

R-99-05

Förstudie Oskarshamn

Bergtekniska data, erfarenheter och bedömningar

Harry Larsson, ROX AB

Bengt Leijon, Conterra AB

Februari 1999

Svensk Kärnbränslehantering AB

Swedish Nuclear Fuel
and Waste Management Co
Box 5864

SE-102 40 Stockholm Sweden

Tel 08-459 84 00

+46 8 459 84 00

Fax 08-661 57 19

+46 8 661 57 19



ISSN 1402-3091

SKB Rapport R-99-05

Förstudie Oskarshamn

Bergtekniska data, erfarenheter och bedömningar

Harry Larsson, ROX AB

Bengt Leijon, Conterra AB

Februari 1999

Denna rapport har gjorts på uppdrag av SKB. Slutsatser och framförda åsikter i rapporten är författarnas egna och behöver nödvändigtvis inte sammanfalla med SKB:s.

Sammanfattning

Denna rapport redovisar en delutredning som ingår i SKB:s förstudie av Oskarshamns kommun. Förstudiens huvudsyfte är att utvärdera förutsättningarna för att lokalisera ett djupförvar för använt kärnbränsle och annat långlivat radioaktivt avfall till kommunen. Vidare skall förstudien belysa de konsekvenser som en sådan lokalisering skulle kunna få för kommunen.

Denna delutredning behandlar de bergtekniska förutsättningarna för att bygga och driva djupförvaret. En inventering har gjorts av data och erfarenheter från berganläggningar i kommunen samt från geovetenskapliga undersökningar som gjorts i olika sammanhang. En stor del av underlaget har hämtats från berganläggningarna på Simpevarpshalvön, däribland CLAB (Centralt Lager för Använt Bränsle), samt från Äspölaboratoriet. I mindre utsträckning har även data från bergtäkter och bergundersökningar kunnat nyttjas.

Bedömningar av kommunens berggrund med avseende på djupförvarets långsiktiga säkerhet har visat att det i första hand är de stora områden som domineras av Smålandsgranit som kan ge lämpliga förutsättningar för en lokalisering. Allmän erfarenhet från bergbranschen visar att denna typ av berggrund också skulle ge goda förutsättningar för att bygga och driva ett djupförvar. Denna generella bedömning styrks av de data som finns från anläggningar och undersökningar i kommunen. En viktig reservation är dock att de bergegenskaper som styr byggförutsättningarna erfarenhetsmässigt uppvisar stora lokala variationer. Det innebär dels att de bedömningar som kan göras i nuvarande skede blir översiktliga, dels att generaliseringar av erfarenheter från befintliga anläggningar måste göras med försiktighet.

Förutsättningarna för en lokalisering av djupförvaret i anslutning till de befintliga kärntekniska anläggningarna på Simpevarpshalvön studeras speciellt i förstudien. Att döma av erfarenheterna från befintliga berganläggningar och borrhål på Simpevarpshalvön är förhållandena för bergbyggnad goda. Anläggningarna ligger dock relativt nära ytan, och det krävs ytterligare undersökningar för att klarlägga bergförhållandena på djupet. Exempel på kvarstående osäkerheter är lägen och egenskaper hos sprickzoner i området, samt vilka belastningar som råder på större djup.

Inom avstånd som kan nås med en tunnel från Simpevarp finns stora områden inom vilka det finns goda utsikter att finna platser som ger bra bergtekniska förhållanden för ett djupförvar. Det kan även gälla områden under havet, men det saknas geologiskt underlag för att närmare bedöma detta alternativ. Generellt ger dock en förläggning under havet klara nackdelar med avseende på både bygge och drift av anläggningen. En betydelsefull försvarande faktor är att all kommunikation och försörjning skulle få ske via tunnel, eftersom det inte är möjligt att anlägga schakt mellan förvaret och ytan.

Innehållsförteckning

1	Inledning	7
2	Djupförvaret	9
2.1	Allmänt	9
2.2	Berganläggningar	12
2.3	Utbyggnad och drift	13
3	Bergtekniska krav och förutsättningar	15
3.1	Allmänt	15
3.2	Projektering och bygganalys	15
3.3	Viktiga faktorer	16
3.3.1	Stabilitet	17
3.3.2	Grundvatten	20
3.3.3	Andra faktorer	21
4	Bedömningsunderlag från förstudien	23
4.1	Syfte och begränsningar	23
4.2	Tillgängliga data	24
4.2.1	Äspölaboratoriet	24
4.2.2	Oskarshamnsverket och CLAB	25
4.2.3	Borrhålsundersökningar	28
4.2.4	Övriga data	25
5	Berggrunden i Oskarshamns kommun	29
5.1	Bergarter och deformationszoner	29
5.2	Bergspänningar	31
5.3	Vattenföring	31
5.4	Radon	32
6	Oskarshamnsverket och CLAB	35
6.1	Bakgrund	35
6.1.1	Oskarshamnsverket	35
6.1.2	CLAB	35
6.1.3	Läge och situationsplan	36
6.2	Oskarshamnsverket	37
6.2.1	Allmänna data	37
6.2.2	Bergbyggnad block 1 och 2	37
6.2.3	Bergbyggnad block 3	39
6.3	CLAB	44
6.3.1	Allmänna data	44
6.3.2	Bergbyggnad	47
6.4	Bergbyggnadstekniska erfarenheter	52

7	Äspölaboratoriet	55
7.1	Bakgrund	55
7.2	Allmänna data	55
7.3	Berggrundsundersökningar	56
7.4	Bergbyggnad	59
7.5	Bergbyggnadstekniska erfarenheter	63
8	Bergtäkter, gruvor och övriga anläggningar	67
8.1	Inledning	67
8.2	Stenbrott	67
8.3	Övriga bergtäkter	70
8.4	Gruvor	70
8.5	Övriga anläggningar	70
8.6	Bergbyggnadstekniska erfarenheter	71
9	Övriga data	73
9.1	Inledning	73
9.2	Bergkvalitet	74
9.3	Bergspänningar	74
9.4	Hydraulisk konduktivitet	76
9.5	Vattenkemi	76
9.6	Bergbyggnadstekniska erfarenheter	79
10	Lokaliseringsförutsättningar	81
10.1	Allmänt	81
10.2	Lokaliseringsfall	81
	Referenser	85

1 Inledning

Denna delrapport ingår i den serie av rapporter som redovisar utredningar utförda i samband med SKB:s förstudie av Oskarshamns kommun. Förstudiens huvudsyfte är att utvärdera förutsättningarna för att lokalisera ett djupförvar för använt kärnbränsle och annat långlivat radioaktivt avfall till kommunen. Vidare skall förstudien belysa de konsekvenser som en sådan lokalisering skulle kunna få för kommunen (Eng, 1997).

I förstudien görs utredningar för att få fram ett brett underlag om de faktorer som på olika sätt har betydelse för lokaliseringsförutsättningarna. Utredningarna behandlar följande fyra huvudområden:

- | | |
|-------------------------|--|
| Säkerhet | Avgörande för lokaliseringen är att kraven på långsiktigt säker förvaring kan uppfyllas på den plats som väljs. Här har bergförhållandena central betydelse. En stor del av förstudiens utredningsarbete ägnas därför åt att sammanställa och analysera tillgänglig geovetenskaplig information. |
| Teknik | Utredningar om förutsättningarna för att bygga och driva de anläggningar, ovan och under jord, som ett djupförvar skulle innefatta. En viktig del är också möjligheterna att ordna erforderliga transporter. |
| Mark och miljö | Utredningar om faktorer relaterade till marktillgång, markanvändningsintressen och djupförvarets effekter på miljön. |
| Samhällsaspekter | Utredningar om kopplingen mellan djupförvarsprojektet och samhället. Både samhällets förutsättningar för en lokalisering och de konsekvenser som en etablering i kommunen skulle få studeras. |

I dagsläget (januari -99) har flertalet av förstudiens delutredningar färdigställts och publicerats. Under våren 1999 planerar SKB att sammanställa allt utredningsmaterial i en preliminär slutrapport.

Denna delutredning syftar till att bidra med underlag om förutsättningarna för att bygga och driva djupförvarets berganläggningar. Rapporten ger först en allmän beskrivning av det planerade djupförvaret, som berganläggning betraktat, och av den tekniska planeringsprocess som föregår byggandet (kapitel 2). Vidare redovisas bergrelaterade faktorer och parametrar som allmänt är viktiga att beakta vid byggande i berg (kapitel 3). Med detta som bakgrund redovisas resultatet av en inventering som gjorts av bergbyggnadstekniska data och erfarenheter från Oskarshamns kommun (kapitel 4 t o m 9). Tillsammans med andra geovetenskapliga utredningar ger den information som sammanställts underlag för en första bedömning av de bergtekniska förutsättningarna att bygga och driva ett djupförvar i kommunen.

2 Djupförvaret

2.1 Allmänt

Figur 2-1 visar en principskiss av det planerade djupförvaret samt allmänna data om anläggningarna ovan och under jord. Den centrala verksamheten vid anläggningarna blir att ta emot kapslar med använt kärnbränsle och att deponera dem i utvalda positioner i berget på cirka 500 meters djup, där de omges med bentonitlera. Kapseln och bentonitleran utgör, liksom berggrunden, skyddsbarriärer som ska isolera det radioaktiva avfallet från biosfären under mycket långa tidsrymder. De krav, principer och tekniska åtgärder som ligger till grund för förvarets funktion och säkerhet har behandlats i andra sammanhang, och berörs inte närmare här. En aktuell redovisning ges i SKB:s FUD-program 98 (SKB, 1998a).

Djupförvaret kan beskrivas som en större berganläggning, väsentligen sammansatt av ett stort antal tunnlar samt ett mindre antal schakt och andra bergutrymmen. Ovan jord finns en industrianläggning med byggnader för olika ändamål, transportvägar m m. Förbindelser mellan marknivån och underjordsdelarna sker via schakt och eventuellt en lutande tunnel (ramp). Vidare behövs schakt för ventilation och annan kommunikation.

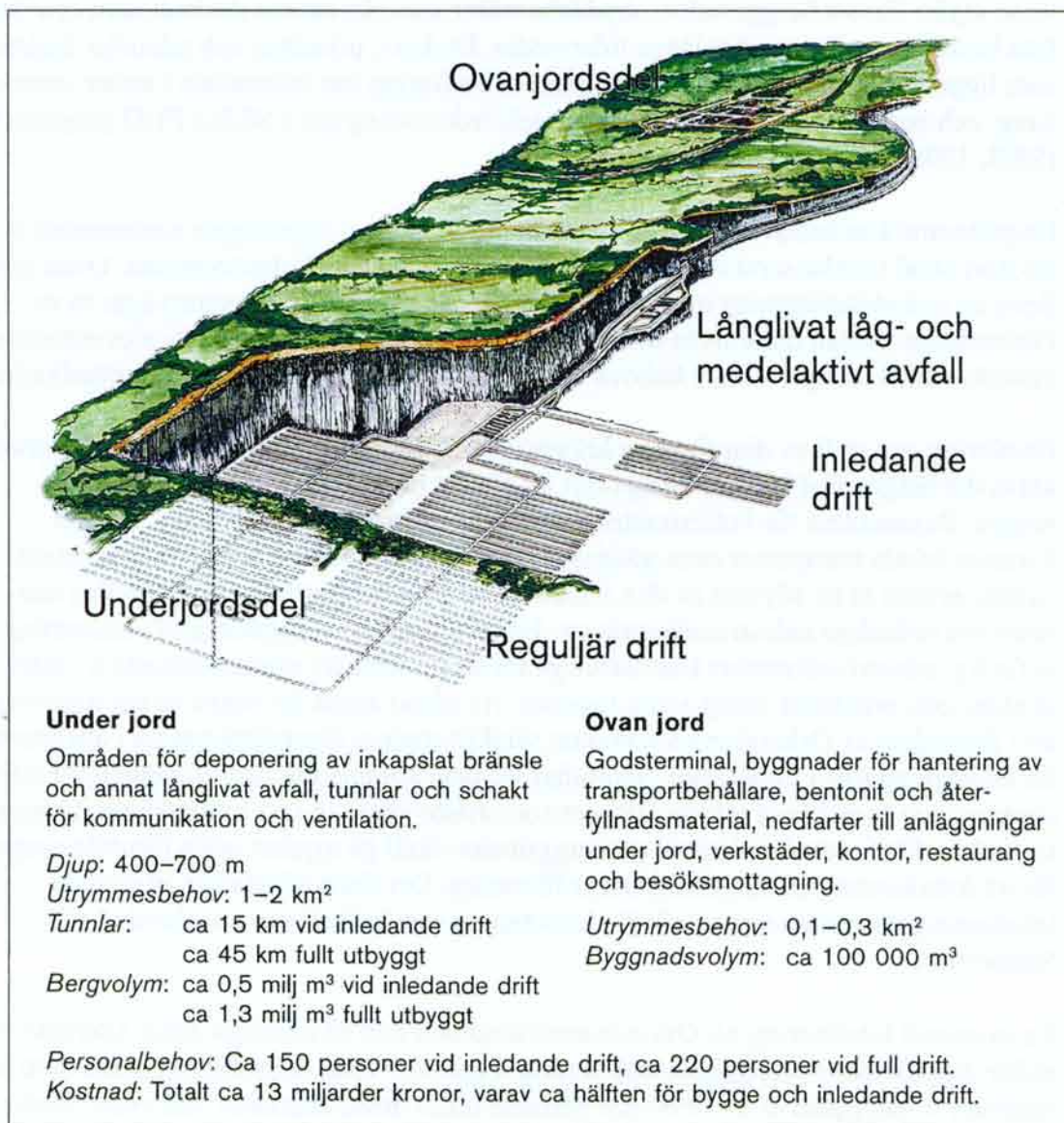
Etablering och drift av djupförvaret kräver viss infrastruktur. Beroende på lokalisering krävs det längre eller kortare transporter av använt bränsle från inkapslingsanläggningen. Bentonitlera för buffertmaterial kommer att importeras sjövägen. Till det kommer lokala transporter samt gängse försörjning med elkraft, telekommunikation, vatten, avlopp m m. Mycket av den infrastruktur som behövs finns i regel redan etablerad vid befintliga industrianläggningar. En lokalisering av djupförvaret i anslutning till befintlig industriverksamhet kan därför ge fördelar i form av samutnyttjande av infrastruktur och eventuellt också andra resurser. Av bland annat det skälet är det motiverat att i förstudien av Oskarshamns kommun särskilt studera förutsättningarna i anslutning till anläggningarna i Simpevarp. Samtidigt får man komma ihåg att tillgången till infrastruktur bara är en bland många faktorer som måste vägas in i en samlad bedömning (se kapitel 1). Ett överordnat krav är att berggrunden skall ge mycket goda förutsättningar för att åstadkomma en långsiktigt säker förvaring. Det finns alltså skäl att studera lokaliseringsförutsättningarna såväl i kommunen som helhet som i anslutning till Simpevarp.

En eventuell lokalisering till Oskarshamns kommun kan då innebära olika alternativ vad gäller djupförvarets principiella utformning. Figur 2-2 visar de huvudalternativ som är tänkbara. Lindemalm m fl (1998) har närmare utrett dessa alternativ vad avser möjlig placering och utformning av anläggningar ovan jord, transportmöjligheter mm.

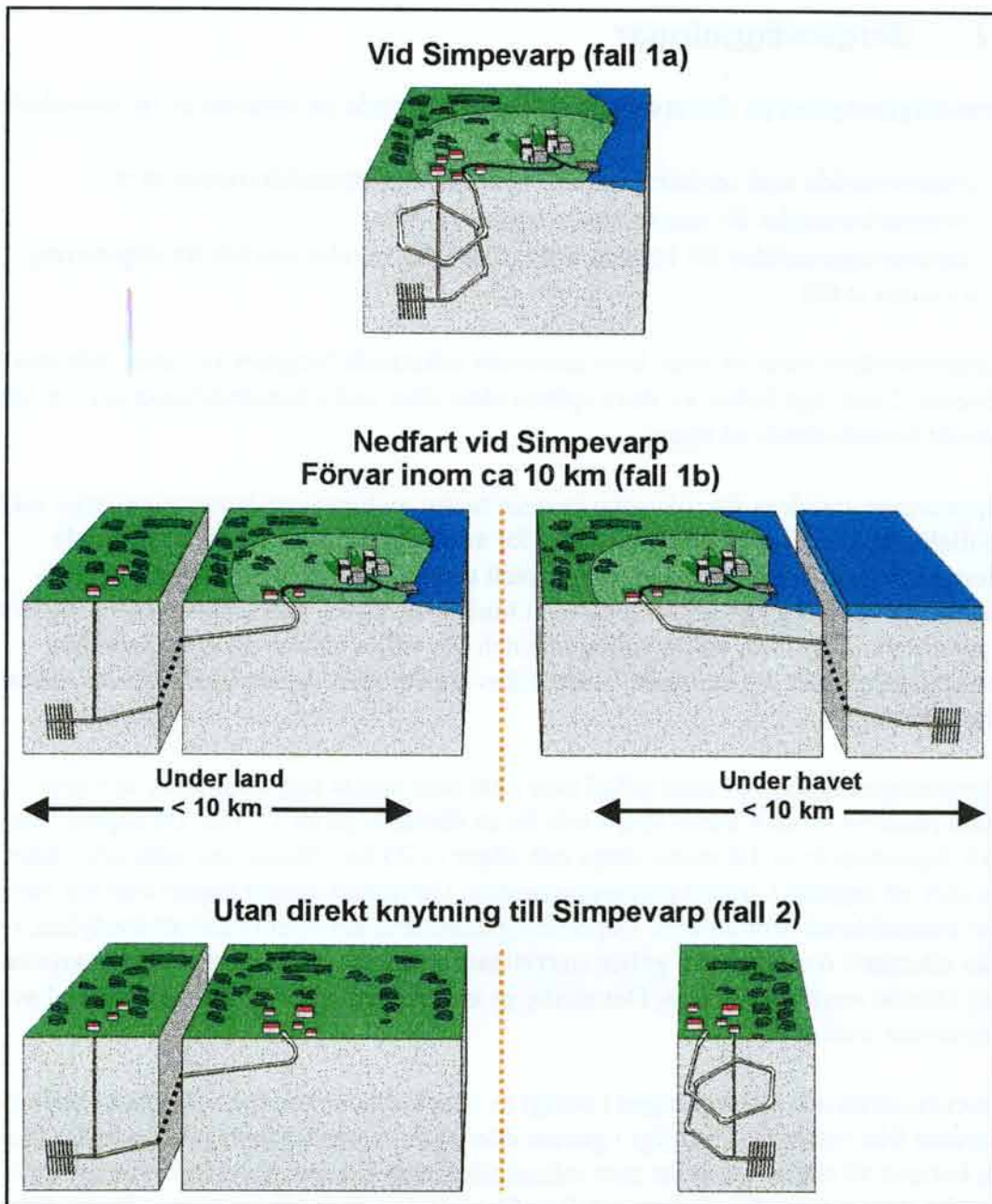
Det första alternativet innebär en förläggning i anslutning till anläggningarna i Simpevarp. Om förvaret till någon del kan placeras rakt under anläggningarna på ytan kan transporterna ske antingen via ramp eller schakt (fall 1a i Figur 2-2). Om förvaret sidoförskjuts relativt Simpevarpshalvön (fall 1b) sker transporterna via ramp. Förutom schakt för ventilation anläggs då troligen också ett schakt för persontransporter och en

mindre anläggning ovanför förvaret, medan huvuddelen av verksamheten finns i anslutning till rampnedfarten. Med denna variant kan man tänka sig en sidoförskjutning på åtskilliga kilometer, kanske upp till 10 km. En annan variant kan vara att förvaret placeras under havet, varvid all kommunikation av uppenbara skäl måste ske via ramp.

Det andra huvudalternativet (fall 2 enligt figuren) innebär att såväl förvaret som industrianläggningen på ytan förläggs helt avskilt från befintliga anläggningar. Även för detta alternativ kan man tänka sig olika varianter vad gäller inbördes placering av förvaret och anläggningarna på ytan.



Figur 2-1. Djupförvaret.



Figur 2-2. Principiella alternativ för placering av djupförvarets anläggningar vid en lokalisering till Oskarshamns kommun.

2.2 Berganläggningar

Berganläggningarna på försvarsnivå består med avseende på funktion av tre huvuddelar:

- centralområde med omlastningshall, verkstäder, personalutrymmen m m,
- förbindelsetunnlar för transporter, ventilation m m,
- deponeringsområden för kapslar och ett särskilt, mindre område för deponering av annat avfall.

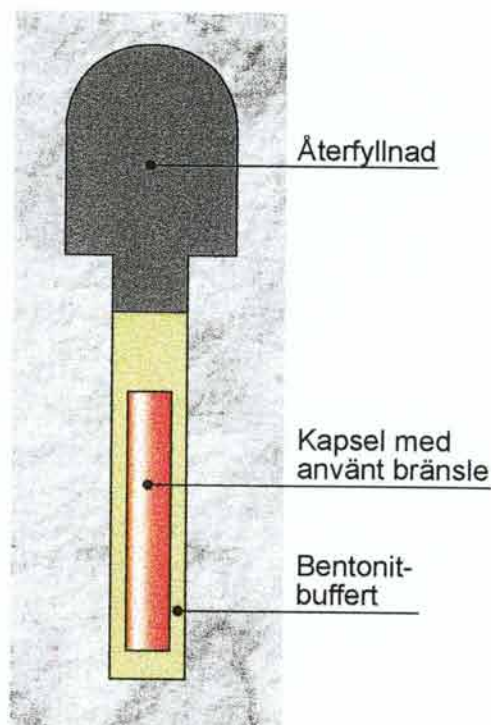
I centralområdet finns ett antal konventionellt utformade bergtrum av varierande storlek. Generellt finns inga behov av stora spännvidder eller andra konstruktioner som är bergtekniskt komplicerade att bygga.

