborrhål.

3.3.4 Utrustning för bestämning av hydraulisk konduktivitet i bergmassan och transmissivitet i zoner

Rörgångssystem (PSS, Pipe String System) för hydraultester i kärnborrhål

SKB har sedan starten av typområdesundersökningarna använt sig av s k ”rörgångssystem” för mätning av transmissiviteter och hydrauliska konduktiviteter längs borrhål. Testerna gjordes vanligtvis i form av sektionsvisa injektionstester. Rörgångssystemen har genomgått en kontinuerlig utveckling fram till det system som användes vid platsundersökningarna /B5-20, B5-21, B5-22, B5-17a/.

De första systemen hade manschetter med en tätningslängd på 0,3 meter, saknade testventil i anslutning till testsektionen och innehöll flödesmätare och tryckgivare som avlästes manuellt.

Senare ökades manschetternas tätningslängd till en meter. En testventil monterades i anslutning till mätsektionen, vilket möjliggjorde kontrollerade starter av såväl injektionsfas som återhämtningsfas under hydraultesten. Systemen försågs med nya sensorer så att insamling av mätvärden kunde göras med datoriserade system.

I samband med dessa modifieringar utvecklade SKB ett liknande system för att öka den totala mätkapaciteten. Detta benämndes multivagn och innehöll en multislång som användes för hydraulisk och elektrisk kommunikationen mellan utrustningen på markytan och mätsonden nere i hålet /B5-21, B5-22, B5-17a/. Liknande system (HTU) byggdes av Posiva för deras undersökningar i Finland.

Det rörgångssystem som användes under platsundersökningarna /B5-15/ är robust och har ett mycket stort mätområde. PSS-systemet innehåller ett automatiskt reglersystem för tryck eller för flöde. Det innebär att testernas kvalitet påverkas minimalt av mätoperatörens kunskaper och erfarenheter. Det går även att manuellt styra systemet.

Hydrotestutrustning för hammarborrhål (HTHB)

Under typområdesundersökningarna utfördes propvpumpningar i hela eller avsektionerade avsnitt av hammarborrhål med utrustning som plockades ihop av lösa komponenter. Det kunde vara något olika komponenter vid de olika mätningarna. Underlagen för val av pumpsektioner var inte de bästa, då det saknades uppgifter om flödesfördelningar längs borrhål.

Inför platsundersökningarna utvecklades HTHB-utrustningen, som är ett komplett mätsystem med vilket följande mätningar kan utföras /B5-23/:

- Kontinuerliga flödesmätningar längs borrhål, i kombination med propvpumpningar. På flödessonden finns även sensorer för mätning av vattnets elektriska ledningsförmåga samt temperatur.
- Pumpning från avsektionerade avsnitt av hål.
- Injektionstester i avsektionerade avsnitt av hål.

Transmissiviteter längs hål utvärderas utgående från gjorda flödesmätningar och avsänkningen av grundvattenytan under pumpningen. Utgående från dessa resultat kan riktade propvpumpningar eller injektionstester göras i avsektionerade zoner med mera.

Differensflödesmetod

Differensflödesmetoden har utvecklats av Posiva i Finland. Loggutrustningen benämns Posiva Flow Log (PFL) och består bl a av en differensflödesmätare som benämns DIFF (Differens Flow Meter). Mätsystem, utrustning och utförande beskrivs i /B5-24, B5-25/.

Med differensflödesmetoden kan man bestämma:

- Transmissiviteter i sektioner och flödesanomalier längs borrhål.
- Elektrisk konduktivitet och temperatur på sprickvatten.
- Elektrisk konduktivitet och temperatur längs borrhål.
- Naturligt grundvattentryck i sektioner längs borrhål.
- Specifika flödet i borrhålssektioner och flödesanomalier.
- Flödesförhållande och vattenbalans längs borrhål.
- Position av flödesanomalier/sprickor längs borrhål.
- Konduktiv sprickfrekvens.

Utrustningen har använts i det finska typområdesprogrammet. I Sverige gjordes testmätningar med utrustningen i borrhål i Äspölaboratoriet /B5-24/. Metoden ingick i det ordinarie mätprogrammet för platsundersökningarna /B5-24/.

Mätområden och mätnoggrannhet vid bestämningar av hydraulisk konduktivitet och transmissivitet

SKB valde redan i inledningen av typområdesundersökningarna att satsa på sensorer för flöde och tryck som hade optimala mätområden och god noggrannhet. Vidare så infördes tidigt kalibreringsrutiner i samband med fältmätningarna. Även om sensorernas noggrannhet inte ökat så mycket från starten av undersökningarna fram till platsundersökningarna, så gjordes bättre bestämningar av bergets transmissivitet under platsundersökningarna än under de inledande typområdesundersökningarna. Orsakerna är bl a följande:

- Manschettätningstiderna har ökat vilket reducerar påverkan av testresultatet orsakad av manschetternas expansion. Av den anledningen har noggrannheten ökat vid nedre mätgräns.
- Införandet av ett insamlingssystem som möjliggjorde övervakning av alla sensorer i systemet och som därmed underlättade tolkning av mätdata.
- Införandet av automatiskt flödes- och tryckreglersystem vilket medfört att inregleringen av konstant tryck går snabbt och att trycket är stabilt under hela testen. Det nya systemet är mindre beroende av operatörens kunskaper
- Användning av programvaror som möjliggör automatisk och manuell passning av datakurvor enligt olika teoretiska modeller.
- Uppstyrning av mät- och utvärderingsförfarandet med hjälp metodbeskrivningar, mätsystembeskrivningar, aktivitetsplaner, avvikelshantering med mera.

4 Hydrogeokemisk provtagning och analys

Detta kapitel är något mer utförligt än övriga avsnitt i bilaga 5. Skälet är att det saknas referenser som på ett tydligt sätt beskriver utvecklingen – från tidigt åttiotal och fram till idag – av de provtagnings-, analys- och mätmetoder som har använts för att bestämma de hydrokemiska förhållandena i berggrunden.

4.1 Syfte

Hydrogeokemiska undersökningar syftar till att bestämma de hydrokemiska förhållandena i den bergvolym där avfallskapslarna ska förvaras och att faställa de hydrokemiska parametervärden som används i beräkningar för analys av förvarets långsiktiga säkerhet. Detta uppnås bl a genom följande analyser eller mätningar:

- Vattnets kemiska sammansättning.
- Kemiska och fysikaliska parametrar (Eh, pH, EC, temperatur, löst syre).
- Stabila och radioaktiva isotoper.
- Gasinnehåll och sammansättning.
- Kolloidmängd och sammansättning.
- Antal mikrober och typ.
- Humus- och fulvosyror.

4.2 Särskilt viktiga förändringar i omfattning samt undersöknings- och analysmetoder

Viktiga förändringar inom de hydrokemiska undersökningsprogrammen är kopplade till omfattning, provtagningsmetoder och analysmetoder enligt följande:

- Provtagning av vatten på och nära ytan.
- Sänkning av detektionsgränsen för tritium.
- In situ-mätning av redox och pH.
- Bättre gasprovtagning.
- Mikrobprovtagning.
- Bättre mätning av partiklar, kolloider och humus.
- Förenklade kemiska analyser tack vare ICP-AES och ICP-MS. Dessa tekniker tillåter samtidig analys av många element per prov. Det krävs rätt liten provvolym och metoderna är snabba och relativt billiga.

4.3 Undersökningarnas omfattning samt undersöknings- och analysmetoder – förr och nu

De hydrokemiska undersökningar som bedrevs i typområdena, under förundersökningarna på Äspö samt under byggskedet av Äspölaboratoriet var helt fokuserade på grundvattnet i berggrunden. Förutom en mindre undersökning av ytnära grundvatten i jordrör inom Laxemarområdet och en viss återkommande provtagning av strandnära havsvatten utanför Äspö omfattades inte ytvatten eller grundvatten i jordlagret av SKB:s hydrokemiska undersökningar innan platsundersökningarna startade i Forsmark och Oskarshamn.

Analys- och mätprogrammet för grundvatten har i huvudsak omfattat samma komponenter och parametrar från starten av typområdesundersökningarna och ända fram till platsundersökningarna.

De förändringar och den utveckling som skett vad gäller undersökningarnas innehåll summeras nedan:

- ICP-MS teknikens utveckling har medfört stora förenklingar när det gäller att analysera spårmetaller och antalet grundämnen som analyseras har ökat jämfört med de tidigaste typområdesundersökningarna. Vidare utfördes analys av några fler stabila isotoper under platsundersökningarna.
- De tidiga undersökningarna av gas i grundvatten gav enbart en kvalitativ uppskattning av mängden gas i vattnet. Med början under förundersökningarna på Äspö analyseras mängden gas och gassammansättning kvantitativt.
- Intresset för mikroberna och deras påverkan på grundvattenkemiska förhållanden uppstod först under förundersökningarna på Äspö och framför allt under byggskedet av Äspötunneln. Därefter har provtagning för mikrobundersökningar kommit att ingå som en standardmetod.

Härutöver har uppföljning och dokumentation av de förhållanden som har betydelse för bedömning av provens kvalitet och representativitet ökat betydligt. Exempelvis kan nämnas att kontrollen över spolvattenhanteringen under borrning har ökat samt att tryckförhållanden i och över borrhålssektionen följs noggrant under pumpningen och provtagningen.

4.3.1 Metoder för pumpning och uttag av prov

Under vissa av de allra tidigaste typområdesundersökningarna märktes spolvattnet som användes vid kärnbörningen med natriumjodid och inte med uranin. Natriumjodid var inte helt idealiskt, i varje fall inte i den relativt låga koncentrationen 0,01 mmol/L eftersom grundvattnets egen jodidhalt orsakade ett bidrag som inte var försumbart. Spolvattenhalten är därför osäker i vattenprov från vissa tidiga borrhål /B5-26, B5-27, B5-28/.

Renspumpningar eller ett antal blåsningar med kvävgas har genomgående varit vanliga åtgärder för att bli av med kvarvarande spolvatten innan pump/mätperioden påbörjas. Spolvattnet har också alltid analyserats vilket har gett möjlighet till viss utvärdering av effekterna av spolvatteninblandning i senare vattenprov från kärnborrhålen.

Den allra tidigaste provtagningsutrustningen för djupa kärnborrhål bestod av manschetter för att avgränsa borrhålssektionen och en pump placerad strax över sektionen. Vattnet pumpades upp genom en tefloniserad rörgång och passerade en mätcell med elektroder och givare samt försedd med ventiler för provuttag.

Det mobila fältlaboratoriet bestående av en laboratorieevagn och en slangvagn med borrhålsutrustning och mätsystem /B5-17a, B5-29, B5-22/ som började användas 1984, utgjorde ett integrerat system för:

1. att avgränsa en borrhålssektion med manschetter och pumpa vatten från sektionen,
2. provuttag av såväl uppumpat vatten som vatten in situ i borrhålssektionen under bibehållet tryck,
3. on-line mätningar under lång tid (veckor-månader) av kemiska och fysikaliska parametrar i den obrutna provvattenlinjen både på markytan (yt-Chemmac) och nere i borrhålet (borrhåls-Chemmac).