Deponeringsområdena för inkapslat bränsle består av horisontella tunnelgallerier med parallella tunnlar. Det särskilda området för annat avfall har en något annorlunda utformning med större förvaringsrum. Totalt upptar deponeringsområdena en uppskattad yta på en dryg kvadratkilometer. Områdenas lägen, tunnarnas orientering m m är parametrar som i stor utsträckning kan och bör väljas utifrån platsens specifika förutsättningar. Det bör exempelvis undvikas att deponeringsområden skärs av större sprickzoner.

Deponeringen av kapslar med avfall sker i hål som borrar från tunnarna, se Figur 2-3. Hålen planeras bli ca 8 meter djupa och ha en diameter på ca 1,75 m. De kapslar som skall deponeras är ca 4,8 meter långa och väger ca 25 ton. Slutgiltiga mått och vikter kommer att avgöras i senare planeringsskedan. Utrymmet mellan kapsel och hål återfylls med kompakterad bentonitlera. Deponeringstunnarna kommer också att återfyllas, och olika alternativ övervägs vad gäller återfyllnadsmaterial. Huvudalternativet är krossat berg blandat med bentonitlera. Det skulle ge möjlighet att återanvända en stor del av de bergmassor som sprängs ut.

Dimensionerna och utformningen i övrigt av djupförvarets tunnlar och schakt skiljer sig knappast från vad som är vanligt i gruvor eller andra berganläggningar. Speciella krav kan komma att ställas på täthet mot vatteninläckning, skadezoner från brytning samt metoder och material för tätning och bergförstärkning. Drivningsmetoder för de olika tunneltyperna har inte fastställts. Det finns två huvudalternativ, antingen konventionell borrhning och sprängning eller alternativt så kallad tunnelborrhning, varvid hela tunnelprofilen borrar i en operation.

Ungefärliga tunnellängder och bergvolym som ska brytas ut vid djupförvaret framgår av Figur 2-1. De exakta mängderna beror på de anpassningar av anläggningens geometri och detaljkonstruktion som kommer att göras med hänsyn till bergförhållandena på den plats som väljs. Jämförelser med befintliga anläggningar kan ge en uppfattning om den aktuella bergvolymen. Om man lägger ihop de bergvolym som sprängts ut för kärnkraftsblocken i Simpevarp (grundläggning, kylvattentunnlar mm), CLAB och Äspölaboratoriet blir totalvolymen ca 1,4 miljoner kubikmeter, dvs jämförbar med totalvolymen från det planerade djupförvaret. Förläggningdjupet för djupförvaret – ca 500 m – är större än vad som är vanligt för berganläggningar (inklusive de i Simpevarp), men jämförbart med Äspölaboratoriet och svenska underjordsgruvor.



Figur 2-3. Tunnel med deponeringshål.

2.3 Utbyggnad och drift

När underjordsarbetena för djupförvaret inleds har platsen undersökts ingående från markytan och i borrhål. Detta görs under den lokaliseringsprocess som lett fram till valet av plats. Bergarbetena börjar med att schakt eller ramp byggs ner till förvarsnivån. Parallellt görs ytterligare undersökningar från de utrymmen som successivt blir tillgängliga för att kartlägga berget mera i detalj än vad som är möjligt från markytan.

Utbyggnaden på förvarsnivån och idrifttagandet av anläggningen sker i etapper. I en första etapp anläggs gemensamma utrymmen samt ett mindre deponeringsområde avpassat för en fas med inledande provdrift. Denna provdrift planeras omfatta ca 400 kapslar med använt kärnbränsle. Det motsvarar ungefär tiondelen av det totala antalet kapslar som det svenska kärnenergiprogrammet beräknas generera. Den inledande provdriften följs av en genomgripande utvärdering. Det ger möjlighet att ta tillvara driftserfarenheter och att allmänt beakta den utveckling som skett under tiden. Möjlighet finns att i detta skede återta de deponerade kapslarna, om man av någon anledning skulle finna det nödvändigt. Möjligheterna till återtag, liksom möjliga hanteringsvägar därefter, har redovisats av SKB (SKB 1998b).

Faller utvärderingen väl ut fortsätter driften tills allt använt kärnbränsle och övrigt avfall deponerats. Nya deponeringsområden byggs då ut successivt, i den takt de behöver tas i anspråk. Berg- och installationsarbeten kommer därför att pågå under lång tid, parallellt med driften. I sin helhet omfattar djupförvarets utbyggnad och drift en tidsperiod på ca 40 år.

3 Bergtekniska krav och förutsättningar

3.1 Allmänt

Valet av plats för anläggningen liksom utformning och konstruktion styrs av en rad krav och önskemål knutna i första hand till anläggningens långsiktiga radiologiska säkerhet och funktion, men också till teknisk genomförbarhet, arbetsmiljö och yttre miljöpåverkan. Till grundkraven hör att berggrunden där djupförvaret anläggs måste ha sådana egenskaper att alla arbeten i samband med byggande och drift kan utföras så att krav på personsäkerhet och arbetsmiljö i övrigt uppfylls, med känd teknik och med god kontroll på erforderliga arbetsinsatser, tidsåtgång och kostnader. Det innebär bland annat att stabila tunnlar och schakt skall kunna konstrueras och att bergdriften skall kunna ske med full kontroll på stabilitet och vatteninläckning.

Allmänt ger relativt sprickfattigt berg av bra kvalitet och med få större sprickzoner byggtekniska fördelar. En enhetlig geologisk miljö med homogena och enkla bergförhållanden ger också fördelar i form av bl a goda möjligheter att förutsäga byggförhållandena och få ett rationellt byggande. Omvänt ger dålig bergkvalitet eller starkt heterogen berggrund nackdelar, och kan innebära direkt olämpliga förhållanden för ett djupförvar. Detsamma gäller berggrund med mycket höga, eller på annat sätt onormala bergspänningar.

I internationell jämförelse ger det urberg som täcker merparten av Sveriges yta goda förutsättningar för bergbyggnad. En viktig orsak är att de dominerande bergarterna har hög hållfasthet. Studerar man erfarenheterna från olika regioner inom urbergsområdet så finner man att det är svårt att peka ut några avgörande regionala skillnader i byggförutsättningarna (SKB, 1995). De variationer som uppträder i lokal skala – t ex vid övergång från en bergart till en annan – har ofta långt större betydelse för byggmiljön än eventuella regionala särdrag.

3.2 Projektering och bygganalys

SKB bedriver sedan länge vad som i dagligt tal benämns projektering av djupförvaret, d v s ett tekniskt planeringsarbete för att successivt detaljera konstruktion beräkna personal- och materialbehov samt göra kostnadsuppskattningar. En redovisning av nuläge och program för detta arbete ges i FUD-program 98 (SKB, 1998a). Projekteringen grundar sig bl a på de krav och allmänna förutsättningar som beskrivits ovan. Till stor del består arbetet i att med etablerad teknik som verktyg konstruera delsystem, samt koppla samman dessa till en helhet. Inom vissa delområden krävs mera omfattande utvecklingsinsatser för att ta fram de tekniska lösningar som skall tillämpas.

Projekteringen av djupförvaret löper parallellt med lokaliseringsprocessen och sker i definierade steg, där varje steg motsvarar en ökad detaljeringsnivå. En mycket viktig faktor är vilka data om berggrunden som finns tillgängliga som underlag för projekteringen i olika skeden. I tidiga skeden, fram till dess att lokaliseringsarbetet för djupförvaret nått så långt att undersökningar görs på konkreta platser, baseras arbetet på generella bakgrundsdata och allmän kunskap om vad som är typiska förhållanden och för svenskt urberg.

Översiktsstudier i regional skala och förstudier ger en första möjlighet att beakta regionala och lokala data. Dessa data är viktiga för översiktliga bedömningar av lokaliseringsförutsättningarna i en region eller kommun. Men grunden för det konkreta projekteringsarbetet är fortfarande i allt väsentligt den allmänna bakgrundskunskapen. En förstudie ger inte det underlag om berggrunden som behövs för att ta fram en förvarsutformning som är anpassad till lokala förhållanden.

De platsundersökningar som sedan planeras på minst två platser i landet innebär ingående undersökningar, från markytan och i borrhål, inom begränsade områden. Därmed förbättras dataunderlaget för projekteringen drastiskt, varför projekteringen då kan inriktas på att anpassa förvarsutformning och konstruktionslösningar till plats-specifika bergförhållanden.

Liksom projekteringen i sin helhet måste de bedömningar av de bergbyggnadstekniska förutsättningarna som görs i tidiga skeden i huvudsak baseras på allmän kunskap och erfarenhet. Inriktningen är att identifiera och värdera faktorer som är viktiga ur lokaliseringssynpunkt, särskilt förhållanden som kan vara negativa eller utgöra direkta hinder mot en lokalisering. När data från platsundersökningar blir tillgängliga kan bygganalysen inriktas mer mot direkta prognoser av drivningsförhållanden, teknikval, beräkningar av kostnader och tidsåtgång m m, för att totalt sett optimera byggande och drift.

3.3 Viktiga faktorer

Generellt kan man peka på två faktorer som har avgörande betydelse för byggande och drift av berganläggningar, nämligen:

- *Stabilitetsförhållanden* i de bergutrymmen som tillskapas.
- *Grundvattnets effekter*, i form av inläckage till anläggningen m m.

Dessa faktorer är beroende av såväl berg- som konstruktionsparametrar. I det följande behandlas några viktiga bergparametrar närmare, eftersom de är dessa som står i fokus vid bedömningar av de bergbyggnadstekniska lokaliseringsförutsättningarna. Vidare omnämns några andra faktorer som kan vara av betydelse, däribland möjliga arbetsmiljöproblem till följd av höga radonhalter.

3.3.1 Stabilitet

Begreppet "bergets stabilitet" betecknar olika saker i olika sammanhang, varför missförstånd är vanliga. En geolog menar kanske främst geologiska processer för miljontals år sedan, eller framtida jordskalv och de effekter dessa yttre fenomen kan ha. En bergbyggare avser snarare stabiliteten på konstruktionen som sådan, och associerar till parametrar som spännvidd på tunnlar, risk för stenedfall och behov av bergförstärkning. Det är den innebörd som bergbyggaren lägger i stabilitetsbegreppet som avses här.

De egenskaper hos berggrunden som påverkar stabilitetsförhållandena i en berganläggning är principiellt belastningarna – *bergspänningarna* – och bergmassans egenskaper som konstruktionsmaterial – *bergkvalitén*.

De bergspänningar som råder i berggrunden kan ytterst spåras till gravitationen (bergets egentyngd) och yttre krafter relaterade till storskaliga geologiska processer som kontinentalförskjutning och erosion. Bergspänningarna ökar generellt med djupet, men uppvisar i övrigt betydande lokala variationer. I svenskt urberg är den dominerande belastningen i regel riktad mer eller mindre horisontellt.

Mekanisk spänning mäts (numera) i enheten MPa (MegaPascal). 1 MPa motsvarar drygt 10 kp/cm². Typiska värden för bergspänningarna på 500 meters djup är 10–25 MPa, alltså ca 100–250 kp/cm².

Bergkvalitén styrs av en rad parametrar varav bergartens hållfasthet, sprickgeometrin (frekvens, orientering, utbredning) och sprickornas hållfasthetsegenskaper är de viktigaste. Alla dessa egenskaper är funktioner av bergets geologiska historia, varför bergkvalitén i än högre grad än bergspänningarna är knuten till den lokala geologin. Förhållandena kan växla avsevärt mellan olika geologiska enheter. Större sprickzoner uppvisar ofta radikalt sämre bergkvalitet än bergmassan i gemen. Lägen och karaktär på sprickzoner är därför viktiga parametrar ur byggsynpunkt.

Ofta beskrivs bergkvalitén i allmänna termer som till exempel "god" eller "mycket god", utan att man närmare anger vad dessa begrepp står för. För att fortsättningsvis definiera begreppen redovisas i Tabell 3-1 huvudklasserna i två allmänt använda system för klassificering av bergkvalitet, nämligen RMR-systemet och Q-systemet. Båda systemen bygger på definierade och någorlunda mätbara grundparametrar som på empirisk väg kombineras till indexvärden. RMR står för "Rock Mass Rating" och utvecklades ursprungligen i Sydafrika. Q-systemet har sitt ursprung i Norge och bygger på data från berganläggningar i Skandinavien. Beskrivningar av klassificeringssystemen och hur de används finns i flertalet bergmekaniska handböcker, se t ex Bieniawski (1989).

Beroende på kombinationen av belastningar och bergkvalitet (och en rad konstruktionsparametrar) kan stabilitetsproblem av olika slag förekomma i berganläggningar. För att få fullgod stabilitet kring tunnlar och andra bergutrymmen krävs i regel någon form av bergförstärkning. Bergbultar, dvs stålstänger som gjuts eller spänns in i borrhål är den vanligaste metoden för bergförstärkning. Även betongsprutning av bergytorna är vanligt. I svårare fall, t ex vid passage av sprickzoner med mycket dåligt berg, kan det krävas tyngre konstruktioner av stål eller betong för att hålla utrymmet stabilt.

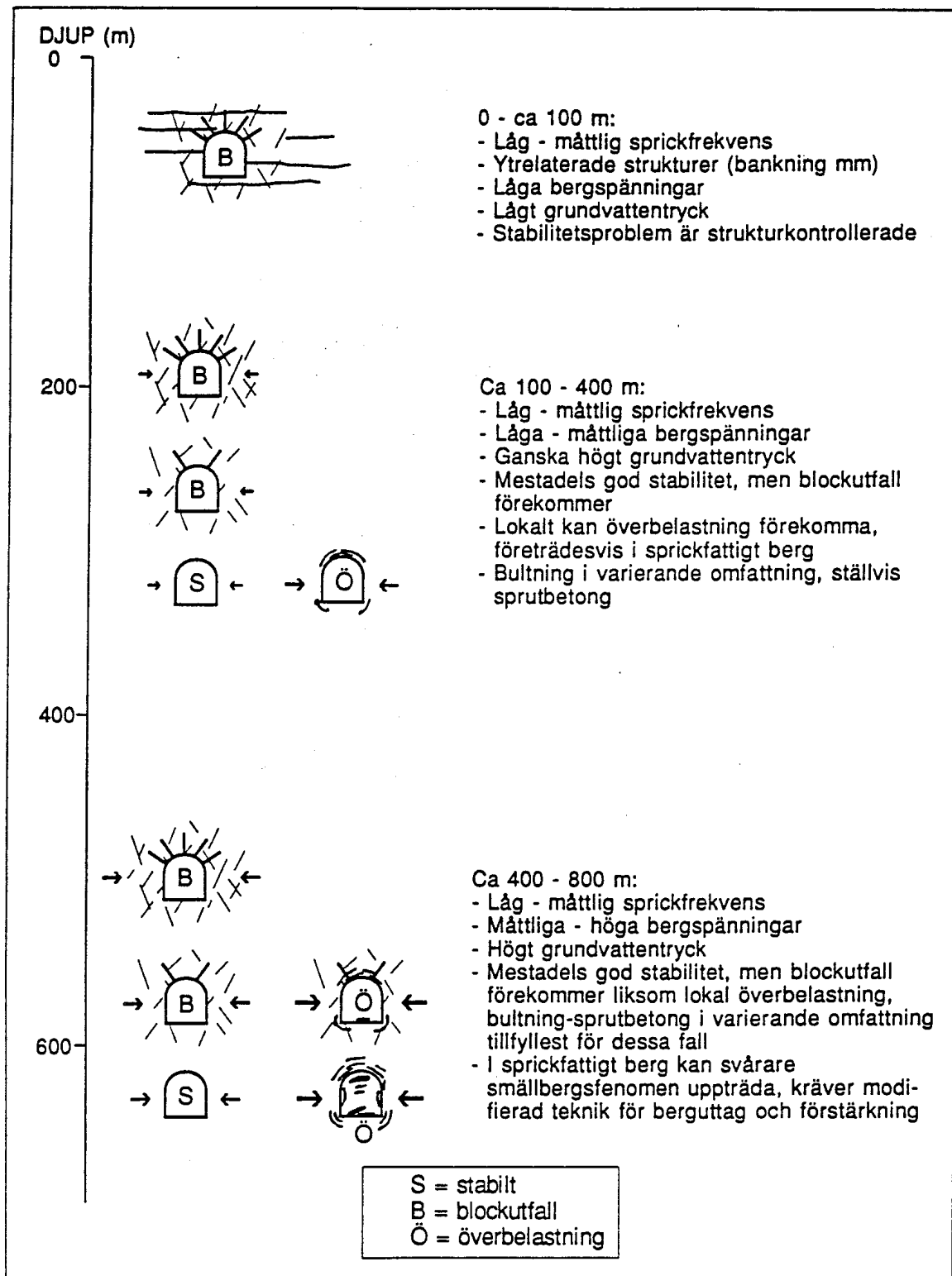
Tabell 3-1. Nomenklatur för beskrivning av bergkvalitet.

Beskrivning	Ungefärliga värden vid klassificering	
	Q-systemet	RMR-systemet
Mycket bra berg	>100	72–100
Bra berg	10–100	60–72
Medelgott berg	1–10	40–60
Dåligt berg	0,1–1	20–40
Mycket dåligt berg	<0,1	0–20

Figur 3-1 illustrerar tänkbara förhållanden i tunnlar inom det djupintervall som en djupförvarsanläggning innefattar. De troliga scenariot ändras en del med djupet, mest beroende på den successiva ökningen av bergspänningarna. Generellt kännetecknas anläggningar i svenskt urberg av goda stabilitetsförhållanden även om det finns välkända undantag. De problem som förekommer är till övervägande del blockutfall i varierande omfattning. Blocken formas av sprickorna i bergmassan och stabiliteten styrs i hög grad av sprickgeometrin i relation till tunnelns. Bultning är den vanligaste åtgärden för bergstabilisering i denna miljö men även sprutbetong och nätning används.

Bergspänningarna kan ha både positiv och negativ inverkan på stabiliteten. Måttliga belastningar är i regel gynnsamma därför att de "låser" bergblocken vid varandra vilket skapar bärkraftiga valv ovanför tunnelarna. Detta är den normala situationen på aktuella djup. Om spänningarna är höga kan man dock få oönskade effekter i form av sönderbrytning av berget närmast tunneln. Under vissa förutsättningar kan sådan överbelastning leda till så kallat smällberg, som innebär att sönderbrytningen sker plötsligt och med ljudeffekter, varvid bergskivor kan kastas ut från tunnelns tak eller väggar. Till skillnad från andra stabilitetsproblem uppträder smällberg företrädesvis i sprickfattigt berg med hög hållfasthet. Sönderbrytningen förutsätter att belastningarna överskrider hållfastheten. Smällberg är därför ovanligt, utom på stora djup. Undantag finns, och man har i vissa fall observerat smällbergsfenomen på djup mindre än 200 m. Ofta är uppträdandet lokalt och knutet till lokala förhöjningar av bergspänningarna i anslutning till större geologiska strukturer. Konsekvenserna av de skador på berget som uppstår varierar inom mycket vida gränser. Smärre belastningsskador har ringa inverkan på drivningen och tillhör vardagen i många anläggningar, särskilt gruvor. Smällberg i större omfattning kan vara en allvarlig störningskälla som kräver anpassning av drivningsteknik och bergförstärkning.

Större sprickzoner kan uppvisa en bergkvalitet som är starkt varierande och radikalt sämre än det "normala" berget. Hög sprickfrekvens liksom närvaro av kemiska och mekaniska omvandlingsprodukter med ibland jordliknande egenskaper bidrar till låg bärförmåga hos berget. Extrabelastningar i form av svällande leror eller, på större djup, höga vattentryck kan ytterligare försämra stabiliteten. Tunneldrivning genom sprickzoner kan därför kräva modifierad drivningsteknik och helt andra förstärkningsinsatser än i omgivande berg.



Figur 3-1. Tänkbara stabilitetsförhållanden i tunnlar på olika djup. Behovet av konventionell bergförstärkning, framförallt bultning, för att förhindra blockutfall varierar med bergkvalitén. Bergspänningarna ökar med djupet och belastningsrelaterade stabilitetsproblem kan uppträda.

3.3.2 Grundvatten

Den för byggandet och i driften viktigaste konsekvensen av grundvattnet är inläckage till anläggningen. Bergmassans konduktivitet (vattengenomsläpplighet) har avgörande betydelse för inläckningen. Konduktiviteten avgörs framförallt av spricksituationen, som alltså har stor betydelse för både stabilitet och täthet. Sprickzoner har ofta långt högre konduktivitet än det omgivande berget och fungerar då som huvudsakliga transportleder för grundvatten. Tunneldrivning genom sprickzoner kan därför åtföljas av stora vatteninläckage om inte speciella tätningsåtgärder vidtas. Även enskilda sprickor i för övrigt bra berg kan vara kraftigt vattenförande.

Andra viktiga parametrar är bergets magasinsegenskaper och grundvattentrycket. Vattentrycket i ostört berg ökar proportionellt med djupet under grundvattenytan. Inläckaget kan därför bli väsentligt svårare att hantera med ökande djup. Höga grundvattentryck kan i vissa fall också utgöra ett hot mot stabiliteten i en tunnel, företrädesvis i zoner med dålig bergkvalitet.

I driftsskedet kan inläckande vatten förutom kostnader för uppfordring förorsaka åldringsfenomen i form av korrosion av bergförstärkning och andra installationer, i vissa bergarter även vittring av exponerade bergytor. Åldringseffekterna kan påverka behovet av kontroll och underhåll av anläggningen. Grundvattnets kemiska sammansättning har stor betydelse i sammanhanget. Höga naturliga salthalter i vattnet ger starkt korrosiv miljö, med speciella material- och konstruktionskrav på installationer som följd.

Inläckaget till berganläggningarna i ett djupförvar kommer där så krävs att begränsas med tätningsåtgärder. Den viktigaste tätningsmetoden är injektering, varvid tätningsmedel pressas ut i bergmassan via borrhål. Injektering kan göras framför drivningsfronten (förinjektering) eller i efterhand (efterinjektering). Till övervägande del används cementbaserade tätningsmedel, men det förekommer också andra typer. Kontroll av vatteninläckningen är nödvändig av flera skäl. Dels måste tillflödet begränsas för att byggande och drift skall kunna ske med fullgod personsäkerhet och effektivitet, dels vill man begränsa påverkan på grundvattensystemet i sin helhet, eftersom störningar kan ge omgivningspåverkan i form av sänkt grundvattennivå. SKB bedriver sedan länge utvecklingsarbete för att anpassa injekteringstekniken till djupförvarets kommande behov (SKB, 1998a).

För att säkerställa den långsiktiga funktionen hos skyddsbarriärerna (kapsel och bentonitbuffert) efter förslutning ställs vissa krav på den kemiska miljön i djupförvaret. Detta kan innebära begränsningar vad gäller material som tillförs djupförvaret under bygg- och driftsskedena och som blir kvar efter förslutning. Det kan även gälla tätningsmedel för injektering, men såvitt kan bedömas kommer dessa begränsningar inte att utgöra något hinder ur praktisk byggsynpunkt.

En annan och aktuell fråga är hur tätningsmedel kan påverka arbetsmiljö och yttre miljö. För cementbaserade tätningsmedel förutses inga negativa effekter (allra minst i jämförelse med hanteringen av cementmaterial i gängse byggverksamhet ovan jord). I den mån andra material kommer till användning är det viktigt att dessa kontrolleras nog i förväg.

3.3.3 Andra faktorer

Radon

Radon i bostäder är ett välkänt hälsoproblem som uppmärksammats alltmer på senare år. Det har sin motsvarighet i underjordsanläggningar där det under vissa omständigheter kan utgöra ett arbetsmiljöproblem. Radon är en ädelgas som bildas när grundämnet radium sönderfaller. Radongasen sönderfaller i sin tur i sk radondöttrar, som är radioaktiva metalljoner. Processen ingår i den långa sönderfallskedja som börjar med uran och slutar med bly. En likartad sönderfallskedja som utgår från torium ger upphov till så kallad torongas, som är en annan radonisotop. De radonisotoper som kunnat relateras till hälsorisker uppkommer i uranserien, men torongasen kan förmodas ha betydelse i vissa situationer (Clavensjö och Åkerblom, 1992).

Den strålning som når människan utifrån då radongas i omgivningen sönderfaller når endast i undantagsfall sådana nivåer att den utgör en fara. Huvudproblemet är istället radondöttrar som kan transporteras till människokroppen, via inandningsluft eller dricksvatten, och där kan fastna i vävnader och avge strålning av olika slag. Det finns samband mellan radonhalter i människans miljö och frekvensen av lungcancer, men sambanden är komplicerade och påverkas av en rad yttre faktorer.

I berganläggningar kan radongas avges från bergytor och inläckande grundvatten. De kvantiteter som kan tillföras styrs av de naturliga uranhalterna i berggrunden. Liksom en del andra ämnen, bl a torium, avger det uran som finns bundet i berget mätbar strålning. Uran- och toriumhalter kan därför beräknas indirekt ur strålningsmätningar som görs från marken eller från flygplan. Mera exakta bestämmningar av haltfördelningen kan ganska enkelt göras på blottade hållar eller i borrhål.

Berggrundens "radonpotential" kan alltså bestämmas genom undersökningar. De halter som fås i en anläggning styrs emellertid också av bergets vattenförande egenskaper, samt av en rad konstruktionsparametrar. Ventilationen är den viktigaste, men även anläggningens geometri och mängden inläckande grundvatten har stor betydelse. Exempel på åtgärder som vidtas för att begränsa radonhalterna under jord är förbättrad ventilation, skärmad bortledning av vatten och betongsprutning av bergytor.

Gränsvärden för radonexponering i underjordsanläggningar finns etablerade, och mycket tyder på att dessa kommer att skärpas i framtiden. I flertalet berganläggningar krävs inga särskilda åtgärder för att nedbringa radonhalterna. Undantag finns emellertid, däribland anläggningar belägna i eller nära områden med förhöjda uranhalter där det krävts omfattande åtgärder.

Förutsättningarna för radonproblem i en djupförvarsanläggning och möjliga åtgärder för att hantera sådana problem har utretts i samband med SKB:s pågående projekteringsarbete (Åkerblom och Lindén, 1995; Andersson och Lundmark, 1994). Allmänna slutsatser är att radonförekomsten kan bli dimensionerande för ventilationsbehovet om anläggningen förläggs i berggrund där de naturliga uranhalterna är förhöjda. Vidare att det finns goda möjligheter att undvika problemet genom att anpassa läge och utformning av anläggningen till lokala förutsättningar.

Drivningsegenskaper

Med samlingstermen "drivningsegenskaper" avses en rad egenskaper som påverkar teknik och framförallt kostnader för berguttag och hantering av bergmassor. Exempel på -viktiga parametrar är bergets hårdhet och slitageegenskaper. Drivningsegenskaperna måste beaktas i bygganalysen men berör främst teknikoptimering och kostnadsberäkningar som kommer in i sena stadier av projekteringsprocessen.

4 Bedömningsunderlag från förstudien

4.1 Syfte och begränsningar

För förstudiens utredningsarbete gäller generellt att:

- skalan är översiktlig – de studier som görs avser stora områden (hela eller delar av kommunen),
- utredningsarbetet baseras på befintligt material.

Detta innebär begränsningar när det gäller möjligheterna att göra bedömningar av de bergtekniska förutsättningarna. De bergrelaterade faktorer som är avgörande för byggförhållandena (se kapitel 3) uppvisar erfarenhetsmässigt stora variationer i betydligt mindre skala än den som förstudien avser. Lokala geologiska förhållanden har alltså stor betydelse. De bedömningar som kan göras förstudieskedet blir därför med nödvändighet översiktliga. Man kan inte, utifrån befintligt underlag, göra några definitiva prognoser av byggförutsättningarna på någon enskild plats. För detta krävs direkta undersökningar, från ytan och i borrhål, på den aktuella platsen.

Vad man emellertid kan göra i nuvarande skede är för det första att sammanställa allmänna erfarenheter som finns inom bergbranschen om byggande i den geologiska miljö som är aktuell. Det kan ge indikationer på positiva eller negativa särdrag, liksom på faktorer som bör uppmärksammas särskilt vid eventuella vidare undersökningar. För det andra kan man inventera erfarenheterna från befintliga berganläggningar i kommunen, liksom data från undersökningar som gjorts i andra sammanhang. Det är dock viktigt att komma ihåg att berganläggningar och borrhål bara ger lokala exempel ("stickprov") på bergförhållandena. Generaliseringar måste göras med stor försiktighet.

I linje med dessa förutsättningar har utredningen inriktats mot att:

- ge en allmän, erfarenhetsbaserad bild av bergbyggande i den geologiska miljö som är aktuell inom Oskarshamns kommun,
- sammanställa data och erfarenheter från berganläggningar och bergundersökningar i kommunen.

4.2 Tillgängliga data

Förstudiens geologiska utredningar (Bergman m fl, 1998a och 1998b; Follin m fl, 1998) har tillsammans med annan geologisk dokumentation utgjort viktigt underlag för att bedöma förutsättningarna för bergbyggnad i Oskarshamns kommun, allmänt sett. De värderingar som kunnat göras utifrån allmän erfarenhet av bergbyggande i jämförbar geologisk miljö redovisas i kapitel 5.

Underlag i form av bergbyggnadstekniska data har hämtats från en rad berganläggningar, borrhål och bergtäkter. Figur 4-1 visar en karta där de objekt som inventerats har markerats med siffror. Benämningar (anläggning/gruva, ortnamn, borrhålsbeteckning) redovisas i tabellen till vänster om figuren. Informationen från de objekt som studerats uppvisar inte överraskande en stor spännvidd vad gäller omfattning, kvalitet och relevans för denna studie. Underlaget från Äspölaboratoriet intar en särställning vad gäller såväl omfattning som kvalitet och relevans beträffande anläggningsdjup. Också berganläggningarna på Simpevarpshalvön är mycket väldokumenterade men är mer ytligt belägna.

4.2.1 Äspölaboratoriet

Äspölaboratoriet är en berganläggning, byggd för geovetenskaplig forskning om kärnavfallsförvaring samt för utprovning och demonstration av djupförvarstekniken. Anläggningen berör en stor bergvolym, både i plan och på djupet.

Forskningsaktiviteterna har varit omfattande, även under förundersöknings- och byggskedena. Inom bergbyggnadstekniken har bland annat följande studerats:

- metoder för bergundersökningar, från ytan, i borrhål och i tunnlar,
- sprängskadors inverkan på bergegenskaperna kring tunnlar,
- klassificering och karakterisering av sprickor och sprickzoner,
- injekteringsteknik,
- jämförelser mellan borrhåls och sprängda tunnlar,
- inverkan av bergspänningar på tunnelstabiliteten.

Verksamheten har resulterat i en stor mängd bergtekniska data och en riklig dokumentation, varifrån underlag kunnat hämtas till föreliggande studie, se kapitel 7. Eftersom syftet med Äspölaboratoriet är att i många avseenden efterlikna ett djupförvar (djup, dimensioner på tunnlar, geologiska förhållanden) är erfarenheterna från anläggningsverksamheten relevanta för förstudien.

4.2.2 Oskarshamnsverket och CLAB

Utbyggnaderna av Oskarshamnsverket och CLAB (Centralt Lager för Använt Bränsle) har inkluderat omfattande bergarbeten. För Oskarshamnsverket utfördes bl a grundläggningsarbeten för kraftverksblocken och tunnlar för kylvatten. I CLAB finns bl a bergum med vattenfyllda bassänger för mellanlagring av använt kärnbränsle.

Utbyggnaderna av anläggningarna i Simpevarp har åtföljts av bergundersökningar av skiftande art och för skiftande ändamål, alltifrån översiktliga studier och förundersökningar i samband med lokalisering och projektering till kontrollprogram knutna till den nuvarande driften. I tid omfattar aktiviteterna mer än 30 år.

Även dessa projekt har resulterat i bergtekniska data och en riklig dokumentation som har gett underlag till denna studie, se kapitel 6. Direkta kontakter med några av dem som medverkat i projekten har kompletterat den information som finns i dokumentform.

4.2.3 Borrhålsundersökningar

SKB har utfört geovetenskapliga undersökningar i flera omgångar på olika platser i den nordöstra delen av Oskarshamns kommun. Undersökningarna har omfattat geofysik samt hammar- och kärnborrningar ner till under djupförvarsnivå. De har inte gett några bergbyggnadstekniska erfarenheter men däremot en hel del data för bedömning av bergförhållanden, se kapitel 9.

4.2.4 Övriga data

Förutom anläggningarna i Simpevarp finns inte många berganläggningar i Oskarshamns kommun. Den största, så vitt vi vet, är ett oljelager i centrala Oskarshamn. Däremot finns ett stort antal stenbrott och andra bergtäkter från vilka viss information kunnat hämtas.

Nordligaste delen av Oskarshamns kommun ligger i geologisk mening i den södra utlöparen av Bergslagens malmprovins. Gruvdriften i regionen har dock inte varit särskilt betydande. Den största gruvan i kommunen är Solstad gruva, där kopparmalm har brutits. I en av förstudiens delutredningar ges en malmgeologisk översikt över Oskarshamnsområdet och beskrivningar av enskilda fyndigheter (Bergman, m.fl, 1998a). Gruvorna i regionen är sedan länge nedlagda. Den lilla dokumentation som finns tillgänglig från gruvorna har inventerats med avseende på bergbyggnadsteknisk information. Data från bergtäkter, oljelager och gruvor redovisas i kapitel 8.

Berganläggningar, bergundersökningar, gruvor och bergtäkter som inventerats med avseende på bergbyggnadstekniska data och erfarenheter. Numrering hänvisar till kartan i Figur 4-1.

Anläggningar – Simpevarpsområdet

- 1 Oskarshamnsverket, block 1 och 2
- 2 Oskarshamnsverket, block 3
- 3 CLAB
- 4 Äspölaboratoriet

Bergundersökningar

- 5 Laxemar, undersökningshål KLX01 och KLX02
- 6 Ävrö
- 7 Kråkemåla

Gruvor

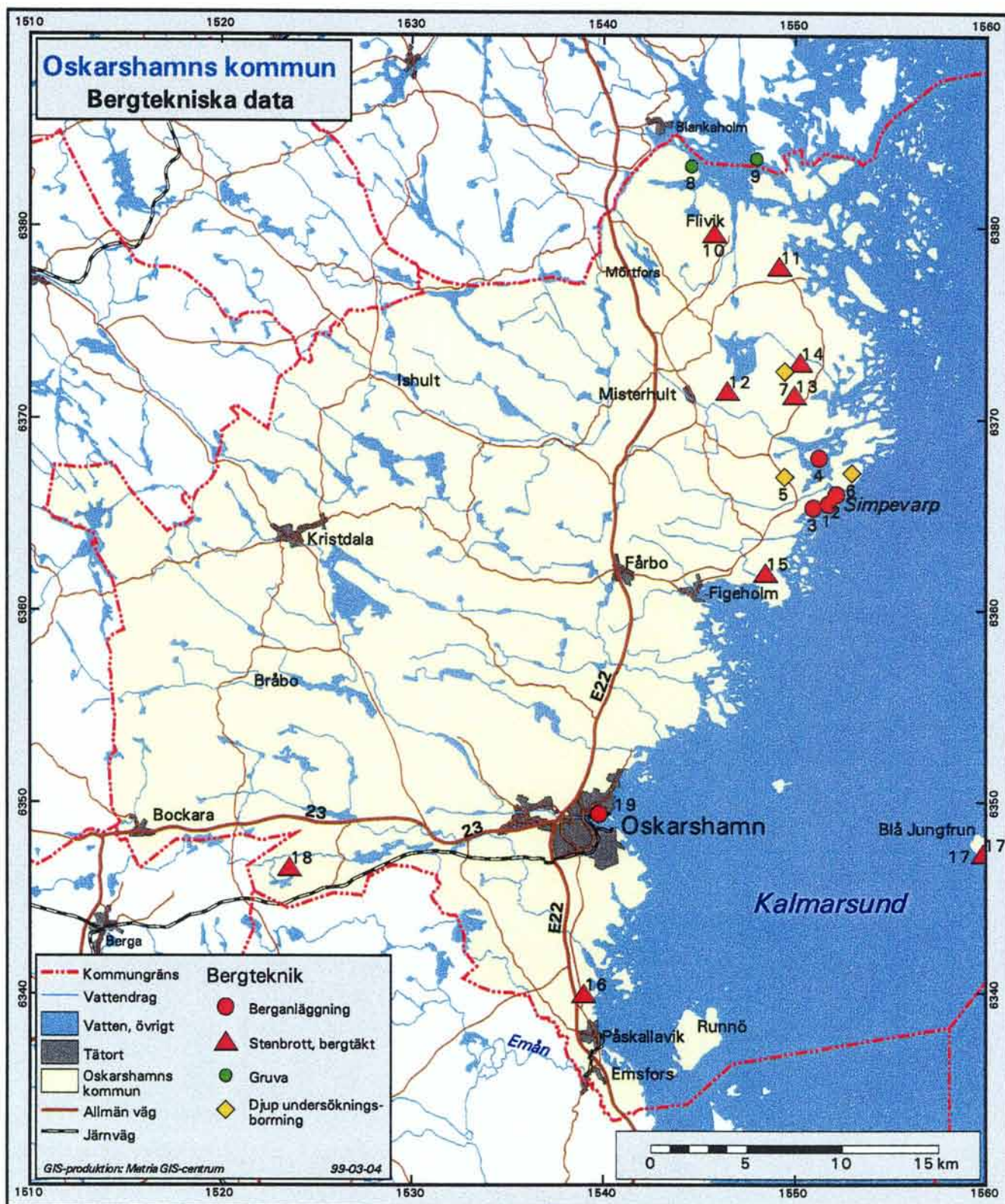
- 8 Solstadgruva
- 9 Skälö

Stenbrott och bergtäkter

- 10 Flivik
- 11 Klintemåla
- 12 Götebo
- 13 Bussvik
- 14 Kråkemåla
- 15 Uthammar
- 16 Vånevik
- 17 Blå Jungfrun
- 18 Hammarsebo

Övrigt

- 19 Oljelager vid Oskarshamns hamn



Figur 4-1. Oskarshamns kommun med omnejd. Berganläggningar, borrhål, gruvor m m, från vilka data hämtats har markerats på kartan.

5 Berggrunden i Oskarshamns kommun

5.1 Bergarter och deformationszoner

Figur 5-1 visar, i förminskat skick, den berggrundsgeologiska karta över kommunen och dess omgivning som tagits fram i förstudiens geologiska utredningsarbete (Bergman m fl, 1998a). Berggrunden domineras av djupbergarter, till största delen olika varianter av granit av den typ som i denna del av landet brukar benämnas "Smålandsgranit". Tillsammans med smålandsgraniterna finns vulkaniska bergarter samt gabbro. De vulkaniska bergarterna har störst utbredning i ett stråk från Oskarshamn och västerut.

Det finns också några granitmassiv som är yngre än smålandsgraniterna och som i många avseenden också har andra egenskaper. Det mest kända massivet av denna typ är den s k Götemargraniten, belägen ett stycke in från kusten i den nordöstra delen av kommunen.

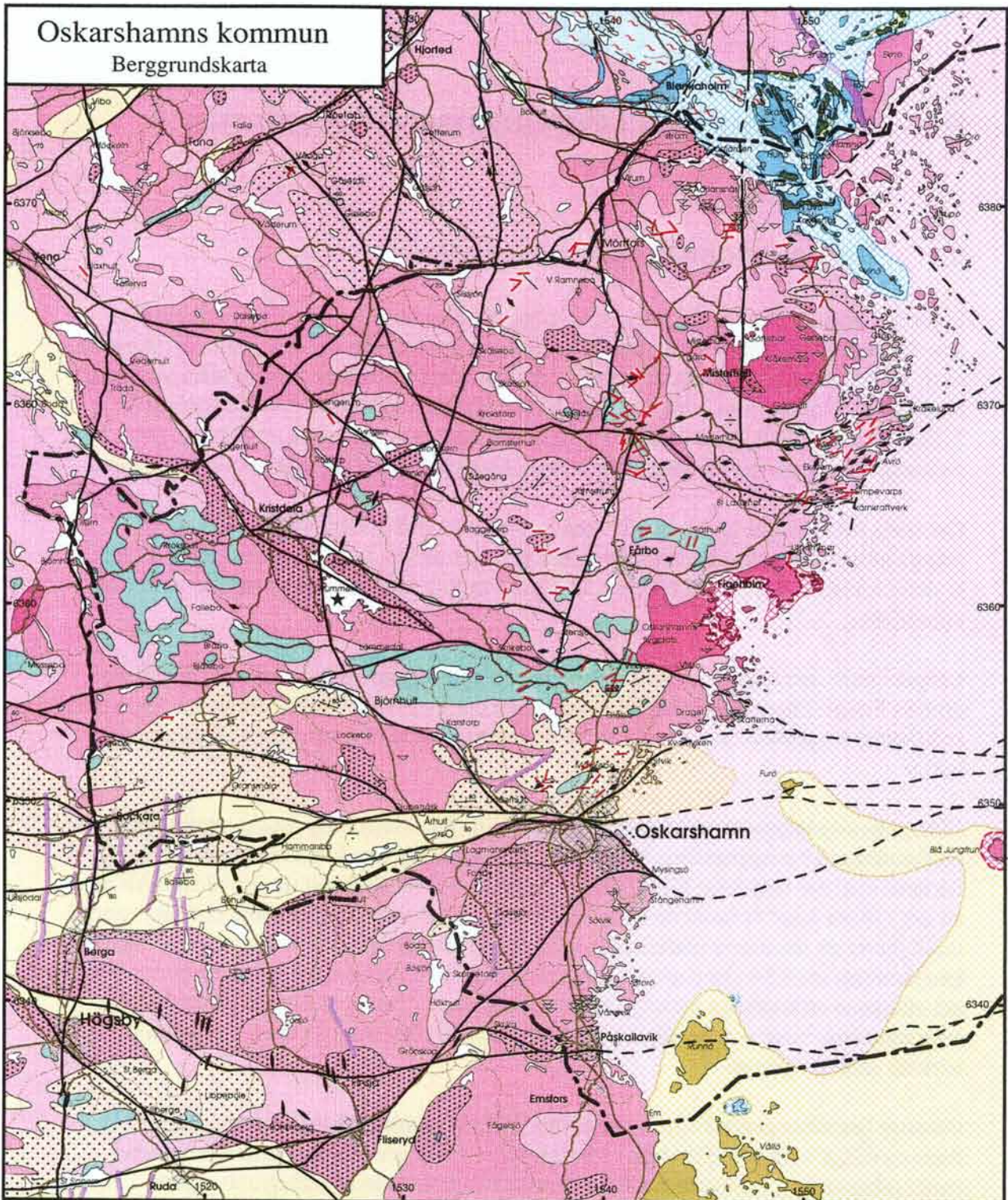
Längst i norr, och längst i söder finns bergarter som skiljer sig från kommunens berggrund i övrigt. I norr rör det sig huvudsakligen om kvartsiter. I söder finns, på några öar, sedimentär berggrund (sandsten) som är väsentligt yngre än kommunens berggrund i övrigt.