Förutom det mobila fältlaboratoriet som utgör den mest avancerade utrustningen har även andra metoder använts för att ta ut vattenprov. Under förundersökningarna på Äspö togs ”first strike” prov mellan enkelmanschett och det som för tillfället var botten av borrhålet under uppehåll i borrhållningen. Dessa prov hade genomgående en mycket hög spolvattenhalt. Provtagning under borrhållning utfördes också under platsundersökningarna och problemet med spolvattnet kvarstår /B5-17a, B5-30, B5-31, B5-32, B5-33, B5-34, B5-35, B5-36/. Hydrokemisk loggning eller slangprovtagning är ytterligare en provtagningsmetod som har använts vid två tillfällen i KLX02 och som ingick i undersökningsprogrammet under platsundersökningarna /B5-37/. Proven ger information om den kemiska sammansättningen på vattenpelaren i borrhålet under öppet hål förhållanden. Uttag av prov i enstaka borrhålssektioner i samband med injektionstester eller transienta pumpstester har förekommit under förundersökningarna på Äspö och förekom även under platsundersökningarna /B5-17a, B5-38, B5-39/. Det är ett snabbt sätt att öka data-mängden och få en större tredimensionell täckning när det inte finns behov av specialanalyser och avancerade provtagningsmetoder.

4.3.2 Vattenanalyser av huvudkomponenter, närsalter och spårmetaller

Metoderna för vanliga vattenanalyser har utvecklats och förbättrats sedan sena 1970-talet och några analystekniker har tillkommit, se tabell B5-1. Före 1984 skickades alla vattenprov till kommersiella analyslaboratorier för analys och inga analyser gjordes i SKB:s egen regi. Även vid de allra första typområdesundersökningarna analyserades de flesta komponenterna av två eller tre oberoende laboratorier. Det upptäcktes tidigt att det var svårt att få samstämmiga resultat från de olika laboratorierna för vissa komponenter. Detta var en anledning till varför det utvecklades ett mobilt fältlaboratorium med särskilt anpassade analysmetoder för de haltområden som förekommer i djupa grundvatten. En annan fördel med fältlaboratoriet var att prov på det uppumpade vattnet kunde tas om hand omedelbart och analyseras utan långa transporttider som kunde påverka resultaten.

I och med det mobila fältlaboratoriets tillkomst 1984 (sena typområden och förundersökningarna på Äspö) gjordes många av analyserna i SKB-regi (se tabell B5-1) men med fortsatt kontroll av analysresultaten mot ett till två externa analyslaboratorier. Tillförlitligheten i resultaten ökade i första hand för tidskritiska analyser som tvåvärt järn, sulfid, ammonium, alkalinitet (HCO_3), nitrit, fosfat och lab-pH. Lab-pH mäts vid 25 °C i batchprov på laboratorium till skillnad mot fält-pH som mäts vid rådande temperatur direkt i ytvatten eller i mätcell kopplat on-line till vatten som pumpas från borrhål. Från slutet av 1980-talet kom ICP-tekniken att bli alltmer dominerande för analys av katjoner.

Tabell B5-1. Komponenter och analysmetoder /B5-26, B5-27, B5-28, B5-17a, B5-37/.

Komponent	Tidiga analysmetoder före 1984	Analysmetoder; mobilt fältlab, Äspö kemlab	Externa metoder och analyser*
pH-lab, EC-lab	Konventionell SS	Konventionell SS	
Na, K	ICP AES Flamemission*	Jonkromatografi*	ICP AES (Na, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Si, Li, Sr, S-tot, Br, I)
Ca, Mg	ICP AES EDTA-titrering SS*	EDTA-titrering SS*	ICP AES (Na, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Si, Li, Sr, S-tot, Br, I)
Fe, Cu, Sr, Al	ICP AES		ICP AES (Na, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Si, Li, Sr, S-tot, Br, I)
Mn	ICP AES AAS*	Spektrofotometri SS*	ICP AES (Na, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Si, Li, Sr, S-tot, Br, I)
Fe(II), Al	Spektrofotometri SS	Spektrofotometri-Ferrozine (Fe(II), Fe(tot))	
HCO ₃	Titrering	Titrering SS	
Cl	Jonkromatografi (låga halter) Mohr titrering (höga halter)	Mohr titrering (ev modifierad mot IS-elektrod), Jonkromatografi	
Br	–	Jonkromatografi	ICP AES
F	Jonkromatografi Potentiometri	Jonkromatografi, potentiometri	
SO ₄ -S	Jonkromatografi	Jonkromatografi	ICP AES (S-tot)
NO ₃ -N, NO ₂ -N, NH ₄ -N	Spektrofotometri SS	Spektrofotometri SS	Spektrofotometri SS (NO ₃ -N, NO ₂ -N, NO ₃ +NO ₂ -N)
PO ₄ -P	Spektrofotometri SS	Spektrofotometri SS	Spektrofotometri SS
SiO ₂	Spektrofotometri SS	Spektrofotometri SS	ICP AES (Si)
S ²⁻	Potentiometrisk Spektrofotometri SS	Spektrofotometri SS	
I	Spektrofotometri	–	ICP AES/MS
TOC	Kolanalysator (lab 1) Kolanalysator (lab 2)	–	Kolanalysator (typ varierar)
Övriga spårmetaller inklusive REES	INAA*	–	ICP MS Högupplösande ICP MS

* Metoderna har inte använts på länge.

Förkortningar:

ICP AES Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry
AAS Atomic Absorption Spectrometry
SS Svensk Standardmetod
INAA Instrumental Neutron Activation Analyses
ICP MS Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry

Under platsundersökningarna 2002 och framåt skedde en viss återgång till att anlita externa laboratorier för flera av komponenterna som tidigare gjordes i egen regi. Ett antal komponenter (anjoner) övergick från att analyseras i fält till att utföras av SKB:s kemilaboratorium på Äspö. De analyser som utfördes i fält (eller på Äspölaboratoriets kemilab om avståndet var kort) var främst sådana som bör ske omedelbart efter provuttaget (tvåvärt järn och totalt järn, ammonium, alkalinitet (HCO₃) och lab-pH).

4.3.3 Isotopbestämningar

Redan under de tidiga typområdesundersökningarna bestämdes ett rätt stort antal isotoper men ytterligare några har tillkommit på senare tid och särskilt under platsundersökningarna (¹⁰B/¹¹B, ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr, ^δ³⁷Cl, ^δ²⁴S), se tabell B5-2. Bland de mer betydelsefulla metodförbättringar

Tabell B5-2. Isotoper och analysmetoder /B5-26, B5-27, B5-28, B5-17a, B5-37/.

Isotop	Tidiga analysmetoder före 1984	Analysmetoder 1984–2001	Analysmetoder från 2002
Tritium	LSC Detektionsgräns = 3 TU	LSC Detektionsgräns = 8 TU	Elektrolys + LSC Detektionsgräns = 0,8 TU
		Elektrolys + LSC Detektionsgräns = 0,8 TU	
Deuterium	MS	MS	MS
$\delta^{18}\text{O}$	MS	MS	MS
^{14}C pmC	Uppkoncentrering i fält, avdrivning av HCO_3 från 130 L vatten. LSC; Kol-14 ålder samt ålder korrigerad för kol-13.	Uppkoncentrering i fält, avdrivning av HCO_3 från 130 L vatten. LSC; Kol-14 ålder samt ålder korrigerad för kol-13. Senare metod AMS.	AMS
$\delta^{13}\text{C}$	Uppkoncentrering i fält, avdrivning av HCO_3 från 130 L vatten. $\delta^{13}\text{C}$ bestäms med MS.	MS	MS
Uranisotoper	AS	AS	AS, ICP MS
Toriumisotoper	AS	AS	AS, ICP MS
^{222}Rn	LSC	LSC	LSC
^{226}Ra	LSC	LSC	LSC, AS
$^{10}\text{B}/^{11}\text{B}$	–	–	ICP MS
$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	–	–	TIMS
$\delta^{37}\text{Cl}$	–	–	MS
$\delta^{34}\text{S}$	–	–	MS

Förkortningar:

- LSC Liquid Scintillation Counting
- MS Mass Spectrometry
- AS Alfaspectroscopy
- AMS Accelerator Mass Spectrometry
- ICP MS Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry
- TIMS Thermal Ionisation Mass spectrometry
- δ Avvikelse (‰) i isotopkvot jämfört med standard; SMOW (Standard Mean Oceanic Water), SMOC (Standard Mean Oceanic Chloride), CDT (Canyon Diablo Troilite), PDB (PeeDee Belemnite). Beräknas med formeln: $\delta\% = 1000 \times (K_{\text{prov}} - K_{\text{standard}}) / K_{\text{standard}}$, där K = isotopkvot och $\% = ^2\text{H}, ^{18}\text{O}, ^{37}\text{Cl}, ^{13}\text{C}$ eller ^{34}S .

som skett kan nämnas den sänkta detektionsgränsen för tritium med hjälp av elektrolys av provet (enhanced) liksom övergången från LSC till acceleratormätningar av kol-14. Alfa- och gammaspektroskopiska metoder har mer och mer avlösts av ICP-MS även för bestämning av uran- och toriumisotoper.

4.3.4 Mätningar on-line av kemiska och fysikaliska parametrar

Vid tidiga typområdesundersökningar innan 1984–85 skedde mätningarna av pH, Eh, pS, EC, vattentemperatur, syrehalt on-line med en ”portabel” föregångare till Chemmac-enheterna, se nedan. Vattnet leddes upp genom borrhålet via teflonbelagda rörstänger och via polyamidslangor till mätkammaren. Denna innehöll elektroder och sensorer för pH, Eh (glassy carbon- och platinaelektroder), pS, syrehalt och elektrisk konduktivitet samt var försedd med ventiler för att möjliggöra uttag av vattenprov för vidare analys. Mätningar av pH och elektrisk konduktivitet innebar som regel inte några problem. Däremot tog det tid för Eh- och pS-mätningarna att stabilisera sig och kalibreringar visade att det var nödvändigt med justeringar relativt ofta /B5-26, B5-27, B5-28/.

Chemmac field analyser var en senare separat enhet på markytan som användes för motsvarande mätningar bland annat i samband med kemisk provtagning med hydrotestutrustning under förundersökningarna på Äspö /B5-17a/.

Chemmac-systemet i det mobila fältlaboratoriet används för långtidsmätningar av kemiska och fysikaliska parametrar i den obrutna provvattenlinjen både på markytan (ytChemmac) och nere i borrhålet (borrhåls-Chemmac). Systemet har varit i bruk sedan 1984 men relativt omfattande moderniseringar genomfördes 2001 inför platsundersökningarna. Förändringarna innebar i huvudsak byte av datorplattform, uppdaterad mätprogramvara samt modifierade glas- (pH) och referenselektroder i borrhåls-Chemmac. Elektrodena förbättrades och blev mer robusta och mindre känsliga för haveri och överledning (glaselektroden) i och med att plastkropparna tillverkades i ett stycke.

Att mäta tillförlitliga redoxpotentialvärden är en utmaning i sig. Metodiken att mäta samtidigt med två till tre olika typer av elektroder (platina, guld och glassy carbon elektroder), och under relativt lång tid, ger större säkerhet att den mätta potentialen verkligen motsvarar den elektrokemiska jämvikten mellan två komponenter i ett dominerande redoxpar i grundvattnet. Det finns en risk att tidiga redoxmätningar gav väl höga Eh-värden på grund av alltför kortvarig mätning och/eller ett visst inläckage av syre vid mätningar i celler på markytan. Ökad erfarenhet av mätningar och utvärderingar har också medfört bättre kvalitet på redoxdata med tiden.

Eftersom pH i grundvattnet förändras när trycket minskar i samband med att vattnet pumpas upp till markytan är de tidiga on-line mätningarna av pH i mätcell på markytan inte helt jämförbara med senare mätningar in situ i borrhålet. Mätningarna av pS med elektrod har helt övergivits från och med förundersökningarna på Äspö och det är tveksamt om några tidigare pS-data är användbara.

Innan platsundersökningarna fungerade mätningarna med syremätare endast som ett hjälpmedel för att följa minskningen av syrehalten under några dagar i början av mätperioden. Därefter var det nödvändigt med ny kalibrering som dock inte kunde genomföras utan att störa redoxmätningarna. Vissa gamla data kan därför felaktigt indikera att det finns syre närvarande i det djupa grundvattnet. Problemet kvarstår inte med de syreprober som användes i platsundersökningarna. Mätning av elektrisk konduktivitet är en väl beprövad teknik och såväl gamla som nya data bör rent mättekniskt vara av samma kvalitet.