I förstudiens geologiska utredningar (Bergman m fl, 1998a) redovisas översiktliga bedömningar av berggrundens lämplighet för ett djupförvar, främst med avseende på faktorer som har betydelse för djupförvarets säkerhet på lång sikt. En huvudslutsats är att det i första hand är inom de stora områdena med Smålandsgranit som det finns goda möjligheter att lokalisera platser som är lämpliga. Berggrund som i byggteknisk mening kan jämföras med Smålandsgranit finns på många håll i landet. Det finns därför en hel del allmänna erfarenheter att tillgå om bergbyggande i denna miljö. En inventering av erfarenheterna visar inte på några särskilda problem eller utropstecken, i relation till svenskt urberg i gemen.

Graniter betraktas generellt som gynnsamma för berganläggningsändamål. Problem i form av dåligt berg och/eller hög vattenföring är i hög grad knutna till deformationszoner (skjuvzoner, sprickzoner, förkastningar) eller intruderade gångar av andra bergarter. Bergförhållandena i dessa zoner eller gångar kan vara markant sämre än i bergmassan i övrigt. Bergman m fl har sammanställt och tolkat tillgänglig information om sprickzoner i kommunen. De mest framträdande sprickzonerna har markerats på kartan i Figur 5-1. Generellt bedöms sprickzoner av olika dignitet finnas i en omfattning som är normal för svenskt urberg. Detta styrks också av data från de områden i kommunen som varit föremål för bergundersökningar i olika sammanhang.

Oskarshamns kommun

Berggrundskarta



Teckenförklaring

	Sandsten, ca 545 milj. år. Under hav (höger)		Vulkanisk bergart, sur, brun- till brunröd, vanligtvis porfyrisk (s.k. Smålandsporfyr), ca 1800 miljoner år		Inneslutning av äldre bergart i yngre
	Diabas. Magnetiskt indikerade (vänster), dito under hav (mitten), observerade i håll, < 10 m breda (höger)		Diorit och gabbro, medel- till grovkornig		Nedlagd gruva, sulfidmalm
	Aplit, finkornig granit och pegmatit, som gångar		Granodiorit till tonalit, grå till rödgrå, medel- till grovkornig, järnkornig, vanligtvis något gnejsig, > 1830 milj. år. Under hav (höger)		Nedlagd gruva, järnmalm
	Granit, röd, ca 1400 milj. år (Götemar-, Uthammar- och Jungfru-granit). Medel- till grovkornig (vänster), finkornig (mitten), under hav (höger)		Metavulkanisk bergart i allmänhet, sur till intermediär, ca 1900 miljoner år		Bergtäkt
	Granit till kvartssyenit, gråröd till röd, järnkornig, ca 1800 milj. år. Medel- till grovkornig (vänster), finkornig till fint medelkornig (höger)		Metabasit, huvudsakligen av vulkanisk ursprung, ca 1900 miljoner år. Under hav (höger)		Förskjifning med gradtal för stupning
	Granit till granodiorit, rödgrå till gråröd, medel- till grovkornig, vanligtvis porfyrisk, ca 1800 milj. år.		Metasedimentär bergart i allmänhet, ca 1900 miljoner år. Ådergnejsomvandlad (höger)		Förskjifning, vertikal stupning
	Granodiorit till kvartsmonzodiorit, grå till rödgrå, medelkornig, järnkornig eller gäst porfyrisk, hornbländeförande, ca 1800 milj. år. Blandad med, och/eller med inneslutningar av, intermediär meta-vulkanisk bergart (höger)		Kvartsit, ca 1900 miljoner år. Ådergnejsomvandlad (höger)		Förskjifning, ökand stupning eller varierande
	Smålandsgranit i allmänhet, under hav		Metasedimentärbergart i allmänhet och kvartsit under hav		Stänglighet med gradtal för stupning
					Större förkastning eller sprickzon. Under hav (höger)
					Kommungräns
					Impactstruktur (meteoritnedslag)



Figur 5-1. Berggrundsgelogisk karta över Oskarshamns kommun med omnejd (från Bergman m fl (1998a).

Ytor som helt saknar jordtäcke (bergblottningar) är vanliga i kommunen (Bergman m fl, 1998a). Det gäller särskilt den nordöstra delen och i den kustnära zonen. En stor andel kalt berg av den totala ytan (hög blottningsgrad) ger fördelar i flera avseenden, inklusive bergtekniska. Det bidrar till en bättre kännedom om viktiga parametrar som bergart, spricksituation, bergkvalitet, lägen och karaktär på sprickzoner m m, särskilt i tidiga undersökningsskeden. Detta ger i sin tur bättre förutsättningar att åstadkomma tillförlitliga prognoser för byggförhållandena på större djup.

Den allmänna slutsats som kan dras är alltså att de delar av kommunen där berggrunden bedömts som intressant ur säkerhetsmässig synvinkel också ter sig som en realistisk miljö för ett djupförvar, med avseende på anläggningstekniska förutsättningar. En förutsättning är, här som annorstädes, att anläggningarna kan placeras så att större sprickzoner helt undviks, och/eller utformas så att sprickzoner i den berörda bergvolymen inte får oacceptabel inverkan på stabilitet eller vatteninläckning.

5.2 Bergspänningar

Allmänt kan man säga att observationer vid och nära ytan kan ge en god uppfattning om åtminstone "genomsnittliga" förhållanden på större djup, vad gäller geologi och bergkvalitet. Så är inte fallet för bergspänningarna, som också har stor byggteknisk betydelse. Eftersom bergspänningarna ökar med djupet möjliggör inte ytnära observationer tillförlitliga prognoser mot djupet. Förhöjda eller på annat sätt onormala bergspänningar kan som nämnts påverka byggförutsättningarna negativt i form av mer eller mindre allvarliga stabilitetsproblem kring tunnlar, i vissa fall smällberg. För att smällberg skall kunna utbildas krävs förutom höga spänningar också sprött berg.

Graniter av de typer som är vanliga inom Oskarshamns kommun är inte speciellt kända för höga spänningar, men sådana förhållanden kan inte heller uteslutas. Bergspänningsmätningar har gjorts i Simpevarp, Äspö och Laxemar. Resultat från dessa redovisas i avsnitt 9.3 och 6.3.

5.3 Vattenföring

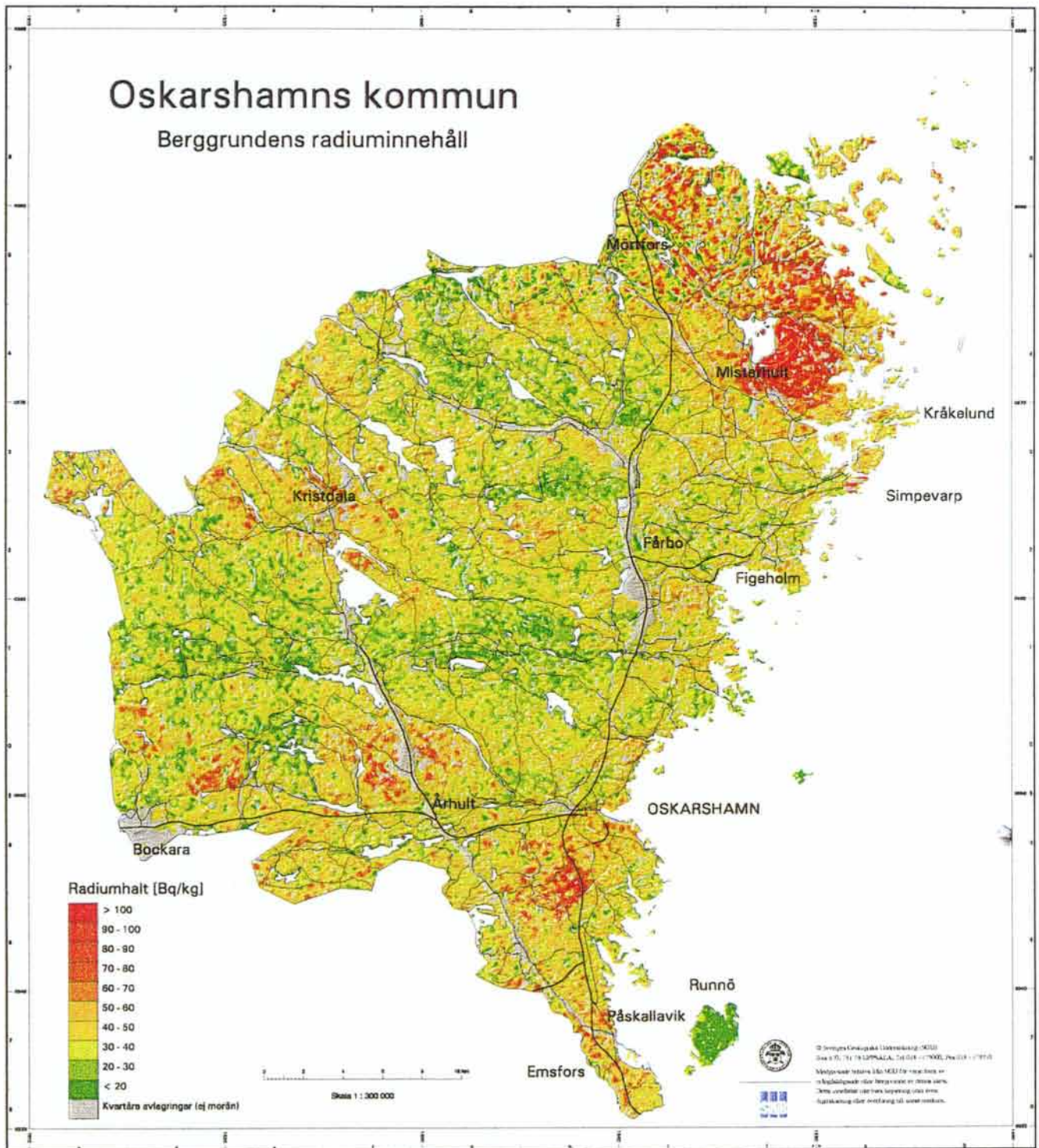
Follin m fl (1998) har i en av förstudiens delutredningar sammanställt tillgänglig information om kommunens grundvattenförhållanden. Data om bergets vattenförande egenskaper finns från ett stort antal brunnar i kommunen. Dessa data har relativt god geografisk täckning, men brunnarnas begränsade djup (<120 m) innebär att de beskriver situationen nära ytan. Analyser av brunnensdata visar i allmänhet inte på några signifikanta skillnader i vattengenomsläpplighet mellan olika huvudbergarter eller olika delar av kommunen. Ett undantag kan vara yngre graniter (Götemargraniten), där data tyder på hög vattenföring i de få sprickor som förekommer. Erfarenhetsmässigt kännetecknas vattengenomsläppligheten av stora lokala variationer, där sprickzoner har avgörande betydelse.

5.4 Radon

Den allmänna bakgrunden till radon som ett möjligt arbetsmiljöproblem i underjordsanläggningar, och problemets koppling till berggrundens naturliga uranhalter, beskrivs i avsnitt 3.3.3. Flyg- eller markmätningar av naturlig strålning från jord och berg kan användas för att få en uppfattning om berggrundens "radonpotential". För Oskarshamns kommun har Bergman m fl (1998a) beräknat berggrundens radiumhalter (modernuklid till radon) på basis av flygradiometriska mätningar, som täcker hela kommunen. Kartan i Figur 5-2 visar resultatet. Radiumhalter upp till ca 30 Bq/kg (Becquerel per kilo) är normala, medan halter över 50 Bq/kg kan betecknas som anomala.

Som framgår av kartan uppvisar de smålandsgraniter som dominerar kommunens berggrund svagt förhöjda radiumhalter. Inom några områden finns mera markanta förhöjningar. Götemargraniten kännetecknas genomgående av kraftigt förhöjda halter. I det fallet är anomalierna så pass kraftiga att de framträder tydligt även i nationell jämförelse.

Man kan inte säga att berggrunden i Oskarshamns kommun generellt sett ger större risk för radonproblem i berganläggningar än urberg på andra håll. De lokala variationerna i "radonpotential" motiverar dock särskild uppmärksamhet i samband med eventuella vidare undersökningar i mera detaljerad skala. Götemargraniten får i sammanhanget betraktas som speciell. I en berganläggning, förlagd till berggrund med så pass höga radiumhalter som de som kännetecknar Götemargraniten, skulle det sannolikt krävas betydande insatser i form av ventilation, bergdränage mm för att hålla radonhalterna på acceptabel nivå. För ett djupförvar är detta självfallet en negativ faktor, som möjligen kan innebära direkt olämpliga förhållanden.



Figur 5-2. Berggrundens radiuminnehåll i Oskarshamns kommun (Bergman m fl, 1998a).

6 Oskarshamnsverket och CLAB

6.1 Bakgrund

6.1.1 Oskarshamnsverket

Oskarshamnsverket ägs av Oskarshamns Kraftgrupp AB (OKG). OKG bildades 1965 ur Atomkraftkonsortiet (AKK) med Sydkraft och andra större kraftföretag som delägare och med inriktning att bygga och driva kärnkraftverk. Det bedömdes tidigt att kustområdet vid Simpevarp, drygt 20 km NO Oskarshamn var lämpligt för ett kärnkraftverk. AKK hade köpt ett markområde där redan 1958. Avgörande faktorer för placering i Simpevarp var bland andra:

- strategiskt läge för kraftförsörjning,
- utrymme fanns för minst 4 block, från början tänkte man sig 150–200 MW per block,
- god tillgång på kylvatten (havet) och lämplig topografi för vattenintag och avledning av det uppvärmda vattnet,
- lämpliga grundläggningsförhållanden,
- god möjlighet att anlägga hamn och farled för tunga transporter,
- glesbygdsförhållanden med litet antal boende inom närmaste 5 km.

Det första blocket beställdes av ASEA 1965 och det andra 1969. Byggnadsarbetena startade 1966 respektive 1970. Block 1 togs i drift 1972 och block 2 1974. Samma år påbörjades planeringen av ett tredje aggregat. Block 3 började byggas 1986, men efter riksdagsvalet och villkorslagen samma år kunde arbetena endast bedrivas i långsam ”snigelfart” fram till folkomröstningen om kärnkraft 1980. Block 3 färdigställdes och togs i drift 1985.

6.1.2 CLAB (Centralt Lager för Använt Bränsle)

Under senare delen av 1970-talet utförde SKB lokaliseringsstudier och tekniskt planeringsarbete för ett mellanlager för använt bränsle. Bränslet skulle placeras i vattenfyllda bassänger belägna i berggrum. Ett motiv för bergförläggning var att de skyddskrav som skulle kunna ställas på en ovanjordsförläggning skulle medföra alltför höga kostnader.

Alternativa platser undersöktes för placering av en sådan anläggning vid någon av de befintliga anläggningarna med kärnteknisk verksamhet. Valet stod i slutomgången mellan Forsmark och Simpevarp, vilka bedömdes ha ungefär likvärdiga bergförhållanden. Ett område på Simpevarpshalvön, ca 800 m väster om block 1 och 2 valdes 1978 för vidare undersökning av de geologiska och tekniska förutsättningarna. Viktiga argument som talade för Simpevarp var:

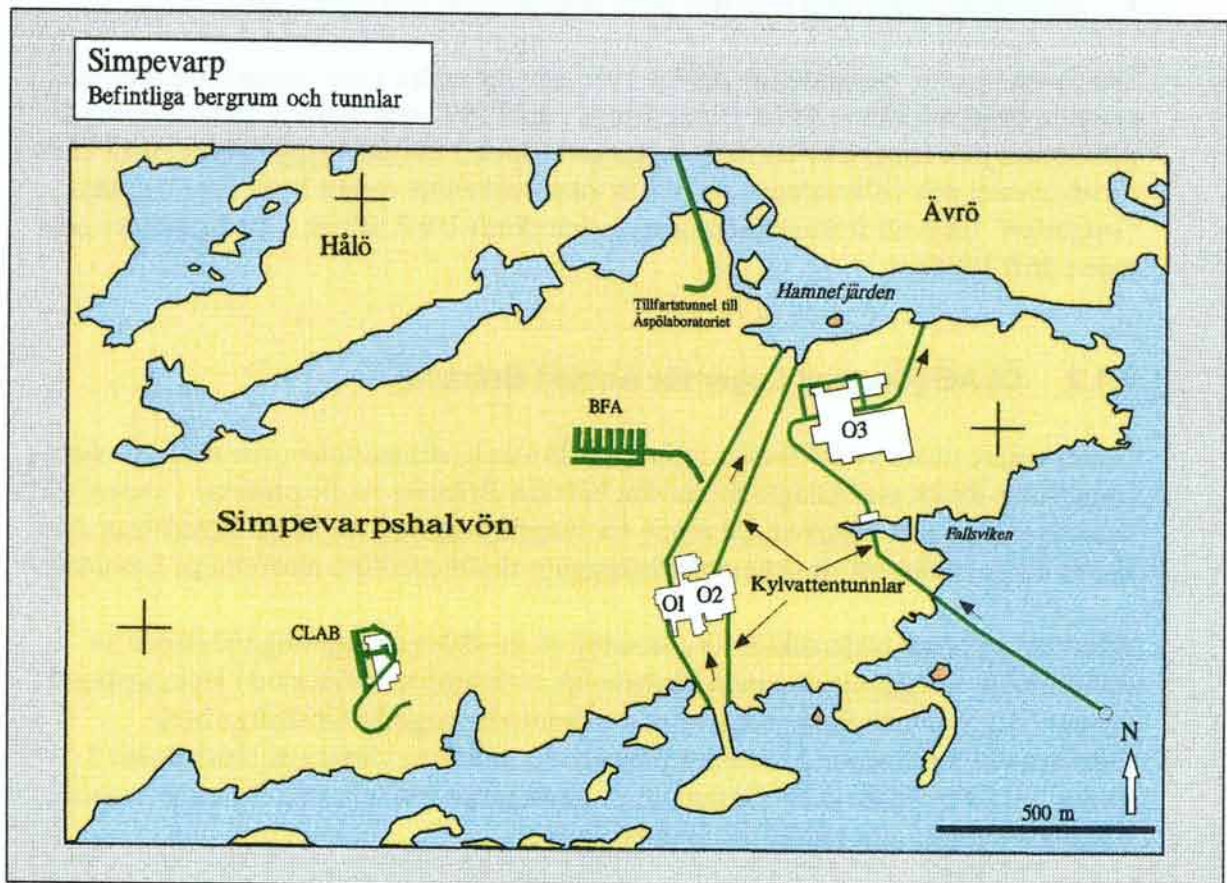
- central placering mellan kärnkraftverken med minsta transportarbete,
- en hamn med enkel insegling och som nästan alltid är isfri.

Förundersökningar utfördes under 1978 och 1979. Harrisburgolyckan och folkomröstningen försenade byggstarten med ett år till hösten 1980. Bergarbetena blev klara i februari 1982. Anläggningen kunde tas i drift hösten 1985, ett år senare än ursprunglig tidsplan.

6.1.3 Läge och situationsplan

Figur 6-1 visar en situationsplan över Simpevarpshalvön, med de olika anläggningarna markerade. Därutöver finns bl a följande serviceanläggningar grupperade kring kärnkraftverket:

- hotell, gäststugor och bostadsområde,
- restauranger,
- besökscentrum,
- bevakningscentral och brandstation,
- vattenverk och avloppsreningsverk,
- förråd och verkstäder,
- hamn med vågbrytare,
- gasturbiner.



Figur 6-1. Översikt över Simpevarpshalvön med befintliga anläggningar. Bergförlagda anläggningar är markerade med grön färg (Bergman m fl, 1998b).

6.2 Oskarshamnsverket

6.2.1 Allmänna data

Eleffekten på kärnkraftblocken 1, 2 och 3 var från början 440, 580 respektive 1 050 MW. Effektiviseringar har medfört att maximala effekten har kunnat höjas med ca 10% till sammanlagt 2 270 MW.

Överskottsvärme från processen kyls bort med havsvatten från Kalmarsunds norra anslutning mot Östersjön. Kylvattenflödet är ca 20 m³/s för block 1, ca 27 m³/s för block 2 och ca 50 m³/s för block 3. Varje block har en tilloppstunnel och en avloppstunnel för kylvatten. Intagen till block 1 och 2 ligger på Simpevarpshalvöns södra strand. Block 3 har ett undervattensintag beläget ca 500 m utanför halvöns sydöstra udde (drygt 300 m öster om hamnpiren). Utloppen från alla tre blocken mynnar i Hamnefjärden på halvöns norra strand.

6.2.2 Bergbyggnad block 1 och 2

Bergbyggnadsarbetena för block 1 och 2 utgörs dels av de nämnda tunnlarna för kylvatten, dels av ett antal ytobjekt såsom grundläggning av byggnader och kulvertar för kraftverket och planeringsarbeten för ställverk, vägar och parkeringsplatser samt slutligen ett bergrum för mellanlagring av låg- och medelaktivt avfall, kallat BFA (Bergrum För Avfall). Totalt utschaktad bergvolym är ca 320 000 m³, varav ca 60 000 m³ från kylvattentunnlarna och ca 70 000 m³ från BFA.

Byggskedet föregicks av bergundersökningar med bland annat hållkartering, seismik och kärnborring. Under byggskedet dokumenterades de geologiska och bergtekniska förhållandena relativt sparsamt jämfört med vad som senare blivit praxis vid de kärntekniska anläggningarna.

Ytobjekten

Ursprunglig markyta låg mellan 6 och 10 meter över havet inom området för block 1 och 2. Över hälften av ytan bestod av berghällar, vilket underlättade bedömningen av grundläggningsförhållanden. Å andra sidan fick man en stor bergschaktningsvolym, då schaktgropen för reaktorbyggnaden blev ca 20 meter djup och för övriga byggnader 10 till 15 meter.

Inga större krosszoner eller andra geologiska störningar förekom inom området för blockens byggnader. Med det stora grundläggningsdjupet undveks också det mer sprickiga ytberget. Berget var tätt – trots grundläggningsdjup på upp till 15 meter under havsytan var inläckningen av grundvatten obetydlig.

Kylvattentunnlarna

Allmänna data om kylvattentunnlarna ges i Tabell 6-1. Rensbyggnader för avsilning av fisk och föroreningar finns vid tilloppstunnlarnas anslutning mot blocken. Såväl inloppen som utloppen är försedda med avstängningsanordningar för tömning av tunnlar.

Tunnelpåslagen gjordes innanför fångdammar på sjösidan av respektive tunnel. Utförandet av tunnlar medförde inga bergbyggnadstekniska svårigheter. Bergförstärkning i form av bergbultning har utförts vid passage av några smärre sprickzoner samt som säkring av enstaka bergblock. Sprutbetong har använts som ytförstärkning vid några mindre zoner med krossat berg. Den största krosszonen fanns i avloppstunneln vid den depression i terrängen som utgör Fallsvikens förlängning inåt land. Zonen var inte besvärande vid tunneldrivningen. Injektering har veterligen inte erfordrats varken för block 1 eller block 2.

Tabell 6-1. Kylvattentunnlar – block 1 och 2.

	Block 1	Block 2
Tillopp, längd, m	210	210
Avlopp, längd, m	610	540
Tunnelarea, m ²	22	30
Bergvolym inklusive förskärningar, m ³	27 000	32 000

Bergrum för avfall (BFA)

BFA är en renodlad undermarksanläggning som består av en transporttunnel från markytan till förvarsnivå, en inlastningstunnel och vinkelrätt mot den sju stycken korta bergrum för avfall med låg aktivitet samt parallellt med inlastningstunneln ett långt bergrum för medelaktivt avfall. Ungefärliga mått på anläggningens tunnlar och bergrum redovisas i Tabell 6-2.

Tabell 6-2. Tunnlar och bergrum – BFA.

	Längd, m	Bredd, m	Höjd, m
Tillfartstunnel	180	7	7
Inlastningstunnel	160	9	9
Bergrum för lågaktivt avfall, 7 st	7 x 50	12	9
Bergrum för medelaktivt avfall	160	12	12
Förbindelsetunnlar, 2 st	2 x 15	8	7

Dokumentationen från bergarbetena är ännu sparsammare än från block 1 och 2, men man har uppenbarligen inte haft några problem vid bergbyggandet. Bergrummen är av säkerhetsskäl generellt förstärkta med ett eller två lager sprutbetong, varför man inte ser mycket av berget annat än i förskärningen och tillfartstunneln. Ca 15 liter vatten per minut pumpas ut ur anläggningen. Enligt obekräftad uppgift har någon enstaka lokal injektering utförts. På några ställen finns dräner (rör och/eller -mattor som avleder vatten) insprutade i sprutbetongen.

6.2.3 Bergbyggnad block 3

Allmänt

Bergbyggnadsarbetena för block 3 utgörs dels av kylvattentunnlarna, dels av ytobjekten, det vill säga utsprängning för grundläggning av byggnader och för parkeringsplatser. Totalt utschaktad bergvolym är 730 000 m³, varav ca 80 000 m³ från kylvattentunnlarna.

Byggskedet föregicks av bergundersökningar med bland annat hällkartering, refraktionsseismik och viss annan geofysik samt hammarborring med vattenförlustmätning och TV-granskning av borrhålen. Under reaktorbyggnaden kompletterades undersökningarna med kärnborring. Berggrunden består huvudsakligen av Smålandsgranit och bedömdes ur bergteknisk synpunkt som bra berg, dock noterades en och annan mindre svaghetszon. Omfattningen av förundersökningarna redovisas i Figur 6-2.

Under byggskedet dokumenterades de geologiska och bergtekniska förhållandena betydligt noggrannare än vid de tidigare utförda anläggningarna i Simpevarp. Detaljerad bergkartering gjordes, inte bara i tunnlar utan även av bergbottnar och schaktslänter i reaktor- och turbinbyggnaderna (Stanfors och Hoffner, 1982, Stanfors 1987).

Ytobjekten

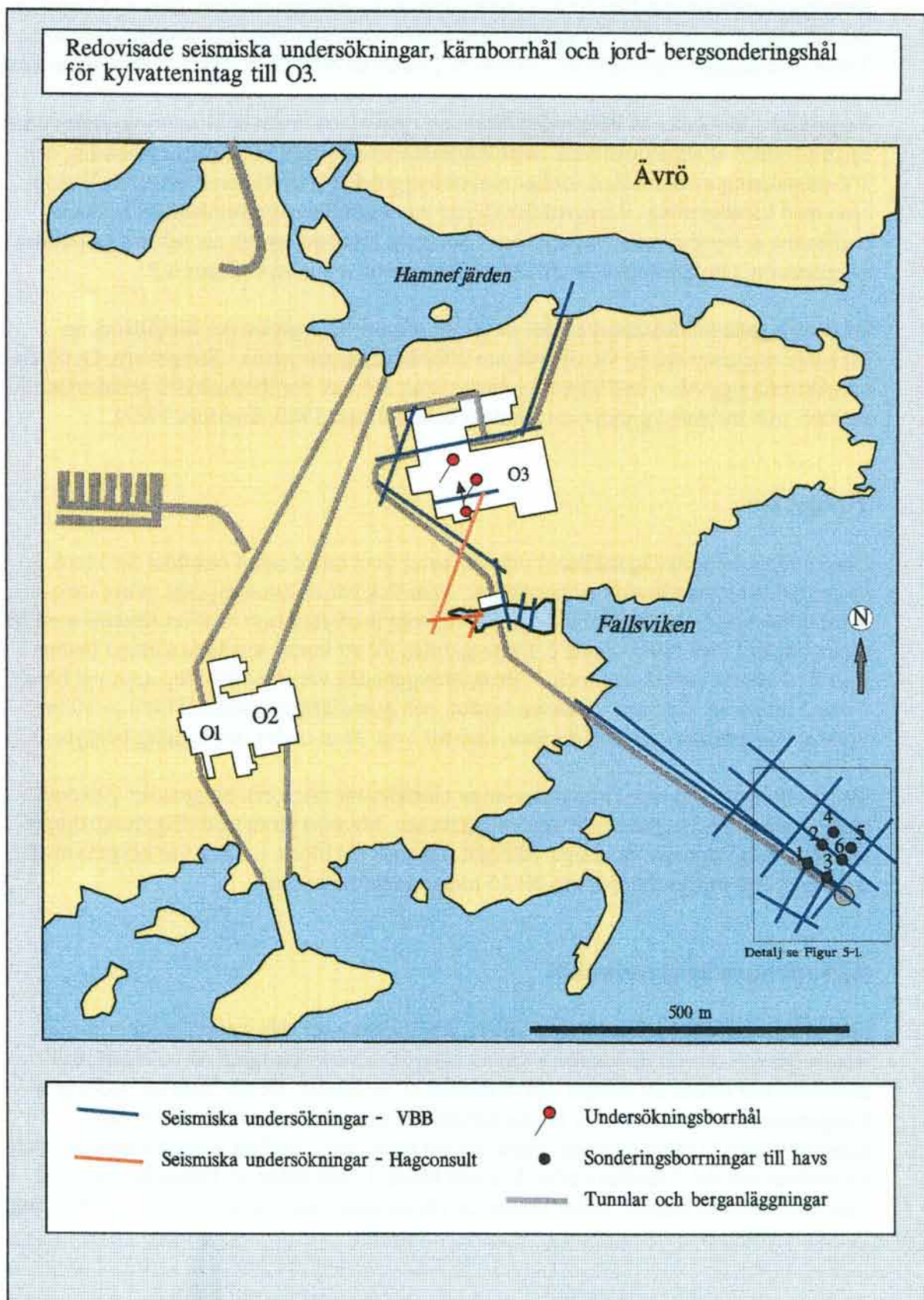
Ursprunglig markyta låg mellan 4 och 12 meter över havet inom området för block 3. Större delen av ytan bestod av berghällar. Man fick här en ännu mycket större bergschaktningsvolym än för block 1 och 2, eftersom markytan runt blocket sänktes med tre meter jämfört med block 1 och 2. Detta gjordes för att kunna använda samma layout som för Forsmarksverkets block 3. Reaktorbyggnaden var inte lika djup som vid block 1 och 2 eftersom den hade en annan layout, och grundläggningsdjupet blev ca 10 m. I stället var turbinbyggnaden djupare, upp till över 20 m under ursprunglig bergyta.

Ett par mindre krosszoner noterades inom området för blockens byggnader. Zonerna hade ingen större betydelse för grundläggningen. Med det stora grundläggningsdjupet undveks också det mer sprickiga ytberget. Liksom vid block 1 och 2 var berget var tätt, trots grundläggningsdjup på upp till 15 meter under havsytan.

Kylvattentunnlarna, allmänt

Kylvattenintaget är beläget nästan 500 m utanför stranden där vattendjupet är ca 18 meter. Därigenom får man kallare vatten och bättre verkningsgrad på turbinen, och dessutom blir risken att intaget ska blockeras av is mindre. Dessa fördelar bedömdes kompensera merkostnaden för längre tunnel och komplicerat arbete med intagskonstruktionen. Tilloppstunneln består av två delar, del 1 mellan intaget från havet och Fallsviken och del 2 mellan Fallsviken och block 3. Inre delen av Fallsviken är skild från havet med en damm, vilket skapar en vattenspegel som fungerar som svallbassäng.

Utloppet är beläget i Hamnefjärden ca 300 m öster om utloppet från block 2. Mellan tilllopps- och avloppstunnlarna finns inom block 3 en sammanbindande tunnel för nödkylning. Allmänna data om kylvattentunnlarna ges i tabell 6-3.



Figur 6-2. Översikt av förundersökningar för O3-anläggningen (Stanfors och Larsson, 1998).

Påslagen för tilloppstunnlarna gjordes innanför dammen över Fallsviken. Påslaget för avloppstunneln gjordes innanför en fångdamm vid Hamnefjärden. För tilloppstunnel 2 kombinerades påslaget med en rensbyggnad för avsilning av fisk och föroreningar. Tillloppstunnel 2 och avloppstunneln är försedda med avstängningsanordningar för tömning.

Förundersökningar för kylvattentunnlarna gjordes med refraktionsseismik och sticksonderingar vid tunnelpåslagen för att kontrollera bergytans läge och eventuella större svaghetszoner. Inga större sprickzoner som kunde ställa till med besvär var kända inom området, varken från de äldre anläggningarna eller via seismiken.

Tabell 6-3. Kylvattentunnlar – block 3.

	Längd, m	Area, m ²	Volym, m ³
Tilloppstunnel 1	670	50	35 000
Tilloppstunnel 2	370	50	20 000
Avloppstunnel	220	50	13 000
Nödkylvattentunnel	235	30	7 000
Totalt	1 495		75 000

Tilloppstunnel, del 1

Principiell utformning av kylvattenintaget för block 3 visas i Figur 6-3. All sprängning och förstärkning av tunneln liksom förberedelser för djupvattenintaget utfördes i torrhet inifrån tunneln. Tunnelpåslaget gjordes innanför en fångdamm vid Fallsviken.

Seismik utfördes längs havsdelen av tunnelns sträckning samt lokalt vid djupvattenintaget tillsammans med några sticksonderingar för att bestämma sedimentdjup, bergkvalitet och lämplig plats för intaget. Se även Figur 6-2. Från strandlinjen och utåt utfördes kontinuerlig försondering med två stycken 30 meter långa borrhål riktade snett framåt uppåt för att undersöka dels eventuella svaghetszoner och behov av injektering, dels för att kontrollera att bergtäckningen var tillräcklig.

Förinjektering utfördes i tre avsnitt:

- en skärm i en sprickzon ca 100 m utanför strandlinjen,
- en skärm i ett område med skölar ca 250 m utanför strandlinjen,
- sju stycken skärmar i tunnelns sista 100 m mot djupvattenintaget, dessutom två efterinjekteringar på samma sträcka.

En svaghetszon indikerades av sonderingen ca 400 m från strandlinjen. Ett 70 m långt kärnborrhål borrades från gaveln längs tunneltaket. Sprickfrekvensen för de första 60 m var hög till mycket hög med åtskilliga krosszoner, en del med vittring. Berget var emellertid till större delen friskt mellan krosszonerna. I borrhålets sista 10 m var berget av bättre kvalitet.

Drivningen genom svaghetszonen gick emellertid problemfritt tack vare injekteringen och driftförstärkning med sprutbetong efter varje salva. Senare kompletterades sprutbetongen till 150–250 mm armerade sprutbetongbågar på sammanlagt ca 20 m av tunneln. I resterande del av tunneln inklusive delen under land utfördes betongsprutning med ett eller två påslag på ungefär 50% av takytan och 25% av väggarna. Bergbultningen var relativt sparsam, i genomsnitt mindre än en bult per meter tunnel.

I den yttre delen av tunneln, när bergtäckningen minskade, förtätades sonderingsborrningen med ett tiotal borrhål upp mot bergytan. Dessutom borrades tio vertikala kärnborrhål från tunneltaket som penetrerade bergytan. På så vis kunde bästa läge av schaktet upp till sjöbotten bestämmas. Undersökningen medförde att schaktet flyttades 20 m längre ut och tunneln fick förlängas med 20 m. Ett omfattande injekterings- och förstärkningsprogram genomfördes för att säkerställa arbetena med schaktet. Bland annat borrades över 200 hål inklusive kontrollhål för injektering. Sammanlagt ca 85 ton cement förbrukades vid injekteringarna, varav ca 50 ton för schaktet vid djupvattenintaget. Av den sistnämnda kvantiteten försvann troligen en del upp i sjöbotten-sedimenten via ytsprickor i berget.

För schaktet upp till sjöbotten sprängdes en ca 8 m hög stigort upp från tunneltaket. Längst upp lämnades en ca 6 m tjock bergplugg. Ett ca 4 m tjockt sedimentlager som täckte sjöbotten muddrades bort. Bergpluggen borrades och laddades i torrhet inifrån tunneln, och en försänkning stor nog att rymma bergmassorna från pluggen sprängdes i tunnelbotten. Därefter vattenfylldes tunneln och den kvarstående bergpluggen sprängdes ner i försänkningen.

Hela arbetsproceduren med kylvattenintaget får betraktas som ett praktexempel på den konstruktionsprincip som brukar betecknas ”design as you go”!

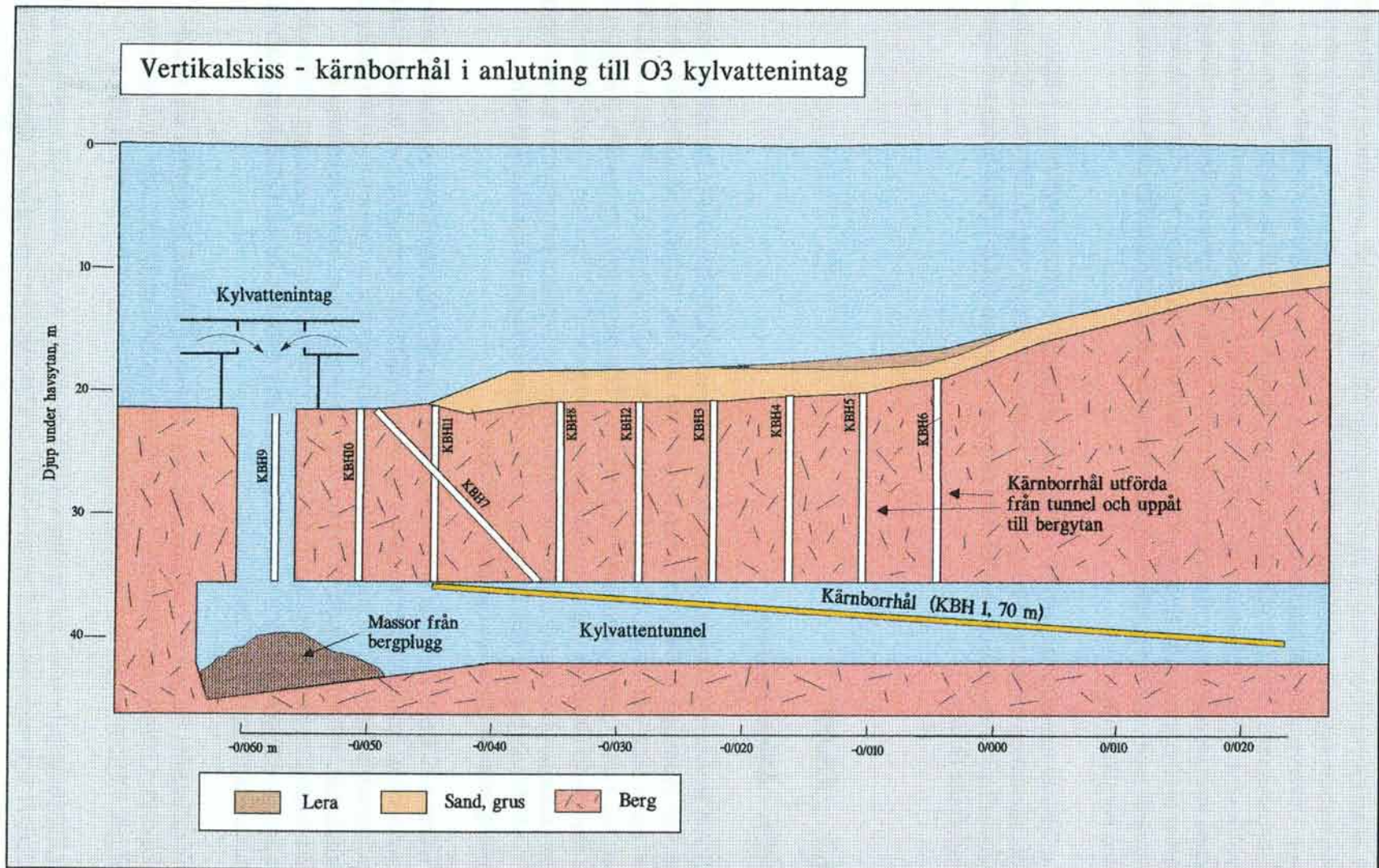
Tilloppstunnel, del 2

Berget vid tunnelpåslaget var påverkat av den kraftiga svaghetszonen vid Fallsviken, varför en gjuten betongförstärkning utfördes i tunnelmynningen och tunneln förstärktes med armerad sprutbetong ca 20 m in från mynningen. Även sista delen av tunneln vid anslutningen mot turbinbyggnaden förstärktes med armerad sprutbetong på en sträcka av ca 25 m, mest på grund av liten bergtäckning och närhet till byggnaderna.

Totalt är ca 80% av tunnelns tak- och väggytor förstärkta med sprutbetong. Bergbultning finns bara vid tunnelmynningarna. Tunneln var praktiskt taget torr. En enda läcka med inflöde mindre än 2 l/min har noterats.

Nöd Kylvattentunnel

Tunneln utfördes i genomgående gott berg. Förstärkningar utfördes med ett påslag sprutbetong på ungefär 60% av taken och 30% av väggarna, samt totalt ca 30 bultar (ca 0,15 bultar/m). Tunneln var torr.



Figur 6-3. Principutförning av O3 kylvattenintag, längdsektion (Stanfors och Larsson, 1998).

Avloppstunnel

En brantstående klorit/lersköl med bredd upp till 50 cm följde tunneltaket ca 60 m ut från turbinbyggnaden tills tunneln svängde undan. Skölen, som har öst-västlig utsträckning, observerades vid utschaktningen under turbinbyggnaden och tvärade också tillloppstunnel 2. Den har således en sammanhängande längd på mer än 300 m, men den var för smal för att indikeras i de seismiska undersökningarna. Tunneln förstärktes på denna sträcka med armerad sprutbetong, delvis också på grund av liten bergtäckning och närhet till byggnaderna. Även ca 85 m närmast tunnelns utlopp mot Hamnefjärden är förstärkt med armerad sprutbetong, här beroende på dels en ganska bred krosszon, dels liten bergtäckning.

Ca 70% av tunnelns tak och 50% väggarna är förstärkta med sprutbetong. Någon dokumentation om bergbultning har inte kunnat återfinnas, inte heller om inläckning. Förmodligen har det läckt en del vid utloppet, eftersom det där finns ganska många insprutade dräner.