4.3.5 Specialmetoder för partiklar/kolloider, humus och fulvosyror, gas samt mikrober

Specialmetoderna innebär i regel komplicerade provuttag och/eller speciellt utvecklade utrustningar. De metoder som använts rutinmässigt under olika tidsperioder listas i tabell B5-3. Provtagning för mikrobbestämningar i grundvatten tillkom under förundersökningarna på Äspö.

Metoderna för kolloidbestämning är genomgående rätt osäkra men de två nya filtreringstekniker som användes under platsundersökningarna verkar dock ha gett lägre och trovärdigare resultat som kan verifieras någorlunda väl med hjälp av Laser Induced Breakdown Detection (LIBD) /B5-40/.

Det har också skett en stegvis förbättring när det gäller gasanalyser. Den allra tidigaste tekniken som innebar analys av avgiven gas medgav inte bestämning av gasinnehållet i vattnet, däremot kunde man bestämma procentuell sammansättning. I och med det mobila fältlaboratoriets tillkomst togs vattenprov in situ för analys av löst gas. Den första utrustningen som byggde på BAT-principen (evakuerade provbehållare fylls med vatten när en kanyl trycks genom tätande gummimembran) var mekaniskt komplicerad och provuttagen misslyckades väl ofta. Dessutom orsakade de evakuerade rören en så kallad läskedryckseffekt och mängden gas kunde skilja mellan olika rör beroende på placering i höjddled i utrustningen. Det senare problemet är avhjälp i dagens utrustning.

Tabell B5-3. Specialmetoder för partiklar/kolloider, humus och fulvosyror, gas samt mikrober.

Parameter	Tidiga analysmetoder före 1984	Analysmetoder 1984–2001	Analysmetoder från 2002
Partiklar/kolloider	Filtrering genom 0,45 µm filter. Röntgenfluorescensanalyser av partiklar på filtren. S, Fe och Al. Turbiditetsbestämningar	Filtrering genom en serie kopplade filter (0,45, 0,2, 0,05 och 0,05 µm). Analys av S, Fe, Si, Ca och Al med XRD-analyser (X-ray diffraction). Eftersom ingen skyddsgas användes är det sannolikt att erhållna resultat är förhöjda på grund av järn och/eller kalcitfällning. PCS-teknik (Photon Correlation Spectroscopy)	Filtrering av in situ-prov genom en serie kopplade filter i obrutet system under kvävgasatmosfär (0,45, 0,2, 0,05 och 0,05 µm). Analys av filter med ICP MS teknik. Fraktionering (ultrafiltrering) 1 000 D och 5 000 D. ICP-analys av fraktionerna. LIBD (Laser Induced Breakdown Detection) har använts för bestämning av kolloidhalt i in situ-prov från vissa borrhålssektioner.
Humus- o. fulvosyror	Dialysis och gelfilmkromatografi fraktionerar det organiska materialet i humussyror och fyra fraktioner (molekylvikt) fulvosyror. UV-absorbans.	Uppkoncentrering med hjälp av jonbytare. Gelfilmkromatografi Karaktisering av det erhållna materialet med avseende på storleksfraktioner.	Fraktionering (ultrafiltrering) 1 000 D och 5 000 D. ICP-analys av fraktionerna.
Gas	Avgiven gas under pumpning samlas i Horstflaskor. Procent He och gasvolym per pumpad vattenvolym bestäms. Metoden ger ingen kvantitativ bestämning av mängden gas.	In situ-provtagning med BAT-teknik. Evakuerade glaströr försedda med gummimembran som punkteras och fylls via en kanyl användes för provtagning av vatten in situ i borrhålssektioner. Vattnet analyserades på mängden löst gas och dess sammansättning (He, H ₂ , N ₂ , CH ₄ , O ₂). Den stora tryckskillnaden mellan de evakuerade rören och sektionen kan förväntas ge upphov till fel i form av förhöjd gasmängd. Svårighet att undvika syrekontamination vid analyssteget.	In situ-provtagning med modifierad teknik. Proven tas ut i stålcyllindrar försedda med en inre kolv och med ett visst mottryck av N ₂ eller Ar som anpassas efter det djup där provuttaget ska ske. Detta resulterar i ett "mjukare" provuttag där det inströmmande vattnet trycker tillbaka kolven i cylindern. Gasanalyser av Ar, He, H ₂ , N ₂ , CO ₂ , CH ₄ , O ₂ , CO, C ₂ H ₆ , C ₂ H ₄ , C ₂ H ₂ , C ₃ H ₈ , C ₃ H ₆ med gaskromatografi. Svårighet att undvika syrekontamination vid analyssteget.
Mikrober	–	Totalantal celler – färgning med acridine-orange och direkt räkning. Heterotrofa bakterier räknades på odlingsplatta. Mikroautoradiografiska studier av substratupptag hos individuella bakterier.	Totalantal celler, ATP-koncentration, odlingsmetod för statistisk bestämning av "most probable number" av odlingsbara mikroorganismer uppdelade på nitrat, mangan, järn och sulfatreducerande bakterier autotrofa och heterotrofa acetogener samt autotrofa och heterotrofa metanogener.

5 Bergets transportegenskaper

5.1 Syfte

Ämnesområdet omfattar undersökningar och mätningar för att bestämma bergets transportegenskaper, det vill säga bergets förmåga att fördröja radionuklider genom sorption (fastläggning på sprickytor och i bergets porer) och diffusion (inträngning i mikrosprickor och i porer). Transportparametrar bestäms främst genom laboriemätningar på bitar av borrhärdar, men också indirekt genom spårämnesförsök och tolkning av bergets resistivitet. I denna rapport redovisas bergets transportegenskaper genom parametrarna ”transportmotstånd” och ”formationsfaktor”.

5.2 Särskilt viktiga förändringar i omfattning och undersökningsmetoder

De viktigaste skillnaderna mellan typområdesundersökningarna och platsundersökningarna när det gäller transportegenskaper, kan kortfattat beskrivas enligt följande:

- Metoder för in situ-bestämningar av formationsfaktorer har utvecklats. Ett stort antal sådana mätningar har gjorts under platsundersökningarna. Antalet laboriemätningar var också större än under typområdesundersökningarna.
- Under platsundersökningarna utvecklades enkla metoder för skattning av transportmotstånd; bl a baserade på flödesmätningar med Posivas flödeslogg. Detta möjliggör många bestämningar inom varje undersökningsområde. Även omfattningen av bestämningarna med hjälp av modeller utökades.
- Utspädningssonden har anpassats för produktionsmätningar. Detta har inneburit att antalet mätningar har kunna utökats.
- Metoder och utrustning (SWIW-testutrustning) har tagits fram som möjliggjort bestämning av retardationsfaktor, dispersivitet och flödesporositet utgående från fältmätningar.

5.3 Undersökningarnas omfattning och använda metoder – förr och nu

5.3.1 Bestämning av formationsfaktor

Termen formationsfaktor finns förklarad i bilaga 2.

Beräkningar av formationsfaktorer har gjorts i sex av de tio svenska referensområdena, se bilaga 1. Som underlag för dessa beräkningar gjordes laboriemätningar på borrhärdar; dels med spårämnen och dels med elektriska metoder /B5-41/. Antalet bestämningar varierar mycket i de svenska områdena, från två till cirka 35 st.

Under platsundersökningarna gjordes ett stort antal mätningar för att bestämma formationsfaktorer. De metoder som användes var: laboriemätningar med spårämnesmetod (cirka 100 bestämningar i vardera Forsmark och Laxemar), laboriemätningar med elektrisk metod (cirka 100 bestämningar) samt in situ-mätningar med elektrisk metod (cirka 100 000 bestämningar i vardera Forsmark och Laxemar).

Vid **mätningar med spårämnen** så placerades en mindre bit av matrisberg (borrhärdar) mellan två vätskebehållare, den ena innehållande ett spårämne. Spårämnets diffusion genom borrhärdan uppmättes mot tiden. Utgående från dessa resultat samt bestämningar av bergmatrisens porositet så bestämdes bergmassans diffusivitet. Värdet för det aktuella ämnets diffusivitet i vätskan hämtas i allmänhet från ett tabellverk. Mätningar gjordes med olika spårämnen, olika lösningar och ibland vid olika tryck.

Laboriemätningar med den elektriska metoden grundar sig på analogin mellan diffusion och elektrisk konduktivitet och indikerar att elektrisk konduktivitet och molykulärdiffusion kan förhålla sig på samma sätt när det gäller formationsfaktorn. Laboriebestämningar på borrhärdar görs med hjälp av resistivitetsmätningar på provet som är mättat med saltvatten. Den elektriska resistiviteten på den lösning som använts för att mäta bergprovet, kan bestämmas genom mätningar med en konduktivitetmätare.

Även under platsundersökningarna utfördes laboratoriemätningar av formationsfaktorer enligt den ovan beskrivna elektriska metoden och med spårämnesmetoden /B5-42/. Dessutom gjordes **fältmätningar** på sprickigt berg och matrisberg längs borrhål med en elektrisk metod. Fördelen med fältmätningar är att provet ligger i sin ”rätta miljö”, inklusive naturliga bergsspänningar.

Mätpunktens resistivitetsvärde vid fältmätningar mäts med någon typ av resistivitetslogg, med vilken mätning görs av en pålagd ström ut i berget. Med sonden går det att fokusera strömmen så ingen ström går i borrhålets längdriktning. Mätpunktens resistivitetsvärde för vätskan i berget har beräknats från vattenkemisk provtagning och från EC-mätningar med Posivas utrustning för differensflödesmätningar /B5-42/.

5.3.2 Bestämning av transportmotstånd

Termen transportmotstånd representerar ett mått på bergets förmåga att fördröja transport av radionuklider. Transportmotståndet beror av grundvattenflöde, flödesvägar och flödesvätt yta. Sorten är vanligtvis år/m.

I samband med undersökningar i typområdena gjordes bestämningar av transportmotstånd i tre av områdena, se bilaga 1. Värden har presenterats i SR 97. Motsvarande värden för de finska områdena finns presenterade i TILA-99.

De beräkningar av transportmotstånd (F-parametern) som presenterades i SR 97 baseras på resultat av grundvattenflödesberäkningar kombinerade med uppskattning av flödesvätt ytan per volym berg /B5-43, B5-44/. Motsvarande beräkningar gjordes även vid utvärderingen av platsundersökningarna.

Under platsundersökningarna gjordes enkla skattningar av formationsfaktorer baserat på antaganden om ett flöde i en enstaka spricka. Transportmotståndet beräknas då med hjälp av:

- Transmissiviteten för den aktuella sprickan. Bestäms vanligen med Posiva Flow Log (PFL).
- Sprickans längd. Den antas vara 100 meter.
- Den hydrauliska gradienten längs sprickan. Om den är okänd, antas den ligga mellan 0,1–1 %.

5.3.3 Utspädningsmätningar och spårämnesförsök

För att beräkna naturliga flöden i sprickor och sprickzoner utförs utspädningsmätningar med utspädningssond och utspädningsutrustning dockad till fast installerad utrustning i observationshål. Retardationsfaktor, dispersivitet och flödesporositet kan bestämmas genom att man vid enhålmätningar monterar en SWIW-utrustning till utspädningssonden. Spårämnesförsök används för att kontrollera hydrauliska samband mellan två eller flera borrhål. Spårämnena kan vara vattentrogna eller sorberande. Med data från dessa mätningar beräknas bl a dispersivitet, flödesporositet, retardationsfaktor och medeltransporttid.

Utspädningsmätningar utförda med fast installerad borrhålsutrustning

Fast installerad utrustning i observationsborrhål som används vid tryckmätningar, vattenkemisk provtagning och spårämnesförsök finns omnämnd i avsnittet ovan om ”Bestämning av hydraulisk gradient”. Vid utspädningsmätningar dockas en specialutrustning till detta system /B5-45/.

Tekniken började testas i samband med sprickzonsprojektet i Finnsjön. Borrhålen hade då ingen upprymd överdel (större diameter i den övre delen av hålet, s k teleskopborrhål) som underlättade montage av pumpar, vilket innebar att tekniken bara kunde användas i hål som hade kort avstånd till grundvattenytan. I samband med undersökningarna på Äspö utfördes de flesta hålen med upprymd överdel, vilket innebar att metoden kunde utvecklas genom att man använde små och smala cirkulationspumpar, som kunde sänkas ner i den fast installerade

utrustningen i borrhålen. Den aktuella utrustningen modifierades ytterligare inför mätningarna under platsundersökningarna i Forsmark och Oskarshamn.

I Forsmark utfördes 42 utspädningsmätningar i 18 sektioner samt cirka 10 mätningar i samband med interferenstester /B5-46/. I Oskarshamn utfördes 31 mätningar i 19 sektioner /B5-47/.

Utspädningssond

Utspädningssonden används för att mäta naturliga flöden i sprickzoner /B5-48/. Mätmetoden började utvecklas i början på 1980-talet och de första prototypmätningarna utfördes i Finnsjöområdet år 1983. Prototypen modifierades och användes sporadiskt i samband med undersökningarna på Äspö. Under platsundersökningarna utfördes mätningar med utspädningssond i 29 sektioner i Forsmark /B5-49, B5-50, B5-51, B5-52/. I Oskarshamn utfördes motsvarande mätningar i 26 sektioner /B5-53, B5-54, B5-55, B5-56/.

SKB har utvecklat en borrhålsutrustning som kan användas för att mäta flöden i sprickor eller sprickzoner /B5-49/. Flödena kan vara naturliga eller påverkade av planerade störningar av tryckförhållanden i områdena.

Mätprincipen grundas på att ett spårämne tillsätts till ett avsektionerat avsnitt i ett borrhål. Mätsonden kan detektera fluorescerande spårämnen samt saltkoncentrationer. Spårämnets koncentrationsminskning mot tid används för att beräkna flödet genom sektionen. Med utrustningen går det att mäta flöden (darcyhastigheter) motsvarande cirka 1×10^{-10} – 1×10^{-6} m/s.

SWIW-testutrustning

SWIW-testutrustningen används för att beräkna retardationsfaktor, dispersivitet och flödesporositet /B5-57, B5-58/. Inga SWIW-tester utfördes i typområdena. Under platsundersökningarna utfördes sex SWIW-tester i både Forsmark och Oskarshamn.

SWIW-metoden grundar sig på att en spårämnesblandning injiceras ut i berget från en avgränsad sektion av ett borrhål. Spårämnen består både av vattentrogna spårämnen och sådana som sorberas på sprickytor med mera. Efter en tid pumpas det spårämnesblandade vattnet åter tillbaka till sektionen. Utvärdering av transportparametrarna görs med hjälp av modellsimuleringar genom passning av modell till mätta data /B5-57, B5-58/.

Den SWIW-testutrustning som SKB utvecklat /B5-49/ dockas till utspädningssondens borrhålsutrustning, se avsnittet ovan om utspädningssond.

Spårämnesförsök

Spårämnesförsök görs för olika ändamål och med olika typer av mätuppställningar. Det som avses med spårämnesförsök i detta avsnitt är spårämnesförsök mellan två eller flera borrhål.

Avancerade spårämnesförsök började användas i samband med specialstudier av zoner i Finnsjöområdet under 1980-talet. Mätningarna föregicks av ett omfattande arbete för att utveckla mätmetodiken, bl a framtagning av spårämnen och analysmetoder. Metoderna utvecklades ytterligare under Stripaprojektet och i Äspölaboratoriet /B5-59, B5-60/. I samband med borrhålsundersökningarna i Äspö gjordes spårämnesförsök med hjälp av fast installerad utrustning i observationshål, se avsnittet ovan ”Utspädningsmätningar”. Utrustningen för spårämnesförsök har utvecklats ytterligare inför platsundersökningarna /B5-61/.

Under platsundersökningarna i Oskarshamn utfördes två spårämnesförsök i samband med borrhållning av kärnborrhål, två försök mellan jord och övre delen av berget, ett storskaligt spårämnesförsök, samt ett småskaligt försök med sorberande ämnen. I Forsmark utfördes ett storskaligt försök samt ett småskaligt med sorberande ämnen.

6 Bergets mekaniska och termiska egenskaper

6.1 Syfte

Ämnesområdet omfattar dels mätning och analys av bergets hållfasthets-, deformations- och termiska egenskaper, dels mätning och analys av spänningstillståndet i berggrunden. Informationen används för att göra prognoser av stabilitetsförhållanden och egenskapsfördelningar som underlag för både anläggningsutformning och säkerhetsanalys.

6.2 Särskilt viktiga förändringar i omfattning och undersökningsmetoder

- Typområdesundersökningarna innefattade inga eller mycket begränsade mätningar av bergmekaniska parametrar. I platsundersökningarna gjordes sådana mätningar i stor omfattning. Motsvarande gäller för termiska och termomekaniska parametrar /B5-62/.
- Metoderna för bergmekaniska mätningar (bergspänningar, deformations- och hållfasthetsegenskaper) har förfinats, men lider fortfarande av viktiga begränsningar /B5-63, B5-64/.
- Bergmekaniska analyser (stabilitetsanalyser) är ett viktigt verktyg för att avgöra om de platser som nu undersöks är lämpliga för ett slutförvar. Med få undantag gjordes inga sådana analyser för typområdena.

6.3 Undersökningarnas omfattning och använda metoder – förr och nu

6.3.1 Bergspänningar

De metoder som i praktiken finns att tillgå för bergspänningsmätning i borrhål är i grunden desamma idag som under typområdestiden, nämligen överborrning och hydraulisk spräckning. Båda metoderna har dock utvecklats i olika avseenden.

Överborrningsmetoder för bergspänningsmätning har funnits sedan 1950-talet, men teknik för djupa borrhål (ner till cirka 500 m) blev tillgänglig ungefär samtidigt som typområdesundersökningarna startade. Tekniken provades bl a i Forsmark /B5-65/, men kom inte till användning i typområdesprogrammet. Ett skäl var att den krävde borrhål av större diameter (76 mm) än de som då användes (56 mm). Utvecklingen av metoden fram till idag har inkluderat förfinad registreringsteknik och på senare år en avsevärt förbättrad kunskap om metodens tillämpningsområden och begränsningar.

Hydraulisk spräckning för bergspänningsmätning i borrhål har också anor från 1950-talet. Utrustning för 56 mm borrhål och i övrigt anpassad för SKB:s behov togs fram parallellt med typområdesprogrammet, och tillämpades i några fall /B5-66/. Mera omfattande mätningar har senare gjorts vid Äspölaboratoriet. Metoden har utvecklats vad avser dels möjligheterna att följa själva mätförloppet, dels tolkningen av mätdata. Varianter har tillkommit där trycksättning av befintliga sprickor kan nyttjas för att få en mera fullständig bild av spänningstillståndet än vad som är möjligt med metoden i ursprunglig tappning.

Trots de utvecklingsinsatser som gjorts måste man konstatera att båda mätmetoderna fortfarande lider av väsentliga och delvis gemensamma svagheter. En är att datamängderna med nödvändighet blir begränsade eftersom mätningarna är komplicerade och resurskrävande. En annan är svårigheter att mäta med god tillförlitlighet i miljöer med höga bergspänningar.

I några fall ingick bergspänningsmätningar i typområdesundersökningarna, men då i en omfattning som var mycket begränsad i relation till vad som är fallet i platsundersökningarna. I berglaboratorierna Stripa och Äspö har omfattande mätningar gjorts, både som inslag i metodutveckling och som del i karaktäriseringen av platserna.

6.3.2 Mekaniska egenskaper

De standardparametrar som i några fall bestämdes för kärnprover från typområden (E-modul, enaxiell tryckhållfasthet, indirekt draghållfasthet, i något fall treaxiell tryckhållfasthet) har alla ingått i det testprogram som genomförts vid platsundersökningarna i Forsmark och Oskarshamn. Testmetoderna är i huvudsak desamma som tidigare, men kvalitetskontrollen och möjligheterna att följa belastningsförloppen i sin helhet har förbättrats väsentligt. Sammantaget är data från typområdena, i likhet med motsvarande data från många andra källor, fullt användbara som jämförelsematerial.

För andra parametrar som bestämts under platsundersökningarna finns däremot inga data från typområden. Det gäller bland annat bestämningar av sprickors mekaniska egenskaper. Omfattande jämförelseunderlag finns dock från forskningslaboratorierna, liksom från andra källor.

Bestämningar av standardparametrar som beskriver deformations- och hållfasthetsegenskaper hos prover från borrhål gjordes för några av typområdena /B5-66/. Omfattningen var begränsad och kan inte jämföras med det ambitiösa testprogram för samma (och ytterligare) parametrar som genomförts under platsundersökningarna. Vid berglaboratorierna har omfattande experiment ägnats åt att karaktärisera bergets mekaniska egenskaper. Tillgången till bergutrymmen ger helt andra möjligheter än borrhål, vad gäller både metoder och skala för bestämning av deformations- och hållfasthetsegenskaper.

6.3.3 Temperatur

Under typområdesundersökningarna var bergtemperatur in situ, på samma sätt som idag, en av de parametrar som bestämdes genom rutinmässig geofysisk loggning av alla kärnborrade hål. Resultaten har ibland störts av vattenrörelser och av att loggningarna av logistikskäl genomförts för nära borrhållstillfallet. Hur väl resultatet av temperaturloggningen återspeglar det ostörda bergets temperatur beror således bl a av dessa faktorer /B5-67/.

6.3.4 Termiska egenskaper

Gångse termiska egenskaper (konduktivitet, diffusivitet och kapacitivitet) bestämdes på prover från borrhål från några av typområdena. Omfattningen var begränsad men de laboriemetoder som användes då kan sägas vara föregångare till de som användes vid platsundersökningarna i Forsmark och Oskarshamn /B5-62/. Inga bestämningar gjordes av termisk längdutvidningskoefficient, möjligen med undantag för experiment i något sammanhang, där prover från typområden kan ha nyttjats. Vid forskningslaboratorierna Stripa och Äspö har omfattande bestämningar gjorts av alla termiska och termomekaniska egenskaper, bland annat i samband med försök där värmeutbredningen i berget studerats i olika skalor /B5-68/. Jämfört med typområdena var undersökningarna i Forsmark och Oskarshamn betydligt mer omfattande. Dessutom hade metoderna utvecklats. Vidare användes fältundersökningsmetoder i Forsmark och Oskarshamn, något som inte förekom vid typområdena /B5-69, B5-70/.

6.3.5 Bergmekaniska och termiska/termomekaniska analyser

Med få undantag har typområdena inte varit föremål för platsanknutna bergmekaniska eller termiska/termomekaniska analyser. Undantagen är i huvudsak fall där data från typområdena nyttjats för platsanknutna säkerhetsanalyser. Exempel kan hämtas från säkerhetsanalysen SR 97, där typområdena Finnsjön och Gideå användes som exempel för beräkningar av potentialen för framtida bergrörelser (jordskalv) och av värmeutbredningen kring ett simulerat förvar. Några analyser av bergmekaniska förhållanden under bygge och drift av ett förvar (tunnelstabilitet, förstärkningsbehov etc) baserade på enskilda typområden har inte gjorts.