6.3 CLAB

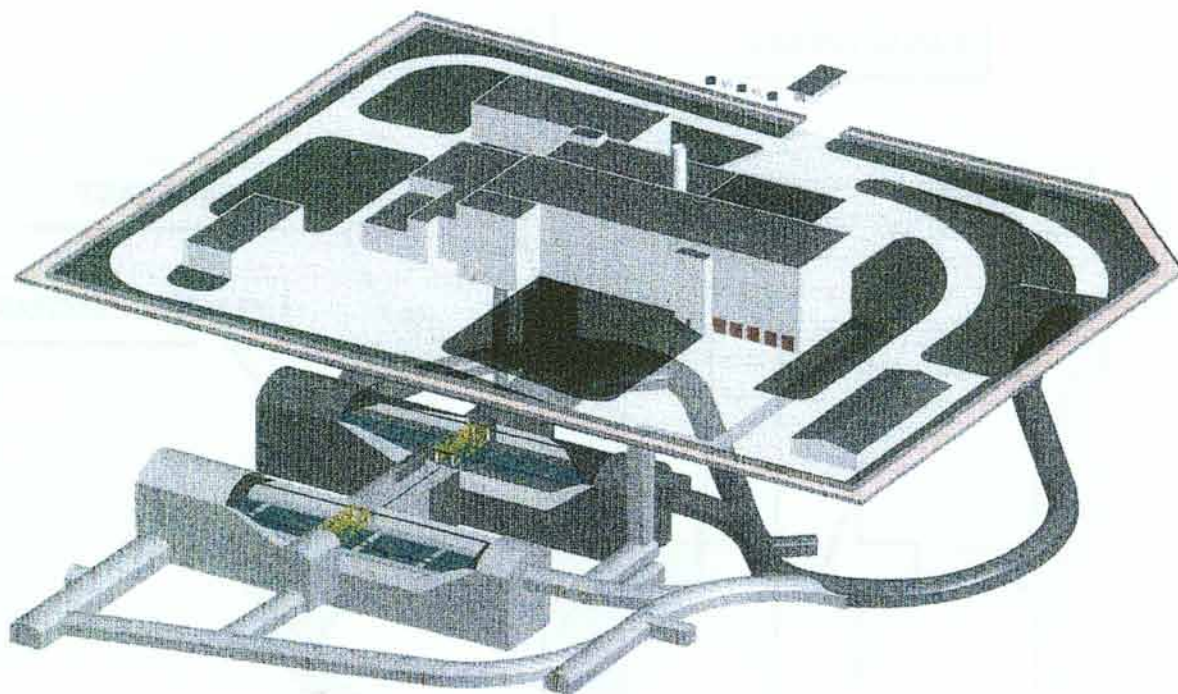
6.3.1 Allmänna data

CLAB är avsett för mellanlagring av använt bränsle från de svenska kärnkraftverken till dess att bränslet kan deponeras i ett djupförvar eller tas om hand på annat sätt. Även en del annat långlivat avfall, bl a hårdkomponenter, mellanlagras. CLAB togs i drift 1985 och har i sin nuvarande utformning plats för 5 000 ton bränsle (uranvikt). Anläggningen är förberedd för utbyggnad av ytterligare ett bergrum för 3 000 ton bränsle jämte hårdkomponenter. Därigenom skall allt bränsle från det svenska programmet kunna lagras i CLAB. Planering och tillståndsprocess för denna utbyggnad har slutförts och sprängningsarbetena har nyligen påbörjats.

Figurerna 6-4 och 6-5 visar en perspektivskiss av CLAB, respektive en plan av undermarksdelen. Anläggningen består av en ovanjordsdel för mottagning av bränsle och en underjordsdel med förvaringsbassängerna. I ovanjordsdelen inryms även utrustning för ventilation, vattenrening och kylning, avfallshantering mm, samt utrymmen för administration och driftpersonal. Mottagning av bränsle och all hantering sker under vatten i bassänger. Ca 80 000 m³ bergschaktning utfördes för ovanjordsbyggnaderna med schaktdjup upp till drygt 20 m.

Förvaringsbassängerna är utförda i betong med en inklädnad av rostfritt stål och är placerade i ett bergrum. Bergrummet är förbundet med markytan med en transporttunnel, ett kombinerat hiss- och ventilationsschakt samt ett bränslehisschakt.

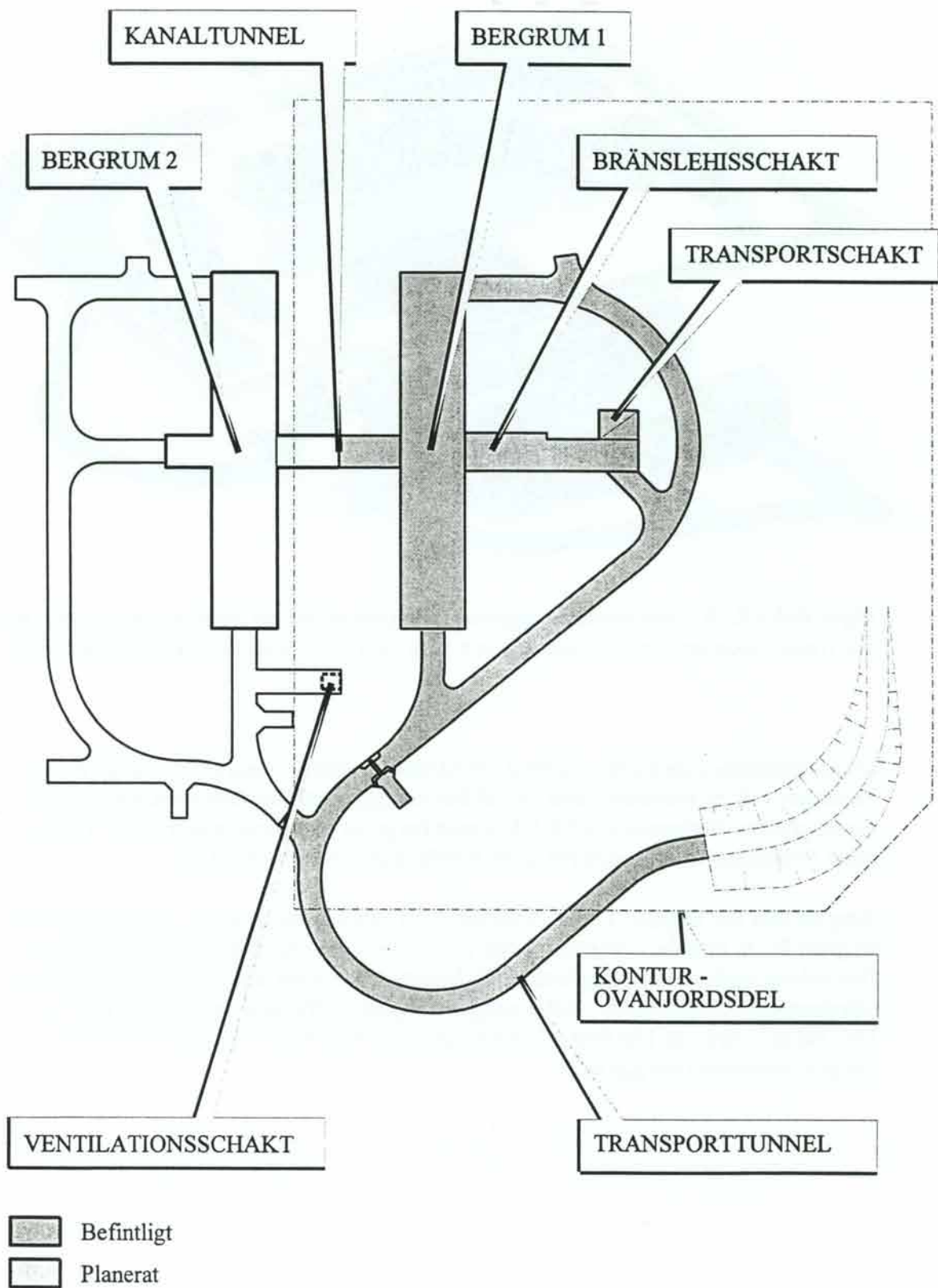
Transporttunneln är ca 500 m lång och har en area på 35 m². Hiss- och ventilationsschaktet är kvadratisk med arean 120 m² och nettohöjden i berg är ca 15 m. Totalhöjden mellan botten och ursprunglig bergyta är ca 44 m och mellan stannplanen 56 m. Bränslehisschaktet är cirkulärt med bruttodiameter 3,5 m och invändig diameter 2,0 m.



Figur 6-4. CLAB – ovanjordsanläggning (transparent för att undermarksanläggningen ska synas), tunnlar och bergtrum. Ljusare färg visar påbörjad utbyggnad under jord.

Undermarksdelen innefattar, förutom de nämnda transportvägarna, ett bergtrum med bassänger och ett tvärskepp som har till huvuduppgift att förbinda hissakten med bassänghallen. Förberedelser för ytterligare bergtrum har gjorts genom en 20 m lång blind förlängning av tvärskeppet samt avsättningar i transporttunneln.

Bergtrummet har längden 117 m, bredden 21 m och höjden ca 27 m. Tvärskeppet har längden 58 m, bredden varierar mellan 11 och 13 m och höjden mellan 12 och 24 m. Den största höjden finns i anslutning till bergtrummet. Bergtrummetts volym inklusive tvärskeppet är ca 80 000 m³. Total uttagen bergvolym för hela anläggningen är ca 180 000 m³, varav ca 100 000 m³ under mark. Ca 90 000 m³ tillkommer från den nyligen påbörjade utbyggnaden.



Figur 6-5. CLAB – plan av tunnlar och bergrum.

6.3.2 Bergbyggnad

Bergundersökningar

Förundersökningar av bergförhållandena utfördes under 1978 och 1979 i samband med lokalisering och projektering av CLAB-anläggningen (Moberg 1978; Moberg m fl, 1979). Undersökningarna omfattade refraktionsseismik, hållkartering, 11 kärnborrhål med kartering och vatteninjektionstester, bergspänningsmätning samt jord/bergsonderingar. Dessa undersökningar bekräftade områdets lämplighet och gav underlag för bestämning av bergrummets och tunnarnas placering i plan och höjdled.

Under byggskedet utfördes:

- försonderingar i tunnelgavlarna,
- geologisk dokumentation av bergarter, sprickor och andra bergstrukturer,
- dokumentation av vattenförhållanden i bergrummet och i brunnar i omgivningen,
- mätningar av bergets deformationer,
- undersökning av bergrummets botten bland annat med 16 kärnborrhål för grundläggning av bassänger,
- dokumentation av bergförstärkningar och injekteringsarbeten.

Figur 6-6 visar undersökningshålens placering och figur 6-7 ger en översikt av bergstrukturer kring bergrummet. Bergmassan består till största delen av övergångsformer mellan granit och vulkanit, men även ren granit och vulkanit förekommer. Sprickfrekvensen är relativt hög, i medeltal 5–6 sprickor/m. Huvuddelen av dokumentationen sammanställdes och redovisades av Eriksson (1982). Kompletterande undersökningar för bergrum 2 utfördes under 1995 och 1997 (Stanfors m fl 1997b).

Bergmekaniska parametrar

Bergets initialspänningar mättes 1979 vid bergrum 1 och 1997 vid planerat läge för bergrum 2 (Moberg m fl, 1979, Stanfors m fl, 1997b). I bägge fallen användes överborrningsmetoden. Mätningar gjordes på flera nivåer och på varje nivå gjordes tre mätningar. Mätresultaten visar som vanligt ganska stor spridning både för spänningsnivåer och för huvudspänningsriktningar, se tabell 6-4.

Tabell 6-4. Resultat bergspänningsmätningar i CLAB (medelvärden för varje mätnivå).

Hål	Djup under markytan, m	σ_H , MPa	σ_h , MPa	σ_v , MPa	Riktning σ_H , (°)
1997:1	34	6.6	4.7	4.5	9°
1997:2	60	4.3	2.5	7.7	23°
1979:1	23	7.6	4.0	-0.1	47°
1979:2	41	7.1	2.0	2.4	42°
1979:3	56	6.3	2.5	0.7	80°

CLAB

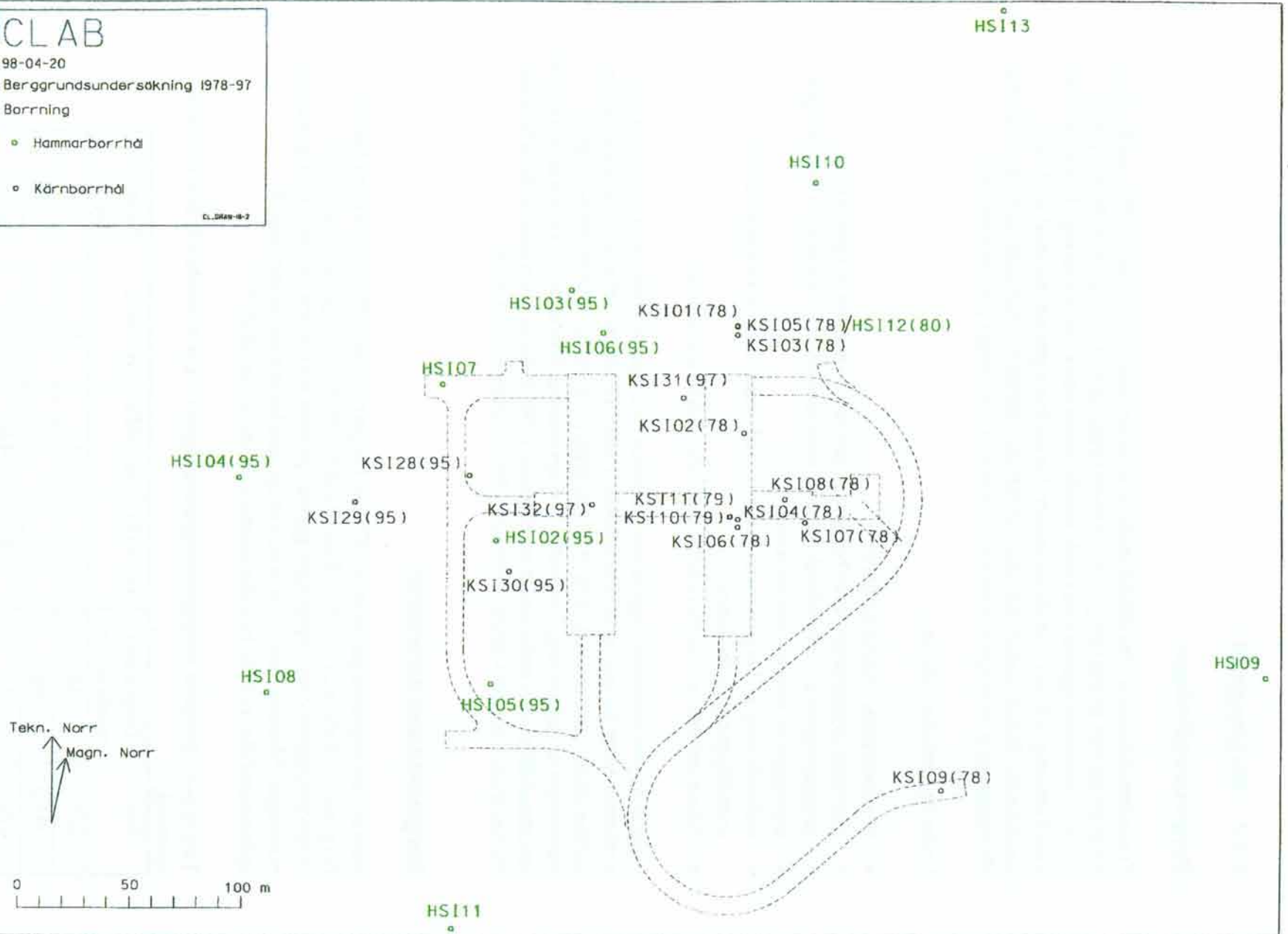
98-04-20

Berggrundsundersökning 1978-97

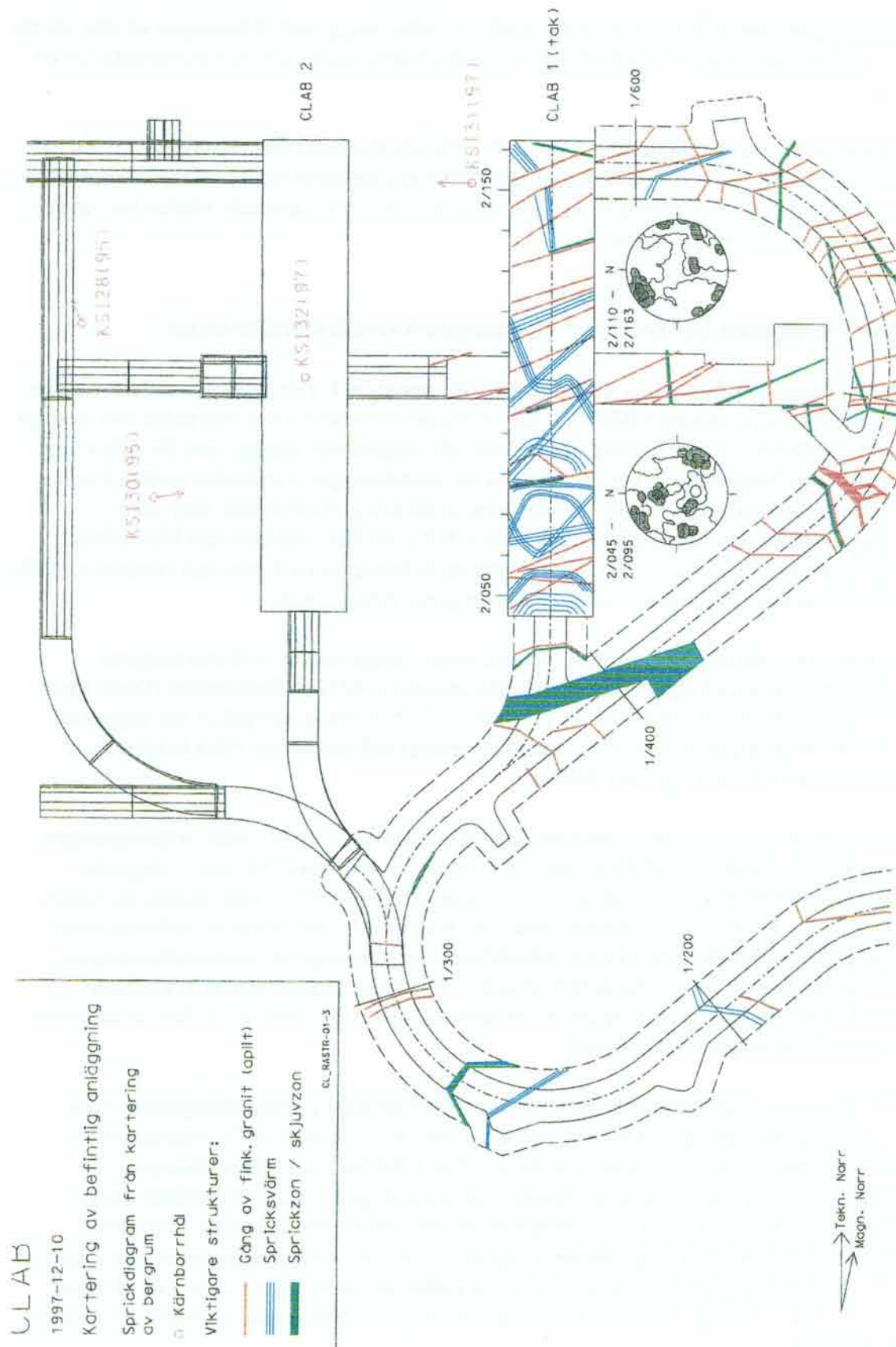
Borrning

- Hammarborrhål
- Kärnborrhål

CL-DRAW-8-2



Figur 6-6. CLAB – översikt av undersökningsboringar (efter Stanfors m fl 1997b).



Figur 6-7. CLAB – bergkartering av befintlig anläggning (efter Stanfors m fl 1997b).

Spänningsnivåerna är normala för svensk kristallin berggrund. Riktningen på den största horisontalspänningen är nordostlig för de äldre mätningarna och nordnordostlig för de yngre.

Bergkärnornas E-modul mättes till 80–94 GPa och Poissons förhållande till i medeltal 0,27 (variation 0,23–0,33). Tryckhållfastheten var i medeltal ca 200 MPa för ospruckna kärnbitar med 42 mm diameter och förhållandet $l/d = 2,5$. Liknande värden har rapporterats från O3:s tilloppstunnel.

Bergmekaniska beräkningar och bergdeformationsmätningar

En bergmekanisk beräkning utfördes 1981 för bergrum 1. För den numeriska analysen användes programpaketet BEFEM, varvid berget förutsattes vara osprucket och isotropt samt uppföra sig linjärelastiskt. E-modulen för bergmassan antogs vara 30 GPa (= en tredjedel av bergartens). Den horisontella initialspänningen varierades mellan 4 och 8 MPa. Beräknade spänningar och deformationer kring bergrummet blev nära proportionella mot initialspänningen. Vid 8 MPa och fullt utbrutet rum blev största tryckspänningen 25 MPa i hjässan och största deformationen 8 mm inåt rummet ungefär mitt på väggen. Taket skulle enligt beräkningarna lyftas 3 mm.

Deformationsmätningar utfördes i två sektioner i bergrummet. Vid mätningarna användes två olika instrument, Sliding Micrometer (SM) och Distometer (DM). Med SM mättes deformationerna på varje meter i 22–25 m långa borrhål (8 hål väggarna, 2 hål borrhålen uppför mot taket). Med DM mättes deformationer tvärs bergrummet (konvergens) mellan ingjutna dubbar.

Triangelmätning med DM visade att taket höjde sig med 2 mm under utsprängningen, medan SM visade att mätstålen i taket förkortades med endast 0,2 mm. I väggarna mättes med SM en rörelse inåt på 1,5–3,5 mm och med DM en konvergens på mellan 2 och 7 mm för de olika mätsträckorna. Om man beaktar att en del av deformationen i väggarna inträffade innan första mättillfället kan man säga att överensstämmelsen mellan beräknade och mätta deformationer var god. Deformationerna avstannade omedelbart när bergsprängningen avslutades vid årsskiftet 1981-82, vilket är ett säkert tecken på att bergmassan är stabil.

Mätningarna av bergdeformationer fortsatte efter att bergrummet färdigställts, som en del av kontrollprogrammet och har redovisats av Larsson (1997). Intervallen för mätningarna glesades successivt ut för att efter 1986 bli två år. Så småningom konstaterades att bergväggarna började röra sig inåt igen, vilket misstänktes kunna bero på instabilitet. En enkel överslagsberäkning visade emellertid att rörelserna berodde på att berget kring rummet långsamt värms och expanderar, något som också bekräftades med en numerisk analys. Såväl mätningar som analys visade att rörelsen var i storleksordningen 0,5–1,0 mm fram till 1990 och beräkningsmässigt 1,0–2,0 mm till år 2030.

Bergdrift

Ovanjordsdelen togs ut med pallsprängning med ståndarborrning (vertikala borrhål). På vanligt sätt utfördes underborrning till en dryg halv meters djup under teoretisk kontur och med kraftig bottenladdning. Följden blev att bergbotten efter bortrensning av skadat berg kom ca två meter för djupt under mottagningsbyggnadens bassänger, vilka skulle grundläggas helt på berg. Det blev nödvändigt att ersätta det bortskjutna berget med betong.

Bergrummet togs ut i fyra etapper, takort följd av två sidostrossar och tre liggarpallar (horisontella borrhål). Bergrummets och tvärskeppets takort togs ut med början vid bergrummets södra gavel. Den översta pallan togs ut via tvärskeppet och de två undre pallarna via den norra tunnelanslutningen. Den tredje pallan var endast ca 3 m hög vid norra gaveln, varför endast en kort ramp behövdes för att komma upp på pall två. Liggarpallar har fördelen att vara skonsammare mot det kvarvarande berget, vilket hade ett värde med tanke på grundläggningen av bassängerna.

Vatteninläckning och injektering

I tillfartstunneln påträffades ett tjugotal ställen med droppande eller rinnande vatten. Förinjektering utfördes dock på ett enda ställe, ca 100 m söder om bergrummets södra gavel och efterinjektering gjordes i zonen omedelbart söder om samma gavel. Närmare ett hundratal dräner sattes bakom sprutbetongen för att leda undan inläckande vatten.

Bergrummets och tvärskeppets tak och väggar förinjekterades kontinuerligt. Golvet lämnades däremot utan injektering, för att undvika tryckuppbyggnad och få en viss avlastning av vattentrycket. Ändå behövdes ca 50 dräner bakom sprutbetongen, och när bergrummet var färdigt sattes mer än 300 trattar i taket för att samla upp vattendropp.

Vatteninläckningen i den färdiga tunneln och bergrummet är ändå relativt låg. Vid driftstarten 1985 uppmättes en inläckning på totalt 60 l/min och efter 12 års drift knappt 40 l/min. Detta motsvarar 5–6 liter per minut och 100 meter tunnel (Larsson, 1994).

Bergförstärkning

Tillfartstunnelns tak och 40% av väggarna är försedda med 50 mm sprutbetong, delvis av säkerhetsskäl och delvis för att minimera framtida underhållsskrotning. Systembultning utfördes i taket vid svaghetszonerna och i övrigt selektivt. Totalt har ca 200 bergförankringar satts på 500 m tunnel.

Mycket höga krav ställdes på bergrummets stabilitet och säkerhet. Det fick inte finnas någon som helst risk för nedfall av stenar eller bergras som kunde skada bassängerna eller deras innehåll av använt kärnbränsle, inte ens vid extrema lastfall som jordbävning eller sprängladdningar. Bergrummet är därför försedda med en minimiförstärkning som för taken är 100 mm armerad sprutbetong och systembultning med en 26 mm helgängad bult med ändbricka per fyra kvadratmeter takyta. Väggarna förstärktes med minst 50 mm sprutbetong.

Vid korsningen mellan huvudskeppet och tvärskeppet utfördes platsgjutna betongpelare i varje hörn. I taket utfördes armerade och bultade sprutbetongbågar mellan pelarna.

Avsikten var att huvudsakligen bulta selektivt i väggarna och att nyttja systematisk bultning endast om berget hade några större svagheter. Huvudsprickriktningen tvärade huvudskeppet nästan vinkelrätt. Emellertid fanns det vinkelrätt mot huvudsprickriktningen en sekundär sprickriktning som var nästan lika uthållig. Dessa två sprickriktningar kom alltså att följa nästan parallellt med bergrummens väggar respektive gavlar, vilket medförde att den selektiva bultningen blev av ungefär samma omfattning som en systematisk bultning. På grund av väggarnas höjd (upp till 23 m) användes mestadels 6 m långa bultar för att säkra stabiliteten. Lokalt, där sprickor formades bergkilar i väggarna, användes 8 m långa bultar. Totalt sattes ca 2 500 bultar i huvudskepp och tvärskepp.

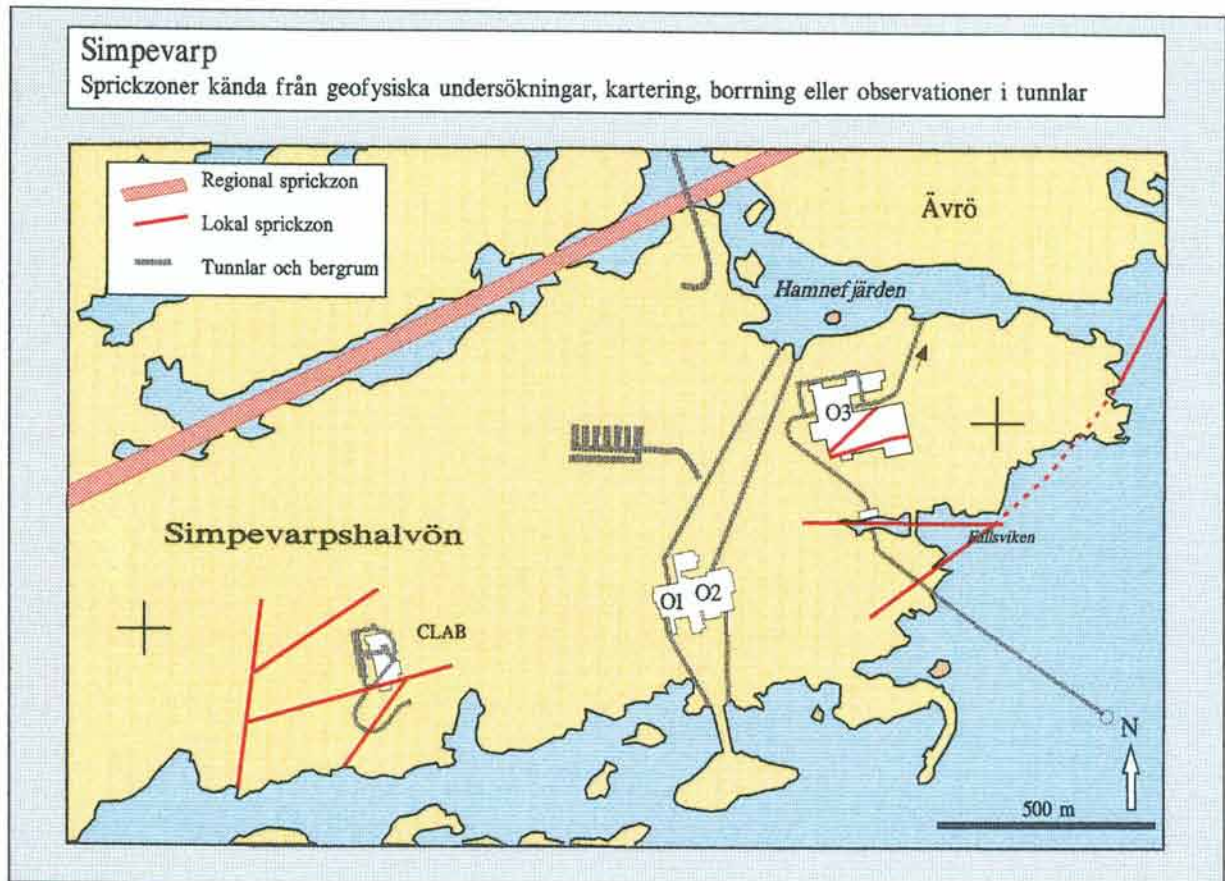
6.4 Bergbyggnadstekniska erfarenheter

Den samlade bild som framträder när data och erfarenheter från anläggningarna i Simpevarp sammanställs är att området erbjuder goda för att inte säga mycket goda förhållanden för bergbyggnad. Denna slutsats verifieras av att berganläggningar på vilka det ställs mycket höga funktionskrav har kunnat byggas och drivas som planerat. Den enda överraskningen man möjligen kan tala om är den så gott som totala bristen på oväntade problem under utförandet.

Det kanske svåraste, eller snarare känsligaste arbetet, var att utföra kylvattenintaget till O3, där man i slutänden arbetade under en 5–6 m tjock bergpropp med 20 m vatten på ovansidan. Ett ras med åtföljande vatteninbrott skulle ha blivit katastrofalt, främst för dem som befann sig i tunneln, men även för O3:s byggarbetsplats. Det fanns således anledning att gå fram med mycket stor försiktighet och med stora marginaler. Arbetet genomfördes lyckosamt och med mycket gott resultat. Arbetet med kylvattenintaget är dock inte relevant för ett djupförvar, såvida man inte planerar en lokalisering under havet och har behov av ventilationsöppningar eller nödutrymningsvägar till något grunt område eller skär.

Det går inte att dra några säkra slutsatser om förhållandena på djupförvarsnivå, eftersom vi inte har några data om berget på större djup än ca 75 meter under havet. Å andra sidan finns inte heller några indikationer som pekar på försämringar mot djupet. Erfarenheterna från Äspölaboratoriet och de djupa borrhålen vi Laxemar (se kapitel 9) tyder på att man troligen inte får några dramatiska förändringar från markytan och ner till djupförvarsnivå.

I Figur 6-8 visas slutligen en översikt av Simpevarpshalvön med kända sprickzoner, belagda genom geofysik, kartering, borming eller i tunnlar. Kunskapen om zonerna är ett resultat av undersökningar och bergbyggnad på halvön, och är en viktig utgångspunkt vid eventuella ytterligare undersökningar i området.



Figur 6-8. Översikt av Simpevarpshalvön som visar anläggningarna och kända sprickzoner (Stanfors och Larsson, 1998)

7 Äspölaboratoriet

7.1 Bakgrund

I SKB:s FoU-program 1986 föreslogs att ett underjordiskt berglaboratorium skulle byggas. Detta skulle bland annat ersätta den forskning som dithills bedrivits vid Stripa gruva. De viktigaste motiven för ett berglaboratorium var:

- utprovning och verifiering av metoder för bergundersökningar,
- möjlighet att i en ostörd miljö undersöka förhållanden som är viktiga för säkerheten vid djupförvaring,
- möjlighet att i realistisk miljö genomföra demonstrationsförsök och långtidsförsök,
- metodutveckling för bergarbeten, avfallshantering och återfyllning.

Lokalisering till Simpevarpsområdet föreslogs. Under hösten 1986 inleddes undersökningar inom ett inledningsvis ganska stort område. Resultaten ledde successivt fram till att man 1988 beslöt att berglaboratoriet skulle förläggas till Äspö. Motiven för denna placering var bland andra att:

- kravet på ostörda förhållanden i berggrunden och grundvattnet kunde tillgodoses,
- Äspö har inom ett begränsat område tillgång till de olika geologiska och hydrogeologiska förhållanden som krävdes för planerade försök och deras utvärdering,
- närheten till Oskarshamnverkets anläggningar gav nära tillgång till infrastruktur och service.

Regeringen beslutade 1989 att ärendet skulle prövas enligt Naturresurslagen. Erforderliga tillstånd lämnades 1990, och bygget kunde påbörjas samma år. Ovanjordsdelen – Äspö By – togs i bruk 1994, undermarksdelen blev klar 1995. Forskningsverksamhet har pågått såväl före som under byggnadstiden. Det egentliga driftsskedet inleddes 1995. Under perioden 1996–1998 har anläggningen under jord byggts ut för teknikdemonstration och långtidsförsök, och lokalerna ovan jord har utökats.

7.2 Allmänna data

Forskningsanläggningen planerades att ligga på djupförvarsnivå, det vill säga ca 500 m under markytan. Både schakt och lutande tunnel (ramp) diskuterades som alternativ för tillfart till anläggningsnivån. Tillfart via ramp föredrogs med motiven att det gav större driftsmässig flexibilitet samt att data kunde fås från en större bergvolym än vad som varit möjligt med ett schakt. Nedfartsrampen planerades därför som en sexkantsspiral i tre eller fyra varv mellan markyta och anläggningsnivå.

Vid tillståndsprovningen enligt Naturresurslagen förordade myndigheterna att inverkan på miljön på skulle reduceras vid utbyggnaden. Planeringen ändrades därför så att tunnelentrén flyttades från Äspö till industriområdet på Simpevarpshalvön. Avståndet mellan tunnelpåslaget och spiralen är ca 1 600 m. Tunnelnivån vid ankomsten till spiralen blev då 220 meter under havet. Anläggningsnivån, som vid den här tidpunkten var beslutad till ca 450 m, kunde då nås med två spiralvarv. Figur 7-1 visar en principskiss av den slutliga utformningen.

Rampens tvärsnittsarea bestämdes till 25 m² på raksträckor och 43 m² i kurvor och vid mötesplatser. Bredden blev då 5 respektive 8 m och höjden i hjässan minst 5,5 m. Tunnelns totala längd är 3 600 m. Drivningen skedde med konventionell borrhning/sprängning, förutom den nedersta delen där en 410 m lång sträcka fullprofilborrades med s k TBM-teknik (diameter 5,0 m). På anläggningsnivån finns ett flertal stickorter och utrymmen för experimentverksamhet och servicesystem. Den sammanlagda längden av stickorterna är ca 470 m.

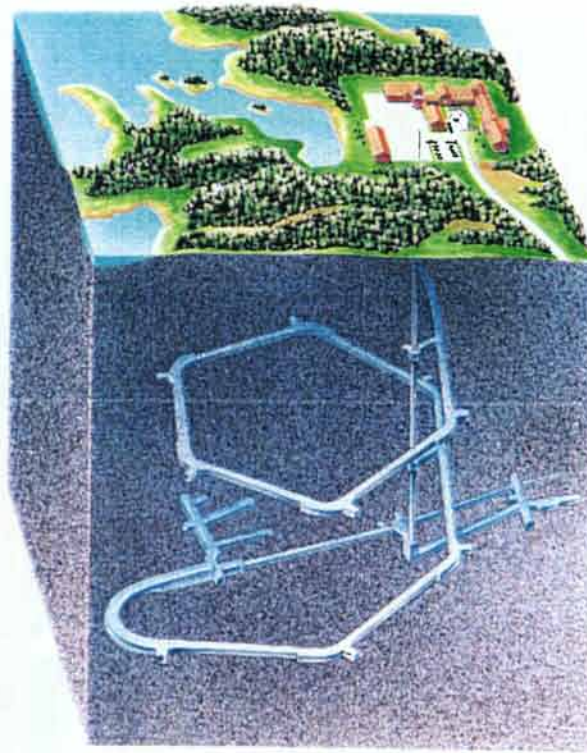
Ett hisschakt med 3,8 m diameter och två ventilationsschakt med 1,5 m diameter utfördes med stigortsborrhning (raise boring) mellan markytan och 450-metersnivån. Alla schakten har anslutningar till stannplan vid spiralen på djupen 220 m, 330 m och 447 m. Total uttagen bergvolym för Äspölaboratoriet är ca 150 000 m³.

7.3 Berggrundsundersökningar

Mycket omfattande undersökningar genomfördes under såväl förundersökningsskedet som anläggningssskedet. Utöver de vanliga syftena – att utgöra underlag för lokalisering, platsanpassning och byggande – hade undersökningarna följande, i detta fall ännu mer väsentliga syften:

- verifiera undersökningsmetoder, dvs demonstrera att undersökningar från markytan och i borrhål ger tillräckliga data om väsentliga säkerhetsrelaterade egenskaper hos berget på förvarsnivå,
- fastställa detaljundersökningsmetodik, dvs vidareutveckla och verifiera de metoder och den teknik som behövs för att karakterisera berget på en plats,
- pröva modeller för att beskriva bergets barriärfunktion, dvs vidareutveckla och pröva metoder och modeller som beskriver grundvattenflöde, radionuklidmigration och kemiska förhållanden på förvarsdjup.

Som ett väsentligt inslag i att pröva och verifiera metoder och modeller ingick exempelvis att förutsäga bergmassans sammansättning och egenskaper med ledning av undersökningar från markytan, och därefter jämföra förutsägelsen med observationer och undersökningar i tunnarna. Ett exempel på en sådan jämförelse ges i Figur 7-2. Resultaten i sin helhet sammanfattas i SKB:s rapportserie TR 97-02, 97-03, 97-04, 97-05, 97-06 och 94-24 (Stanfors m fl, Rhén m fl, Almén m fl, 1997 och 1994).



Figur 7-1. Åspölaboratoriet ovan och under jord.

Figur 7-2. Jämförelse mellan förutsägelse och utfall i Äspölaboratoriets tillfartstunnel, delen från mitten på räcksträcken till och med första spiralarvet (efter Rhen m fl 1997b).

0700-1475 m: 0/700													RS_3XMEC-01-1 960321															
Fracture Zones													0/800		0/900		1/000		1/100		1/200		1/300		1/400		1/475	
Lithology													EW-7		NE-4		NE-3		NE-1		EW-3							
PREDICTION													OUTCOME															
Rock Quality (RMR)	Class	A	B	C	D	E	Class	A	B	C	D	E																
	%	20	45	30	-	5	%	11	37	40	3	9																
Rock Stress (Meas. position ○)	Vertical stress		Max horiz. stress			Min horiz. stress		Vertical stress		Max horiz. stress			Min horiz. stress															
	$\sigma_v = Z(m) \cdot 0.0265$		$\sigma_{H,max} = 1.7-2.0 \cdot \sigma_v$			$\sigma_{H,min} = 1.1-1.5 \cdot \sigma_v$		$\sigma_{v, measured} = 1.1 \cdot \sigma_v$		$\sigma_{H,max} = 3.0 \cdot \sigma_v$			$\sigma_{H,min} = 1.9 \cdot \sigma_v$															
Orientation		N30° W ±15°			N60° E ±15°				N73° W			N17° E																
1475-2265 m: 1/475 1/500													1/600		1/700		1/800		1/900		2/000		2/100		2/200		2/265	
Fracture Zones													NE-2		NE-2													
Lithology																												
PREDICTION													OUTCOME															
Rock Quality (RMR)	Class	A	B	C	D	E	Class	A	B	C	D	E																
	%	35	35	25	5	-	%	32	45	21	2	-																
Rock Stress (Meas. position ○)	Vertical stress		Max horiz. stress			Min horiz. stress		Vertical stress		Max horiz. stress			Min horiz. stress															
	$\sigma_v = Z(m) \cdot 0.0265$		$\sigma_{H,max} = 1.6-1.7 \cdot \sigma_v$			$\sigma_{H,min} = 0.8-0.9 \cdot \sigma_v$		$\sigma_{v, measured} = 1.2 \cdot \sigma_v$		$\sigma_{H,max} = 2.2 \cdot \sigma_v$			$\sigma_{H,min} = 1.2 \cdot \sigma_v$															
Orientation		N25° W ±15°			N65° E ±10°				N58° W			N32° E																
2265-2874 m: 2/265 2/300													2/400		2/500		2/600		2/700		2/800		2/874		Legend:			
Fracture Zones													○ 2/196												Småland (Avrö) granite			
Lithology																									Aspö diorite			
																									Greenstone			
																											Fine-grained granite	
																											Mylonite-hybridized	
PREDICTION													OUTCOME															
Rock Quality (RMR)	Class	A	B	C	D	E	Class	A	B	C	D	E																
	%	20	50	20	10	-	%	34	36	29	1	0																
Rock Stress (Meas. position ○)	Vertical stress		Max horiz. stress			Min horiz. stress		Vertical stress		Max horiz. stress			Min horiz. stress															
	$\sigma_v = Z(m) \cdot 0.0265$		$\sigma_{H,max} = 1.2-1.4 \cdot \sigma_v$			$\sigma_{H,min} = 0.6-0.8 \cdot \sigma_v$		$\sigma_{v, measured} = 1.1 \cdot \sigma_v$		$\sigma_{H,max} = 2.8 \cdot \sigma_v$			$\sigma_{H,min} = 1.1 \cdot \sigma_v$															
Orientation		N30° W ±10°			N60° E ±10°				N46° W			N44° E																

7.4 Bergbyggnad

Den första delen av bergarbetena utfördes av SIAB. Kontraktet omfattade alla bergarbeten och installationer i tunneln ner till 340 meters djup, totalt ca 2 600 längdmeter tunnel. Återstoden av bergarbetena, inklusive TBM- och stigortsborrning, utfördes av Skanska (SKB, 1996).

Borrning/sprängning

Två typer av borrhjugg användes, en automatiserad och en manuell. Den första var en nyligen utvecklad datoriserad borrhjugg försedd med den senaste teknologin. Borrnoggrannheten skulle medge användning av 18 fots bommar i stället för normala 16 fots. Det visade sig vara möjligt men svårt att borra halvmanuellt och manuellt, men trots detta användes dessa två arbetssätt mest. Det automatiska arbetssättet fungerade inte.

Den andra typen var en mer konventionell trebomsrigg med 16 fots bommar. Riggens kördes manuellt och den var försedd med en datoriserad riktningssystem ("Bever Control"). Från denna kunde också data fås om borrarparametrar som matningstryck och borrsjunkning. Denna rigg visade sig också vara lämpligare för undersöknings- och sonderingsborrningar.

Enligt byggnadsbeskrivningen skulle borrning och laddning dimensioneras så att skadezonen i det kvarvarande berget begränsades till ca 0,3 m i konturen och 0,6 m i golvet. Detta provades i början av tunneln. Kravet kunde, till rimlig kostnad, innehållas i konturen men inte i golvet. Efter flera tester kom man överens om en borr- och laddplan som gav en teoretisk skadezon som var mindre än 0,5 m i konturen och 1,5 m i golvet vid användning sprängämnenä Dynamex och Gurit.

Lastning gjordes med en elektrisk hjullastare med 7 m³ skopa och upptransporten av bergmassor med dieseldrivna truckar. Elektriska lastare är mer vanliga i gruvor än i tunnlar eftersom de inte är så rörliga som dieseldrivna. Det var huvudsakligen miljöskäl som gjorde att man trots det valde elektrisk lastning.