Betraktade som jämförelseobjekt till dagens kandidatplatser för slutförvaret kan typområdena därmed i första hand bidra till den allmänna banken av bakgrundsdata om fundamentala parametrar som bergspänningar, hållfastheter, temperatur och termisk konduktivitet. Jämförelseobjekt vad avser de prognoser av förhållanden under bygge och drift, och efter förslutning, som görs kopplat till platsundersökningarna måste däremot hämtas från annat håll.

Forskningslaboratorierna Stripa och Äspö spelar en helt annan roll i sammanhanget. En stor del av det bergmekaniska utvecklingsarbetet – i branschen och i landet – har alltsedan 1970-talet haft dessa anläggningar som bas. Bergets mekaniska egenskaper och respons på olika belastningar är starkt skalberoende. För att kunna göra tillförlitliga prognoser i undersökningsskeden är det därför avgörande att data från borrhål och i borrhål kan ”översättas” till egenskaper i större skala. Här är den tillgång till bergutrymmen och storskaliga försök som forskningslaboratorierna ger central för att bygga upp den nödvändiga kunskapen. Ett tidigt exempel kan hämtas från Stripa, där en rad värmeförsök lämnade värdefulla bidrag till förståelsen för termomekanisk belastning i samband värmeavgivning från en deponerad kapsel /B5-71/. Ett mera aktuellt exempel är experiment som gjorts vid Äspölaboratoriet avseende mekanismer och kriterier för s k spjälkbrott kring deponeringshål och tunnlar /B5-72/. Undersökningarna i anslutning till prototypförvaret har gett ökad förståelse för temperaturutveckling i närområdet till kapseln och värmeledningsförmågens rumsliga variation i bergmassan /B5-68/.

7 Datainsamling och datalagring

7.1 Datainsamling

Undersökningarna för att finna en plats för slutförvaring av kärnavfall har resulterat i en stor mängd data. Mängden har ökat avsevärt under de senare åren, främst tack vare ökade undersökningsinsatser, men även på grund av de tekniska möjligheterna att samla in och lagra stora mängder data.

Inledningsvis utfördes datainsamlingen huvudsakligen via handskrivna protokoll. Senare insamlades en del data med dataloggrar, där mätvärdena exempelvis registrerades på kassetband eller redovisades som grafer på papper. Handskrivna och registrerade data överfördes till datafiler för att bearbetas och presenteras.

Nästa steg i utvecklingen var att förse mätutrustningarna med datainsamlingssystem som kunde registrera tidpunkter för olika faser under en mätning, exempelvis en hydrotest eller en överborrningsmätning. Detta möjliggjorde automatisk plottning. Rådata från mätningarna lagrades på magnetband, medan utvärderade parametervärden lades in i databasen. Mätvärden granskades innan de lades in i databasen (se kapitel 8).

Under de senaste undersökningarna har majoriteten av data insamlats med hjälp av någon form av datainsamlingssystem. I vissa fall är dessa system direktkopplade mot databaserna. Ett exempel är hydromoniteringssystemet HMS. Efter kvalitetsgranskning tas både rådata och bearbetade data om hand för lagring i databaser eller fillager kopplade till databaserna. Analogt material sparas i arkiv och även de med koppling till databaserna för att upprätthålla spårbarheten.

Även metadatainformation (data om data) om de genomförda aktiviteterna lagras i databaserna för att ha spårbarhet till sådan information.

7.2 Datalagring

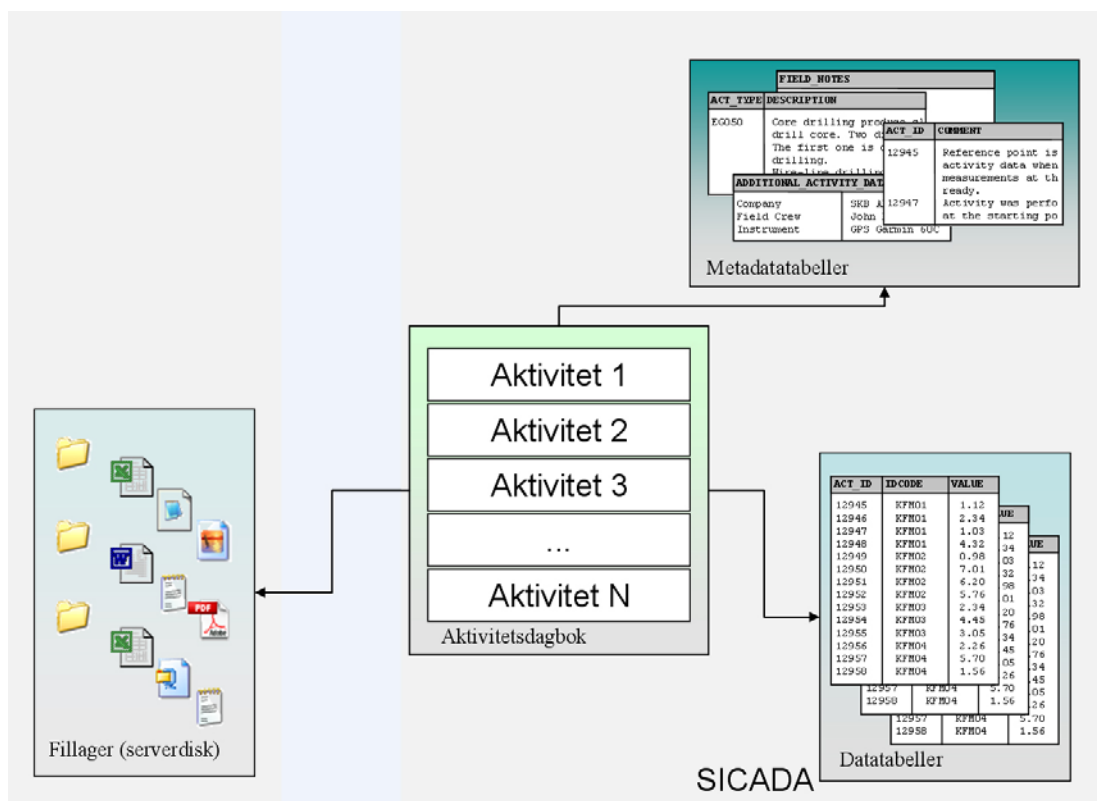
Inledningsvis sparades data i vanliga pappersarkiv men relativt snart togs datorer i bruk. Databasen GEOTAB (GEOscientific TABLES) som togs i bruk 1982 var SKB:s ursprungliga egna databas för undersökningsdata. GEOTAB var mätmetodsorienterad och därmed inriktad på att lagra data från olika typer av mätningar. Databasen innehöll cirka 400 tabeller för data med tillhörande tabeller för lagring av metadata.

I samband med bygget av Äspölaboratoriet skapades en ny aktivitetsorienterad databas SADB (Site Activity Database). SADB innehöll en dagboksfunktion där aktiviteter av olika typer kunde registreras och till vissa av dessa aktivitetstyper kunde även data lagras i tillhörande tabeller.

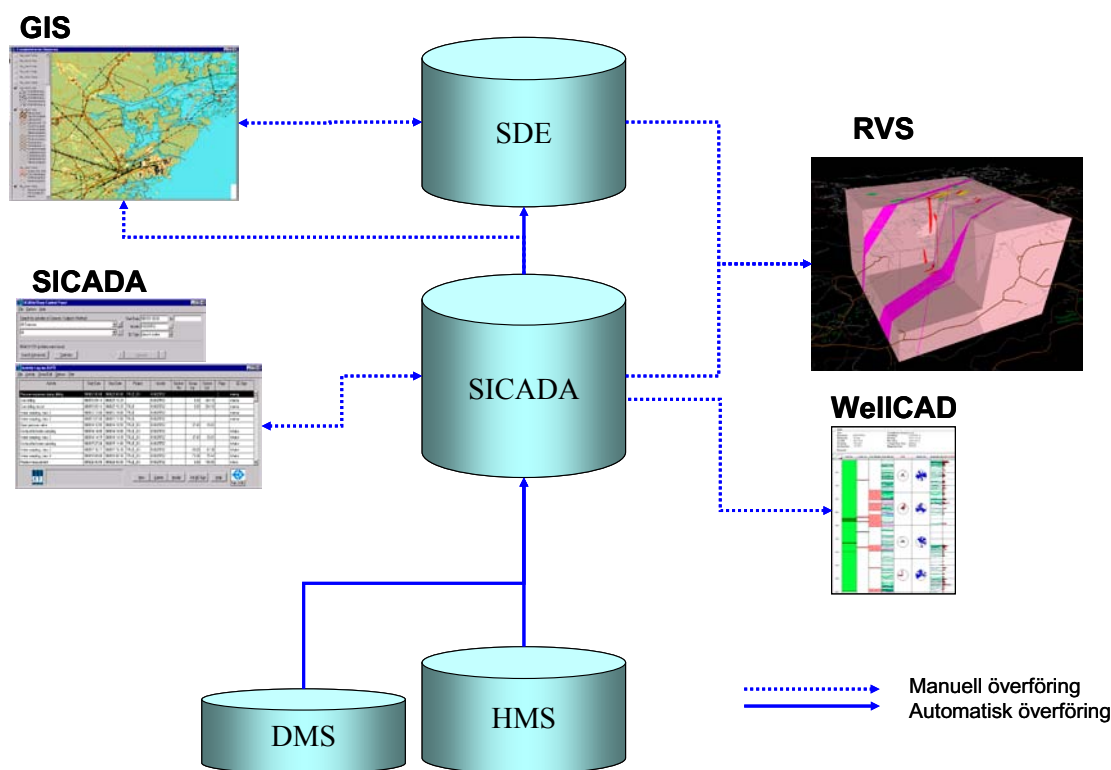
Inför platsundersökningarna kombinerades de två databaserna genom att dagboksfunktionaliteten och hanteringen av metadata togs från SADB och tabellstrukturerna för lagring av data togs från GEOTAB. Den kombinerade databasen benämndes Sicada (Site Characterisation Database), figur B5-1.

Vid starten av undersökningarna var hanteringen av kartor och bilder till största delen manuell. Under 1990-talet introducerades GIS (Geographic Information System), vilket tillsammans med allt kraftfullare datorer, gav helt nya möjligheter att lagra och bearbeta stora mängder geografisk information. Redan under förstudierna började SKB använda GIS för sin kartproduktion. Under platsundersökningarna lagrades i princip alla kartdata i SKB:s GIS-databas. Kartor och illustrationer kan nu tas fram avsevärt mycket snabbare än tidigare.

En principiell uppdelning har gjorts så att yttäckande data lagras i GIS-databasen medan data från mätlinjer, mätpunkter och borrhål lagras i Sicada. För att nyttja presentations- och analysmöjligheterna i GIS så finns kopplingar mellan systemen som bland annat fortlöpande överför positionen på objekt från Sicada till GIS-databasen (SDE, Spatial Database Engine). Kopplingar finns även från Sicada till systemen RVS och WellCAD som används för modellering respektive presentation, figur B5-2.



Figur B5-1. Principskiss över relationer mellan aktiviteter, datatabeller, metadatatabeller och datafiler.



Figur B5-2. Principskiss över systemrelationer och överföringar.

8 Kvalitetssäkring

Grundläggande för kvalitetssäkring är dels att ”göra rätt saker”, dels att göra saker ”på rätt sätt”. Det berör allt från program och planer till beslut och genomförande i form av undersökningar och resultat. Att ha full spårbarhet i hur data och resultat produceras och används samt vad som beslut med mera grundas på, är väsentligt. Men för att uppnå det krävs bra rutiner för dokumentation och arkivering samt att rutinerna verkligen tillämpas.

SKB har sedan början av 1980-talet och KBS-3-undersökningarna tagit fram och tillämpat standardprogram för de geovetenskapliga undersökningar som genomförts på typområden och framåt. Programmen redovisar de undersökningar som skulle utföras, använd utrustning samt parametrar och andra resultat som avsågs att bestämmas /B5-73, B5-74, B5-75/. Områdesundersökningar före KBS-3-programmet styrdes utifrån planeringsmöten och objektplaner för undersökningarnas omfattning och utförande.

Parallellt med programmen har litteraturstudier för val av lämpliga undersökningsmetoder utförts, ofta följt av metod- och instrumentutvecklingsarbete för att kunna uppnå den data-kvalitet som önskats (exempelvis för hydrotester och hydrokemisk provtagning). Utvecklingsinsatserna har drivits mer eller mindre kontinuerligt och lett till att flera generationer av utrustningar och metoder utvecklats, efterhand som ny teknik tillkommit.

Även om det inte fanns något formellt kvalitetssystem under de tidiga undersökningarna gjordes kontroller och tester för att försäkra sig om trovärdiga resultat med hög kvalitet. Metod- och instrumentutvecklingen har haft en tydlig fokusering på att producera tillförlitliga data. Anlitade företags, universitets/högskolors och myndigheters kvalitetstänkande och höga ambitioner, det vill säga förståelse för vad uppgiften krävt, har präglat denna utveckling. Framtagning av hydrotestutrustningar är ett tydligt exempel med omfattande redovisning av denna process /B5-76, B5-14/. I rapporter från typområdesundersökningarna redovisades och diskuterades utförda kontrollmätningar liksom olika felkällor för hydrotester /B5-77, B5-78, B5-79/.

I många fall görs även idag samma kontroller och tester som tidigare men de görs inom ramen för ett certifierat kvalitetssystem, vilket innebär konsekvent dokumentation och tydlig spårbarhet. Den utveckling som skett består främst av bättre stöd i form av nya metod- och mätsystembeskrivningar och formella rutiner (aktivitetsplaner, kalibreringsrutiner, rutiner för åtgärder vid avvikelser, kvalitets- och kontrollplaner m m). Kvalitetskontrollen av hydrokemiska data har i stort sett varit densamma sedan undersökningarna startade /B5-80, B5-81, B5-82/.

Under senare delen av Äspölaboratoriets utbyggnad, när experiment började planeras, infördes sk Quality plans som beskrev arbetets omfattning och utförande indelat i delaktiviteter samt organisation och dokumentationskraven för utfört arbete och producerade data. Med tiden ändrades dessa till aktivitetsplaner med ett något annorlunda innehåll. Bygandet av Äspölaboratoriet har i sig varit ett kvalitetssäkringsprojekt så till vida att ett av målen för projektet varit att demonstrera att SKB hade lämpliga undersökningsmetoder för att karakterisera berggrunden med avseende på viktiga förhållanden för ett slutförvar för använt kärnbränsle.

I samband med platsundersökningarna införde SKB ett ledningssystem, certifierat enligt kvalitetslednings- och miljöledningsstandarderna ISO 9001 och ISO 14001. Ledningssystemet med dess rutiner har medfört en tydligare och väl dokumenterad styrning, kvalitetssäkring och spårbarhet i undersökningarna och producerade primärdata. Organisation, ansvar och befogenheter samt gränssnitt mot och krav på leverantörer har förtydligats. En schematisk bild över SKB:s kvalitetssäkringsprocess, som utvecklats under platsundersökningarna, redovisas i figur B5-3 och beskrivs översiktligt i det följande.

Styrande för platsundersökningarna har varit dels generella program /B5-83, B5-37/, dels platsanpassade program; först för de inledande platsundersökningarna /B5-84 respektive B5-85/ därefter för de kompletterande platsundersökningarna /B5-86 respektive B5-87/.

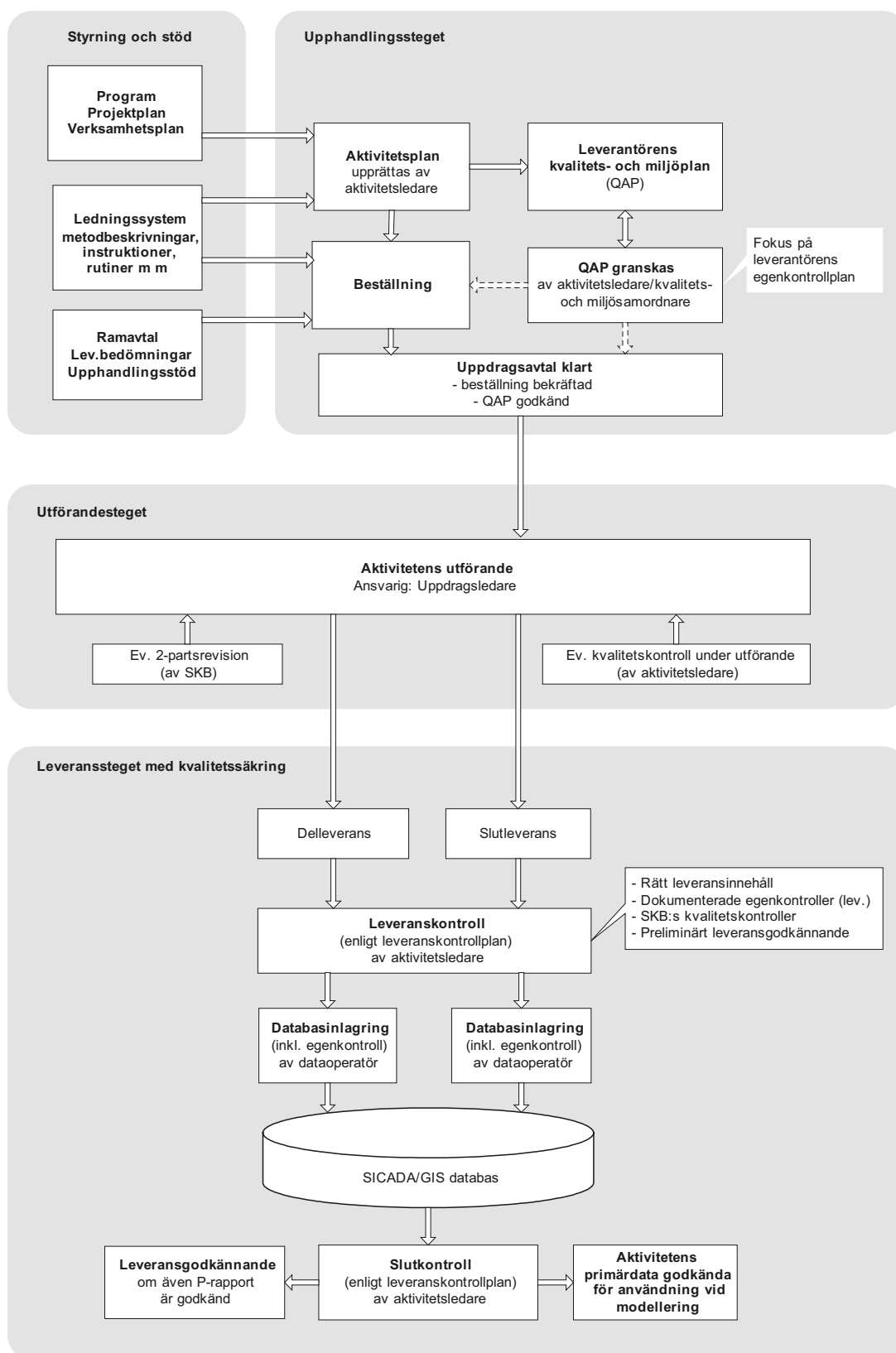
Årliga *verksamhetsplaner* har redovisat mer detaljerat vad som skulle göras (mål, delmål, aktiviteter, tidsplan, resursplan, m m). Verksamhetsplanerna har brutits ned i aktiviteter och för respektive aktivitet har upprättats en *aktivitetsplan* som i detalj styr hur arbetet skulle genomföras och dokumenteras utifrån kvalitetsaspekten ”att göra på rätt sätt”. Aktivitetsplaner refererar normalt till en eller flera metodbeskrivningar för hur aktiviteten ska utföras.

Metodbeskrivningar innehåller metodspecifika instruktioner för hur metoder ska utföras och de upprättas framför allt för undersökningsmetoder. Metodbeskrivningarna specificerar vilka informationsmängder som ska produceras och med vilken noggrannhet, hur arbetet ska dokumenteras och hur resultat ska arkiveras. Korrekta och ändamålsenliga metodbeskrivningar är grunden för att en metod ”tillämpas på rätt sätt” och att den utförs på samma sätt vid upprepade användning. För detaljinstruktioner över metodens utförande och handhavande av instrument hänvisar metodbeskrivningar till metodinstruktioner, mätsystembeskrivningar och leverantörers beskrivningar/manualer.

Metodinstruktioner är ett samlingsbegrepp för styrande dokument som inte direkt kopplar till en undersökningsmetod. Det gäller exempelvis provtagning av borrhärlinor som är ett moment i flera metodbeskrivningar, liksom inmätning av provtagningsobjekt, borrhål med mera.

Mätsystembeskrivningar är benämningen för den samlade dokumentationen av tekniska beskrivningar och ritningar, användar- och underhållsinstruktioner som upprättats för de mätsystem som SKB själv utvecklat. De innehåller direkta arbetsinstruktioner för mätsystems användning vid mätning, hur kalibrering och funktionskontroller ska utföras i samband med mätning, liksom basprogram för mätsystemets periodiska underhåll. Vad gäller kalibrering ska mätsystembeskrivningar ange kalibreringens spårbarhet mot erkända normaler eller annan adekvat referensutrustning.

Inför platsundersökningarna har SKB prekvalificerat leverantörer för aktuella undersökningsmetoder samt gjort leverantörsbedömningar.



Figur B5-3. Översikt över kvalitetssäkringsarbetet under platsundersökningarna.

Leverantören har innan uppdrag beställts, ombetts redovisa en av SKB accepterad *kvalitetsplan* för den specifika aktiviteten, som beskriver leverantörens kvalitetssäkring av uppdraget och levererade produkter. Kvalitetsplanen ska bland annat innehålla en beskrivning av leverantörens organisation för uppdraget, hur leverantören avser att genomföra uppdraget samt en tydlig och detaljerad beskrivning av hur leverantören planerar att genomföra *kvalitetskontroller* under genomförandet, av genererade resultat/data och levererade produkter i form av data eller rapporter.

För att kontrollera att leverantören följt sitt kvalitetssystem och levt upp till sin kvalitetsplan har SKB följt upp leverantörens utförande av uppdraget via olika former av *revisioner*.

SKB har under platsundersökningarna etablerat ett system för kontroll av leverantörens dataleveranser, vilket dokumenterats i form av *leveranskontrollplaner (LKP)*, varvid särskilt noterats att leverantören har redovisat sina kvalitetskontroller i den beskrivning/checklista som begärts att medfölja leveransen.

Inlagringen av data i databaserna Sicada och GIS har styrts av interna rutiner och SKB:s aktivitetsledare har kontrollerat att levererade data varit korrekta efter inlagringen samt därefter godkänt data för användning i det efterföljande utvärderings- och analysarbetet.

Ordförklaringar¹⁴

Absoluttryckgivare	Tryckgivare som mäter tryck relativt vakuum.
Amfibol	En stor grupp bergartsbildande silikatmineral med prismatic kristallform. De viktigaste mineralen i gruppen är hornblände och aktinolit-tremolit.
Amfibolit	Grönsvar, medelkornig, metamorf bergart, som huvudsakligen består av amfibol och plagioklas.
Anomali	Lokal avvikelse från det normala.
Andesit	Intermediär vulkanisk bergart som domineras av plagioklas och mörka mineral t ex hornblände, pyroxen och biotit. Innehåller mellan 52–60 viktprocent SiO ₂ .
Anorogen	En anorogen bergart har bildats utan påtagligt samband med en orogenes (bergskedjebildning).
Apatit	Mineral, kalciumfosfat, vanligen grönt till grågrönt.
Aplit	Finkornig, granitisk bergart som består av kvarts och fältspat och har låg halt av mörka mineral. Uppträder vanligtvis som gångar.
Arkeisk	Arkeiska bergarter (de äldsta prekambriskas bergarterna) bildades för mer än 2,5 miljarder år sedan.
Avsektionerade	Avsnitt av borrhål som avgränsas med manschetter.
Bandning	Omväxlande, mer eller mindre parallella lager med olika färg, kornstorlek, mineralsammansättning etc.
Basalt	Basisk vulkanisk bergart.
Basisk bergart	Domineras av mörka mineral som pyroxen, amfibol och biotit. Innehåller mellan 45–52 viktprocent SiO ₂ .
Bergart	Sammanhållet aggregat av ett eller vanligen flera mineral.
Biotit	Mörkt glimmermineral.
BIPS	BIPS (borehole image processing system) – Instrument som sänks ner i ett borrhål för videofotografering av borrhållsväggen.
Boremapkartering	Kartering genom sammanvägd tolkning av bilder från BIPS-loggning av ett kärnborrhål och information från borrhållsväggen eller BIPS-loggning av ett hammarborrhål och information från borrhållsväggen.
Bräckt vatten	1 000–5 000 mg/L Cl. Dessa vatten kan ha ett marint eller icke-marint ursprung och är vanligen av Na-Ca-Cl-(HCO ₃)-(SO ₄)-typ.
Dacit	Intermediär vulkanisk bergart som domineras av plagioklas, kvarts och mörka mineral.
Darcy hastighet	Flöde per tvärsnittsarea i exempelvis mark eller berg (m/s).

¹⁴ Källor: /B6-1, B6-2, B6-3, B6-4/.

Deformationszon	En övergripande beteckning för en i huvudsak tvådimensionell svaghetszon i berggrunden, vars bredd är relativt liten i förhållande till dess längd, och i vilken deformationen har koncentrerats eller kan komma att koncentreras i aktiva förkastningar. En deformationszon kan vara <i>spröd</i> eller <i>plastisk</i> .
DFN	Discrete Fracture Network, DFN-modell = spricknätverksmodell.
Diabas	Basisk, vanligen svart och finkornig, gångbergart som bildar mer eller mindre brantstående skivor i berggrunden.
Diffusionsdjup	Det djup till vilket ett ämne diffunderar i bergmassan.
Diffusivitet i vätskan	Ett ämnes spridning i en vätska orsakad av koncentrationskillnader.
Diorit	Intermediär djupbergart som domineras av plagioklas och mörka mineral.
Dioritoid	Samlingsterm för mörkgrå till rödgrå, dioritliknande magmatiska djupbergarter som huvudsakligen består av plagioklas, biotit och hornblände. Kalifältspat och kvarts ingår i mindre mängd.
Djupbergart	Magmatisk bergart som kristalliserat (stelnat) i djupare delar av jordskorpan.
DOC	Dissolved Organic Carbon.
Effektiva diffusiviteten på berget	Ett mått som beskriver ett ämnes rörelser i bergmassans porer (m^2/s).
End member	(Grund)vatten med extrem, men väl definierad kemisk sammansättning. Alla övriga vatten antas kunna beskrivas som en blandning med givna proportioner av "end member" vatten.
Fanerozoikum	Geologisk tidsålder, vilken omfattar tiden från ca 545 miljoner år fram till nutid.
F-faktor	Det ackumulerade förhållandet mellan flödesvåt yta och flöde längs en enskild flödesväg. För en grupp av flödesvägar anges en statistisk fördelning av F-faktorn.
Flödesvåt yta	Den del av ytan av ett sprickplan som kommer i kontakt med vatten.
Foliation	Allmän term för planstruktur i bergart. Jämför med förskiffring. Foliation används ofta i svenskan i stället för svag förskiffring.
Formationsfaktor	Kvoten mellan den effektiva diffusiviteten i ett material och diffusiviteten i vatten. Formationsfaktorn kan även erhållas från elektriska mätningar i berget genom en analogi mellan diffusion och ledning av ström i porvattnet hos ett poröst material.
Fältspat	Sammanfattande namn för en grupp bergartsbildande mineral. De viktigaste är kalifältspat och plagioklas.
Förkastning	En spricka eller sprickzon parallellt med vilken berggrunden har rört sig.
Förskiffring	Planstruktur i en metamorf bergart definierad av parallellorientering av mineralkorn.
Gabbro	Basisk, magmatisk djupbergart. Består av mineralen plagioklas, pyroxen, hornblände och i vissa fall även olivin.

Geofysisk borrhålsloggning	En metod för att i borrhålet mäta fysikaliska egenskaper i berget. Geofysiska mätningar i borrhål används som stöd för tolkning och bestämning av olika bergarter, deformationszoner och sprickor.
Geofysiska mätningar	Mätningar av magnetfält, elektrisk resistivitet m fl fysikaliska parametrar. Genom att kartlägga variationer i bergets eller jordlagrens fysikaliska egenskaper kan jorddjup, bergartsgränser, deformationszoner och andra geologiska förhållanden bestämmas.
Glacial	Istid. Betecknar företeelser och bildningar relaterade till en inlandsis.
Glaciation	Nedisning. Bildning av en inlandsis.
Glimmer	Silikatmineral som kristalliserar i bladiga eller fjälliga former. Vanligast är biotit och muskovit.
Gnejs	Högmetamorf (kraftigt omvandlad) bergart med mer eller mindre välutvecklad planstruktur (parallellorienterade mineral-korn), ofta också bandad.
Gnejsgranit	Omvandlad (förgnejsad) granit.
Granit	Magmatisk djupbergart, huvudsakligen bestående av mineralerna kvarts, fältspat, glimmer och/eller hornblände. Kalifältspat dominerar över plagioklas. Färgen är vanligen grå eller röd.
Granitoid	Samlingsnamn för kvartsrika djupbergarter, dvs granit, granodiorit, tonalit.
Granodiorit	Sur, magmatisk djupbergart som till det yttre liknar granit. Domineras av kvarts och fältspat. Plagioklas dominerar över kalifältspat. 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 jordskorpans övre delar.
Hematit	Mineral bestående av järnoxid.
Hornblände	Se amfibol.
Hydraulisk gradient	Grundvattennivåns ändring per längdenhet längs grundvattnets flödesbana. I sin enklaste form lika med grundvattenytans lutning. Sortlös, anges ofta i %.
Hydraulisk konduktivitet (K)	Berggrundens vattengenomsläpplighet uttryckt som flödet per tidsenhet genom en enhetsyta vinkelrätt mot flödesriktningen (m/s).
Högsalint vatten	> 20 000 mg/L. Dessa vatten är av icke marint ursprung och har en lång uppehållstid i berget. De är av Ca-Na-Cl (\pm SO ₄)- eller Na-Ca-Cl (\pm SO ₄)-typ.
Högsta kustlinjen	Den högsta nivå dit havet nådde i samband med den senaste isavsmältningen. Denna ligger ofta olika högt i skilda delar av landet bl a beroende på hur stor landhöjningen varit.
Illit	Glimmerliknande lermineral.
Injektionsfas	Den period av en hydraultest under vilken vatten injiceras in i berget.

Injektionstester	Hydrauliska tester som görs genom att vatten injiceras från ett borrhål ut i berget.
Inlandsis	Ismassa som täcker stora delar av en kontinent.
Intermediär bergart	Bergart med 52–65 viktprocent SiO ₂ .
Intrusiv bergart	Magmatisk 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.
Jordart	Lösa avlagringar på jordytan.
Jordskorpa	Den yttersta delen av jordklotet, ned till 5–10 km under oceanerna och ned till ca 35 km under kontinenterna.
Jotnisk sandsten	Röd, fältspathaltig sandsten i den Baltiska skölden, 1 250–1 600 miljoner år gammal. I Sverige finns jotnisk sandsten i norra Dalarna och Härjedalen, Nordingrå, Bottniska viken och norra Östersjön, Mälaren, Gävletrakten och Småland (Almesåkra).
Kalcit	Mineral bestående av kalciumkarbonat. Huvudmineral i kalksten och ett vanligt sprickmineral.
Kalksten	Bergart bestående av i huvudsak mineralet kalcit.
Kalifältspat	En kaliumrik fältspat.
Klorit	Glimmerliknande, vanligen grönt till svart silikatmineral. Mycket vanligt sprickmineral.
Kol-14	Radioaktivt kol (¹⁴ C) som bildas i atmosfären och inkorporeras i luftens CO ₂ som sedan löses i det infiltrerande vattnet (direkt eller via nerbrytning av organiskt material som tagit upp luftens CO ₂). ¹⁴ C har en halveringstid på 5 730 år. Eftersom vattnets HCO ₃ är påverkat av både biogena processer och jämvikter med karbonatmineral, så kan inte ¹⁴ C _{HCO₃} -analyser fungera som en regelrätt datering av grundvattnet utan får mer ses som en indikation på vilka processer som har ägt rum inom en ungefärlig tidsperiod.
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).
Konduktiv sprickfrekvens	Antalet vattenförande sprickor per längdenhet.
Konduktivitet	Ledningsförmåga, term som vanligen används för elektrisk ledningsförmåga; termen används även för värmeledningsförmåga (termisk konduktivitet) och inom hydrogeologin för en bergarts genomsläpplighet för vatten (se hydraulisk konduktivitet).
Konnektivitet	Mätbart samband mellan två punkter. En hydraulisk konnektivitet kan finnas mellan två punkter som ligger i samma geologiska struktur, till exempel en deformationszon eller en enskild spricka. Hydraulisk konnektivitet påvisas genom att man pumpar (och därmed sänker trycket) i den ena punkten och uppmäter en trycksänkning i den andra punkten.

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. Kvarts är näst fältspat det vanligaste bergartsbildande mineralet.
Kvartsit	Omvandlad kvartsrik sedimentär bergart. Mycket hård, jämnkornig, vanligen vit eller grå.
Kvartsmonzodiorit	Magmatisk djupbergart som huvudsakligen består av plagioklas (en fältspat), kalifältspat, kvarts, hornblände och biotit.
Kvartär	Den senaste geologiska tidsperioden, vilken omfattar tiden från ca 2 miljoner år sedan till nutid.
Landhöjning	Höjning av landytan i förhållande till havsytan.
Lava	Magma som trängt ut på jordytan.
Leptit	Äldre beteckning, särskilt i Bergslagen, på en omvandlad sur vulkanisk bergart. Se metavulkanit.
Lineament	Rak eller svagt böjd långsträckt struktur. Avspeglar strukturer i berggrunden som förkastningar, sprickzoner, gångbergarter eller ytliga åsbildningar. Kan främst studeras på topografiska kartor eller flyg- och satellitbilder, geofysiska kartor eller digitala terrängmodeller (DTM).
Litologi	Beskrivningen av en berg- eller jordart baserad på exempelvis mineralsammansättning, kornstorlek och färg.
Lågsalint vatten	< 1 000 mg/L Cl, dessa vatten är vanligen av Na-Ca-HCO ₃ -(SO ₄)-typ.
Mafisk bergart	Magmatisk bergart som huvudsakligen består av mörkfärgade, järn-magnesiumrika mineral som olivin, pyroxen, amfibol och biotit och/eller plagioklas. Kallas ibland även basisk bergart.
Magasinskoefficient	Magasinsändringen (volymändringen) per tryckändring och ytenhet i en 2-dimensionell vattenförande struktur. Nyttjas grundvatteneenheter är S enhetslös. Se även Specifik magasinskoefficient.
Magmatisk bergart	Bergart bildad ur en bergartssmälta (magma).
Magnetit	Svart, starkt magnetiskt mineral (järnoxid). Viktigt för utvinning av järn.
Manschetter	Avtätningar i borrhål som expanderas mekaniskt, hydrauliskt eller pneumatiskt.
Massformig	Slumpmässig fördelning och orientering av mineralen i en bergart.
Matrisdiffusivitet	Ett ämnes spridning i matrisbergets porer orsakade av koncentrationsskillnader; ett mått på hur snabbt ett ämne kan tränga igenom, diffundera genom, bergmatrisen.
Matrisporisitet	Andelen porer i bergmatrisen.
Meta-	Prefix som används framför bergartsnamn för att indikera omvandlad karaktär (till exempel metavulkanit). Jämför metamorfos.
Metamorf	Omvandlad.

Metamorf bergart	Bergart som omvandlats i jordskorpan på grund av ändrade tryck- och temperaturförhållanden.
Metavulkanit, metavulkaniska bergarter	Omvandlad, ursprungligen vulkanisk bergart.
Meteoriskt vatten	Vatten som har sitt ursprung i regnvatten.
Migmatit	Bergart bildad genom delvis uppsmältning och rekristallation av äldre berggrund.
Mikroklin	Fältspat, vanligen ljusröd. Ett av de vanligaste bergartsbildande mineralen.
Mineral	Fast, oorganisk substans som är definierad genom sin kemiska sammansättning och kristallsymmetri.
Monzonit	Magmatisk djupbergart, huvudsakligen bestående av mineralerna kalifältspat, plagioklas, glimmer, hornblände och/eller pyroxen och kvarts. Kalifältspat och plagioklas i ungefär lika mängder. Färgen är vanligen grå eller röd.
Morän	Jordart som avlagrats av inlandsisen. Moränen har varierande sammansättning av block, sten, grus, sand, mo, mjåla och ler.
Mylonit	Finkornig bergart bildad genom mycket stark plastisk deformation. Se plastisk deformation.
Oligoklas	Bergartsbildande mineral tillhörande fältspaterna plagioklaser. Färglöst, vitt eller grått.
Orogen	Orogent bälte, vanligen långsmalt område av jordskorpan inom vilket bergskedjebildning sker eller har skett.
Orogenes	Bildning av bergskedjor genom rörelser i jordskorpan dvs genom veckning och överskjutning: vid den senaste stora orogenesen bildades den alpina bergskedjan.
Pegmatit	En grovkristallin granitisk bergart som vanligen bildar gångar eller mindre massiv. Exceptionellt grov och varierande kornstorlek. Pegmatiter förekommer i anslutning till stora massiv av djupbergarter, vanligen i form av sprickfyllnader eller linsformiga kroppar.
Petrofysik	Petrofysik är en metod att bestämma bergets fysikaliska egenskaper till exempel densitet (täthet), förmåga att magnetiseras, elektrisk och termisk ledningsförmåga och ett ämnes förmåga att utsöndra joniserad strålning (radioaktivitet).
PFL	Posivas Differensflödesmetod. Utrustning för flödesloggning i kärnbråhåll. PFL står för Posiva Flow Log.
Plagioklas	Mineral tillhörande fältspaterna.
Plastisk deformation	Deformation vid vilken berggrunden reagerar plastiskt, dvs berget beter sig som en trögflytande massa. Vid denna deformation bildas t ex plastiska skjuvzoner med kraftig förskiffring och linjärstruktur. Se deformationszon.
Plutonisk	Bergart som bildats på relativt stort djup under jordytan.
Porfyr	Bergart som karaktäriseras av att enskilda större kristaller (strökorn) ligger spridda i en finkornig mellanmassa (matrix).
Porositet	Porositeten definieras som hålrummens volym per volymsenhet av hela materialet.

Prekambrium	Geologisk tidsålder, omfattande tiden från jordens bildning fram till för ca 545 miljoner år sedan.
PSS	Utrustning (framtagen av SKB) som används för hydrauliska tester i kärnbrorrhål (injektionstester eller pumpning). PSS är en förkortning för Pipe String System, dvs rörgångssystem.
Pumptester	Hydrauliska tester som görs genom att vatten pumpas ur ett borrhål.
Pyroxener	En stor grupp bergartsbildande svarta eller gröna silikatmineral med prismatisk kristallform. Till gruppen hör bland annat augit och diopsid.
R-struktur	Kriterium med ansatt sprickklass på en deformationszon som används av Posiva, Finland. Se deformationszon och bilaga 3.
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 till exempel grundvatten.
Reflektionsseismik	Geofysisk metod som utnyttjar de seismiska vågor som reflekteras i till exempel bergartsgränser eller deformationszoner. Med metoden kan subhorisontella strukturer i berggrunden lokaliseras. Vågorna alstras på konstgjort sätt, till exempel med sprängskott eller vibrerande källa.
Refraktionsseismik	Geofysisk metod som utnyttjar seismiska vågors refraction (brytning) i kontakten mellan olika media i marken, som till exempel jord-berg. Vågorna alstras på konstgjort sätt, till exempel med sprängskott. Metoden används framför allt för bestämning av jorddjup.
Remanens	Egenskap hos ferromagnetiska material som innebär att materialet har en kvarvarande magnetisering även sedan ett pålagt magnetiserande fält har tagits bort.
Resistivitet	Beskriver bergets elektriska ledningsförmåga, vilken i sin tur bestäms av sprickornas innehåll av vatten och elektriskt ledande mineral, till exempel lermineral.
Resivitetslogg	Mätutrustning som används för att bestämma bergets resistivitet längs med borrhål.
Salint vatten	5 000–20 000 mg/L. Dessa vatten kan ha ett icke-marint (dominerar) eller marint ursprung och är av Na-Ca-Cl (\pm SO ₄)-typ.
Sediment	Från luft, vatten eller is avlagrat fast material samt material som ackmulerats genom kemisk utfällning.
Sedimentära bergart	En bergart som består av hopläkt sediment.
Silikat	Kemisk förening mellan kisel (Si) och syre (O). Se även silikatmineral.
Silikatmineral	Den typ av silikat som förekommer i naturen. Över 90 % av jordskorpan består av bergartsbildande silikatmineral, främst fältspat, kvarts, amfiboler, pyroxener och olivin.
Skjuvzon	Deformationszon som kan vara plastisk eller spröd. Se plastisk deformation eller spröd deformation.

Sorption	Fysikalisk och eller kemisk bindning av atomer eller molekyler till en yta.
Sorptionskoefficient	Mått som anger bergarters förmåga att fastlägga olika ämnen på sprickytor och i porer.
Specifikt flöde	Uppmätt flöde per area.
Specifik magasin-koefficient (S_s)	Magasinsändringen (volymändringen) per tryckändring och volymsenhet i en akvifär. Nyttjas grundvatteneenheter har S_s enheten (1/m).
Sprickzon	Se spröd deformation.
Spröd deformation	Deformation vid vilken berggrunden reagerar genom uppsprickning. Vid denna deformation bildas enskilda sprickor och ansamlingar av sprickor till s k sprickzoner. Se deformationszon.
Stokastisk kontinuum modell	En modell som beskriver slumpmässigt fördelade egenskaper i delvolymmer som är fysikaliskt sammankopplade.
Strykning	Riktningen av en planstrukturs (till exempel förskiffring, sprickzon eller bergartskontakt) bäring ($0-359^\circ$ medurs från norr) för planets skärningslinje med horisontalplanet.
Stupning	Den vinkel som en planstruktur (till exempel förskiffring, sprickzon eller bergartskontakt) bildar med horisontalplanet. Stupningen eller planets lutning mäts vinkelrätt mot strykningen.
Susceptibilitet	Magnetisk susceptibilitet betecknar ett ämnes förmåga att magnetiseras och anges som förhållandet mellan det inducerade magnetfältets intensitet och intensiteten av det påverkade (magnetiserande) magnetfältet, till exempel det jordmagnetiska fältet.
Svekokarelska orogenesisen	Den stora bergskedjebildande process (orogenes) som påverkat berggrunden i östra och norra Sverige, större delen av Finland, mindre delar av nordvästra Ryska federationen samt nordligaste Norge. Den hade sin största intensitet för cirka 1 850–1 800 miljoner år sedan. Tidigare benämnd svekofenniska orogenesisen. Se orogenes.
SWIW-test	Single Well Injection Withdrawal. Spårförsök för undersökning av bergets transportegenskaper. Testet utförs i endast ett kärnbrorrhål.
TDS	Total Dissolved Solids = totala mängden lösta ämnen. Anges i denna rapport i mg/L.
Tektonik	Den gren av geologin som behandlar jordskorpan regionala, storskaliga strukturer och de processer som skapat dem.
TOC	Total Organic Carbon.
Tonalit	Sur djupbergart som domineras av kvarts (mer än 65 viktprocent) och plagioklas. Besläktad med granit.
Transmissivitet (T)	Mått på den mängd vatten som kan flöda i planet av en akvifär, som i huvudsak kan ses som en planstruktur, uttryckt som hydraulisk konduktivitet multiplicerad med akvifärens mäktighet. Enhet för T är (m^2/s). Transmissiviteten kan bestämmas genom provpumpning.

Transportmotstånd (F-parametern)	Ett mått på bergets förmåga att fördröja radionuklider, som beror av grundvattenflöde, flödesvägar och flödesvätt yta (år/m).
Tritium	Radioaktiv väteisotop (^3H) som bildas i väldigt låga halter under ostörda förhållanden men som tillfördes atmosfären i betydande mängder under bombtesterna på 1960-talet. Tritium har en halveringstid på cirka 12 år och halterna i regnvattnet har nu sjunkit betydligt. Allt tritiumhaltigt grundvatten har en större eller mindre komponent av vatten som är yngre än 50 år.
Typområde	Benämning på det tiotal områden där SKB under åren 1977–1985 utförde undersökningar av förhållanden på planerat försvarsdjup i berggrunden. Åtta av områdena (Sternö, Klipperås, Kråkemåla, Fjällveden, Finnsjön, Svartboberget, Gideå och Kamlunge) undersöktes med ett flertal djupa borrhål.
Urbergssköld	Konsoliderad och stabil del av den kontinentala jordskorpan.
Utspädningssond	Mätutrustning för borrhål framtagen av SKB som används för att bestämma flöden i sprickor och sprickzoner. Mätmetoden grundar sig på mätning av spädningen av ett till en sektion tillsatt ämne.
Vattengenomsläpplighet (K)	Se hydraulisk konduktivitet.
Vulkanisk bergart, vulkanit	Bergart bildad genom vulkaniska processer, det vill säga utströmning av magma (bergartsmälta) på jordytan som bildar lava eller lager av vulkanisk aska.
Ytbergart	Bergart bildad på eller nära jordens yta genom sedimentära eller vulkaniska processer.
Ådergnejs	En form av migmatit med ådrig struktur. Se migmatit.
Återhämtningsfas	Den period av en hydraultest som åtföljs efter avslutad pumpning eller injektion av vatten från eller till berget.
Ävrögranit	Porfyrisk (med fältspatsströkorn) djupbergart tillhörande smålandsgraniten, med en sammansättning som varierar mellan huvudsakligen granit, granodiorit och kvartsmonzodiorit.
$\delta^{18}\text{O}/\delta^2\text{H}$	Förhållandet mellan de stabila isotoperna ^{16}O och ^{18}O i vatten, vilka mäts och relateras till en standard SMOW (Standard Mean Oceanic Water, dvs havsvatten). På samma sätt analyseras och anges de två stabila väteisotoperna ^1H och ^2H .