TBM-borrning

Borrning med TBM innebär att hela tunnelsektionen borrar ut i ett arbetsmoment. Maskinen tar stöd mot bergväggarna med gripprar (domkrafter). Det gör det möjligt att skapa ett tryck framåt och överföra kraften till ståldiskar som sitter på borrhuvudet. Gripprarna möjliggör också att man kan skapa ett vridmoment som tvingar huvudet att rotera mot berget. När ståldiskarna trycks mot berget bryts bergbitar loss. Det lossbrutna berget fraktas ut bakom maskinen på transportband. Ett borrhuvud med 5 m diameter väger ca 50 ton och hela maskinen ca 200 ton.

Ursprungligen planerades att TBM-borra en spiral på ett varv med 150 m radie, från nivå 340 m till 450 m. Det visade sig dock att TBM-maskinen inte skulle klara att hålla kurvradien, vilket skulle medföra risk för att komma i kontakt med sprickzonen NE-1.

Denna zon var känd som mycket komplex och kraftigt vattenförande från en tidigare passage vid ca 180 meters djup, då med konventionell borrar/sprängning. Därför beslöt man att i stället starta TBM-borringen halvvägs ner vid en plats i östra delen av spiralen och borra i västlig riktning. Början av TBM-tunneln gavs en mer moderat horisontell kurvradi på 250 m och samtidigt lutning nedåt på 1:7, vilket i sig var en utmaning. Sista delen av tunneln, som var avsedd för deponeringsförsök av kapslar, var rak med en svag lutning uppåt.

TBM-borringen utfördes framgångsrikt under sommaren 1994 med en TBM typ Jarva Mk15. För att anpassa maskinen till förhållandena i Äspötunneln var maskinen försedd med en del speciella funktioner såsom:

- två bormaskiner för borrar av test- och injekteringshål,
- öppningar i borrhuvudet för borrar av hål i tunnelgaveln,
- elektrisk frekvensomvandlare för kontinuerligt variabel rotationshastighet,
- insamlingsenhet för data från TBM- och sonderingsborring,
- en dieselgenerator i reserv med kapacitet för att driva pumparna för inläckande grundvatten från tunneln,
- manöverhytten utformad som en räddningskammare.

TBM-maskinen monterades och testades först hos tillverkaren. Efter demontering sändes den till Äspö och monterades i ett bergrum på nivå 420 meters djup. Länshållningssystemet förstärktes kraftigt, eftersom man befarade betydande vatteninflöden längs den sträcka som skulle borraras.

Innan TBM-starten kärnborrades ett 200 m långt testhål i tunnelns centrumlinje. Resultaten från detta hål användes för planeringen av injekteringsarbetet. Borring för hydrotester och injektering gjordes med de två bormaskinerna. Hålen borrades i solfjädersform framåt så att man fick en skärm framför TBM-huvudet. Totalt injekterades 56% av TBM-tunnelns längd. Inflödet till testhålen mättes, det största flödet i ett enskilt hål var 120 l/min.

Några data från TBM-borringen:

- | | |
|--|------------|
| • Medelkapacitet (effektiv borrhast) | 1,36 m/tim |
| • Högsta kapacitet (effektiv borrhast) | 2,5 m/tim |
| • Veckoproduktion i medeltal | 32 m |
| • Bästa dag | 14,7 m |
| • Bästa vecka | 48,7 m |
| • Tillgänglighet | ca 30% |

Med hänsyn till den relativt korta längden på TBM-tunneln bör erfarenheter och data jämföras med inkörningsperioden för ett normalt TBM-projekt.

Stigortsborrning

Stigortsborrning förutsätter att det blivande schaktets bägge ändrar är tillgängliga vid borrstart. Schakten är vanligen vertikala, men kan även vara lutande och till och med horisontella. Ett grovt pilothål (vanligen 250–300 mm) borrar från schaktets övre ände med hjälp av riggen för stigortsborrning. När genomslag erhållits monteras borrkronan på borrstången. Kronan dras sedan upp under rotation varvid schaktet får sin slutliga diameter. Borrkaxet faller ner till schaktbotten och lastas successivt ut.

Stigortsborrningen av de tre schakten för hissen respektive ventilationen och andra installationer valdes i huvudsak för att minska riskerna under utförandet (jämfört med borring och sprängning för konventionell stigort). Stigortsborrning ger ett cirkulärt schakt utan att ge skador på det omgivande berget. De relativt släta väggarna med lågt flödesmotstånd gör sådana schakt lämpliga som ventilationskanaler.

Den första etappen av stigortsborrningen utfördes från markytan till nivå –220 m. För det större schaktet för hissen borrades ett 360 mm pilothål i ett försök att uppfylla det stränga kravet på liten avvikelse från lodlinjen. Avvikelsen blev emellertid något större än vad som kunde accepteras. Av det skälet måste den nedre delen av hålet rymmas upp med en 4,1 meters krona, i stället för planerade 3,8 meters. De andra två etapperna av hiss schaktet var endast drygt 100 m vardera. För dessa låg pilothålen inom gränserna så att 3,8 meters kronan kunde användas hela vägen. Kraven på ventilationsschakten (diameter 1,5 m) var lägre. För dessa kunde mindre maskiner och pilothål användas.

Förinjektering utfördes i pilothålen för den översta delen av schakten (ner till 220 m). Resultaten blev otillfredsställande och ett omfattande injekteringsarbete måste genomföras efter upprymningen av schakten. I de nedre delarna av schakten utfördes därför förinjektering i borrhål utanför schaktkonturen. Resultatet blev så pass bra att det inte behövdes någon ytterligare injektering. I den övre delen av schakten måste man däremot installera uppsamlingsystem för grundvattnet.

Bergmekaniska parametrar

Bergets initialspänningar har mätts dels i borrhål från markytan med i huvudsak hydraulisk uppspräckning, dels med överborrningsmetoden i borrhål på olika nivåer längs rampen och orter avsedda för experiment. Största horisontella spänningen mättes med uppspräckning till i medeltal ca 15 MPa på nivå 350–400 m och till ca 23 à 25 MPa på 500–550 m djup. På djup större än ca 600 m ökar spänningsnivån markant till värden på över 40 MPa. I jämförelse med dessa värden visar mätningar med överborrningsmetoden i flera fall på betydligt högre värden för vissa komponenter. I andra fall är överensstämmelsen med data från mätningarna med hydraulisk uppspräckning bättre.

Den största horisontella spänningen har NV-SO riktning. Resultat av bergspänningsmätningarna i CLAB, Äspö och Laxemar framgår av Figur 9-2.

Laboratorietester av de olika bergarternas hållfasthets- och deformationsegenskaper visade en tämligen liten skillnad mellan bergarterna. Fördelningen av huvudbergarterna i Äspötunneln är Äspödiorit ca 50%, Smålandsgranit ca 35%, yngre finkornig granit

ca 12% och grönsten ca 3%. Medeltryckhållfastheten är högst för den finkorniga graniten och Smålandsgraniten, ca 250 MPa, och lägst för Äspödioriten, ca 170 MPa. Spridningen i hållfasthet är emellertid störst för den finkorniga graniten och minst för Äspödioriten och Smålandsgraniten. E-modulen är i stort sett lika för alla bergarterna, ca 75 GPa.

För klassificering av bergmassan i Äspötunneln användes RMR-systemet (se avsnitt 3.3.1). 67% av tunneln har RMR > 60 (gott till mycket gott berg), för 28% var RMR 40–60 (ganska bra berg) och 4% har RMR < 40 (dåligt berg). Den finkorniga graniten har signifikant lägre RMR-värden och större spridning än övriga bergarter och svarar för den större delen av dåligt berg. De inbördes skillnaderna mellan de övriga bergarterna är mindre och de visar också mindre variationer.

Förstärkningsarbeten

Bergförstärkning utfördes med normala metoder, det vill säga bultning, sprutbetong med och utan fiberarmering, sprutbetongbågar samt injektering. Där så var möjligt skulle ytförstärkning med stålnät favoriseras före betongsprutning, för att ge möjlighet att observera bergytan även efter förstärkning. Endast små ytor kunde nätas eftersom spannet mellan ytor som måste betongsprutas och ytor som kunde lämnas utan ytförstärkning var så litet. Det visade sig snart att de få näten fylldes med avlossnande berg, vilket bedömdes vara en säkerhetsrisk. De flesta näten togs därför ner och ersattes med sprutbetong.

I den första raka delen av tunneln fram till spiralen (l = 1 600 m) påfördes sprutbetong utan armering på ca 5%, fiberbetong på ca 15% och sprutbetong med nät- eller stångarmering (mest bågar) på ca 2,5% av sträckan. Närmare 400 bultar sattes i taket, de flesta av typ Swellex med rotskyddsbeläggning. Tunneln passerade ett antal sprickzoner, varav zonen benämnd NE-1 mellan 1 260 och 1 340 m var den mest besvärliga, huvudsakligen därför att den var kraftigt vattenförande. Nära en tredjedel av sprutbetongen användes vid NE-1.

Mellan zonerna var berget mestadels av god kvalitet, exempelvis krävdes inga förstärkningsåtgärder på en 400 m lång sträcka mellan 330 m och 730 m. I den 1 600 meter långa sprängda delen av tunnelspiralen påfördes sprutbetong mestadels utan armering på ca 10% av sträckan, samt i en del nischer och i anslutningarna till hisschaktet. Ca 200 bultar sattes, en stor del av dem vid utvidgningar av tunneln. Närmare hälften av bultarna var varmförzinkade och epoxilackade Örstabultar, valda med tanke på det salthaltiga grundvattnet. I denna del av tunneln fanns i enlighet med den prognos som hade gjorts inga större sprickzoner. I den 400 meter långa TBM-borrade delen av tunneln utfördes inte några bergförstärkningar.

Injekteringsarbeten

Utprovning av injekteringsmetoder gavs hög prioritet under tunnelarbetena. Ett krav var att injekteringsmaterialet skulle ha en begränsad påverkan på grundvattenkemin. Spridningen av injekteringsbruk skulle inskränkas för att minimera störningen av de

ursprungliga bergegenskaperna. Å andra sidan fanns det krav på begränsat vatteninflöde i tunneln. Ett injekteringsprogram baserat på dessa allmänna krav utarbetades. Injektering bedömdes också vara nödvändig på några ställen för att säkra tunnelns beständighet och stabilitet. Besluten när och hur injekteringen skulle utföras togs först när hålen i tunnelgaveln var borrade och baserades på huruvida flödet från hålen var större eller mindre än på förhand valda kriterier.

Normalt var den maximala volymen injekteringsbruk begränsad till 600 liter per hål i berg av klass I och II (bra till medelgod bergkvalitet) och till 1 500 liter per hål i berg av klass III och IV (sämre bergkvalitet). De tillåtna typerna av injekteringsbruk var cement med olika tillsatser som silikat, kalciumklorid och bentonit samt ett kemiskt injekteringsmedel (Taccs). Injekteringshålens längd och placering var beroende av den lokala situationen. Geologi, hydrogeologi och injektering dokumenterades fortlöpande och mycket omsorgsfullt. Det enda injekteringsmedlet som befanns vara lämpligt för injektering i öppna sprickor och också i lera, vid högt grundvattentryck och med stränga spridningsbegränsningar, var cement med tillsats av bentonit (2%) och salt (8–15% CaCl). Vattencementtalet varierades mellan 0,8 och 1,0. Injekteringstrycket var begränsat till 20 bar över det hydrostatiska trycket.

Ett särskilt program togs fram för injektering av TBM-tunneln. Bergets ”svaghetszoner” i denna del av tunneln dominerades av enstaka vattenförande sprickor. Volymen injekteringsbruk maximerades till 3 000 l för ett enskilt hål och till 10 000 l för en hel injekteringsomgång. I sista delen av TBM-tunneln undveks injektering för att inte störa det framtida testområdet.

I den första delen av tunneln (1 600 m) utfördes injektering i 103 omgångar med ca 270 m³ injekteringsbruk. Inflödet i denna del av tunneln blev ca 1 300 l/min efter injektering motsvarande 80 l/min, 100 m tunnel. Nästan hälften av injekteringen utfördes vid NE-1.

I spiralen utfördes 66 injekteringsomgångar, varav 17 omgångar i den TBM-borrade delen. Ca 200 m³ injekteringsbruk användes. Vatteninflödet i spiralen inklusive de stigortsborrade schakten blev ca 900 l/min motsvarande 20 à 25 l/min, 100 m tunnel. Det totala inflödet i tunnarna har under två år efter färdigställandet minskat med ca 20%.

7.5 Bergbyggnadstekniska erfarenheter

De förundersökningar som gjordes innan Äspölaboratoriet byggdes möjliggjorde prognoser av en rad faktorer som styr de bergbyggnadstekniska förutsättningarna. Under byggskedet kunde dessa prognoser på ett ovanligt systematiskt sätt jämföras med verkligt utfall. Jämförelserna visar generellt på god överensstämmelse vad gäller sprickzonernas lägen samt de byggtekniska egenskaperna hos såväl zonerna som den mellanliggande bergmassan. (Stanfors m fl; Rhén m fl; Almén m fl, 1997 och 1994).

Stabilitetsförhållandena vid utbyggnad och hittillsvarande drift av Äspölaboratoriet har generellt sett varit goda. Mestadels har bergförstärkningen kunnat inskränkas till

strömbultar för att säkra block i taket. Stora delar av tunneln har kunnat lämnas utan bergförstärkning. Större förstärkningsinsatser har erfordrats endast i anslutning till de större sprickzonerna.

Smällberg har inte observerats under tunnelarbetena. Vid enstaka tillfällen har det hörts knäppningar i berget efter sprängning och vissa tendenser till lossbrytning av intakt berg har noterats. Förekomsten av smällberg blev mindre än vad som förutsågs i förundersökningsskedet, trots att de bergspänningar som senare uppmättes i tunneln var högre än de som mättes i borrhål från ytan (och som låg till grund för de prognoser som gjordes).

Det är troligt att skillnaden till stor del beror på att olika metoder använts för bergspänningsmätningarna – hydraulisk spräckning från ytan och överborring i tunneln. En annan skillnad är att berget har en något högre hållfasthet än förutsett, vilket också kan ha bidragit till att reducera skadorna p g a överbelastning.

Bland driftserfarenheterna från anläggningen märks också att bergtak som inte betongsprutats måste skrotas i stort sett årligen för att säkerställa att inte block lossnar och faller ner. Skrotningsbehovet uppkommer därför att berget närmast tunneln luckras upp, vilket i sin tur främst beror på tidsberoende rörelser till följd av de relativt höga bergspänningarna samt på inverkan av grundvattnet. Detta är vanliga fenomen även i gruvor på jämförbara djup och med jämförbara bergspänningar. Skrotningsarbetet reduceras väsentligt om tunnarna redan från början förses med ett sprutbetongskikt i taket och på väggarna ovanför och bakom installationer.

Injekteringsarbetet styrdes till en början av många restriktioner beträffande bl a materialval, spridning och volym. Efter det att man lättat på restriktionerna blev injekteringsresultatet bättre. Injekteringsarbetena på stora djup har gått relativt bra, trots farhågor om motsatsen på grund av det stora vattentrycket. Erfarenheter från SKB:s pågående projekt för utveckling av injekteringsteknik kommer generellt att bidra till ökad kunskap och förutsägbarhet av injektering i kristallint berg.

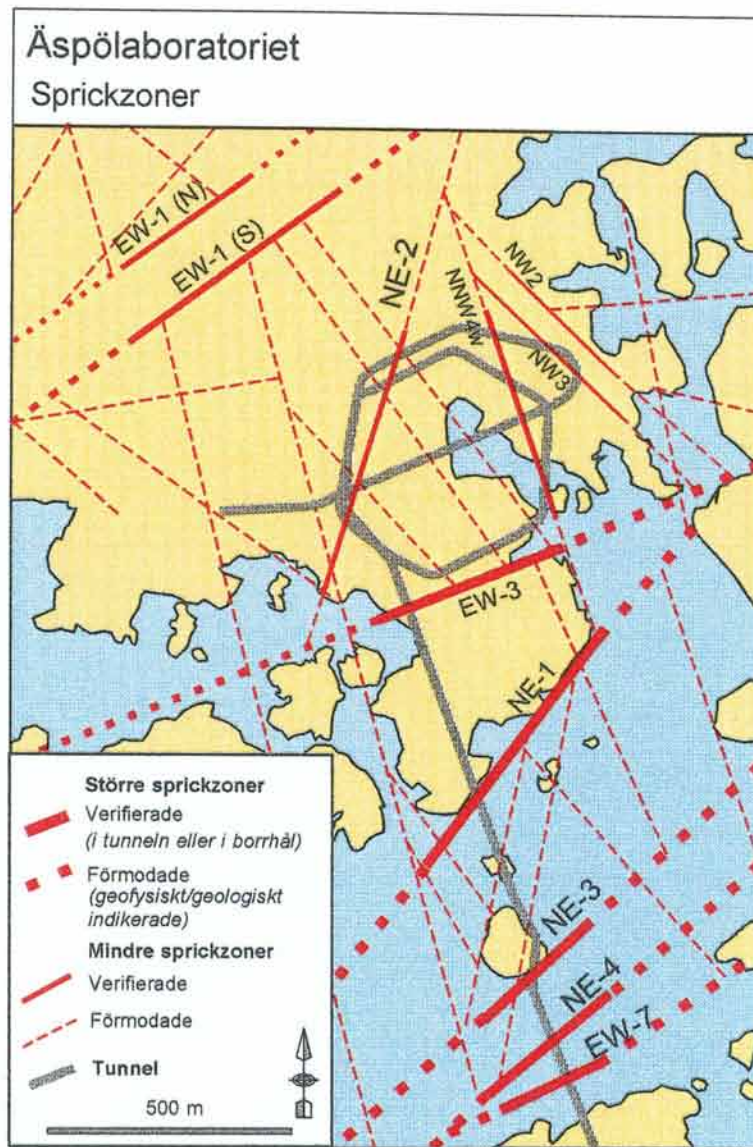
Tillfartstunneln fram till spiralen passerade ett antal större sprickzoner, se Figur 7-3. De större zonerna är orienterade i NO-NNO och de mindre mestadels i VNV eller NO. Passagerna av zonerna NE-3 och NE-1 blev speciellt tidsödande på grund av hög vattenföring, med omfattande undersöknings- och injekteringsarbeten som följd. Vid NE-3 kom man i kontakt med ett förundersökningshål som löpte parallellt med taket i tunneln. Detta tillsammans med ogynnsamt belägna sprickzoner motiverade en mindre förskjutning i sidled av tunneln, relativt planerad sträckning.

Grundvattnet i Äspötunneln är salt och därför korrosivt. Kloridhalterna på anläggningsnivå har mätts till 5–10 gram/liter, vilket är högre än i Östersjöns vatten. Korrosionsproblemen på installationer och fordon är avsevärda och förvärras av att de flesta bergytorna i anläggningen är fuktiga. För ett djupförvar kan korrosionen bli ett problem under anläggnings- och driftskedena. Det kan leda till speciella krav på de material som används samt ökat underhållsbehov och därmed högre kostnader, men kan inte ses som något oöverstigligt tekniskt hinder.

Erfarenheterna från utbyggnaden och driften av Äspölaboratoriet hittills visar sammanfattningsvis att ett ur bergbyggnadsteknisk synvinkel är fullt realistiskt

och genomförbart att anlägga ett djupförvar i berggrund av den typ som finns på Äspö. Bergarbetena har inte på något sätt varit svårare, mera osäkra eller riskfyllda än bergarbeten i allmänhet.

Långa ramptunnlar kan behöva passera ett antal större och mindre sprickzoner. Dessa passager bedöms inte påverka djupförvarets funktion, men kan ställa krav på annan teknik för berggutttag, förstärkning och tätning än bergmassan i övrigt. Detta kan påverka byggtider och kostnader, men bedöms inte utgöra något avgörande problem ur genomförandesynpunkt. Grundliga bergundersökningar längs planerade tunnelsträckningar är erfarenhetsmässigt av stor betydelse för att undvika överraskningar och minimera resursbehovet i byggskedet.



Figur 7-3. Området vid Äspölaboratoriet, med planprojektioner av nedfartstunneln och sprickzoner av olika dignitet (efter Rhen mfl, 1997a).

8 Bergtäkter, gruvor och övriga anläggningar

8.1 Inledning

En inventering av kända malmer och mineraliseringar samt stenbrott och bergtäkter i Oskarshamns kommun har redovisats av Bergman m fl (1988a). Figur 8-1 visar resultatet i form av en karta över identifierade förekomster. De platser som i fortsättningen nämns anges på kartan med nummer.

Med undantag av den nordligaste delen finns det i kommunen inga malmer eller mineraliseringar som varit eller är intressanta för exploatering. Längst i norr berörs kommunen av ett område med malmpotential, till största delen beläget i Västerviks kommun. På Västervikssidan finns inom detta område en del malmlinser, medan det på Oskarshamnssidan endast finns en större fyndighet, nämligen den vid Solstadgruva. Koppar har också brutits i ett par mindre fyndigheter intill Västerviksgränsen sydväst om Mörtfors.

Den dominerande bergarten i Oskarshamns kommun – Smålandsgranit i olika varianter – är ointressant ur mineralsynpunkt, men desto mer intressant för utvinning av nyttosten. På en rad platser har man brutit Smålandsgranit för olika byggnadsändamål samt som råmaterial för krossprodukter. Även de yngre graniterna av Götemartyp (se Figur 5-1) har i hög grad nyttjats för utvinning av nyttosten.

I det följande redovisas den bergtekniskt intressanta information som kunnat fås från de få gruvorna, bergtäkterna samt en berganläggning för oljelagring vid Oskarshamnshamn.

8.2 Stenbrott

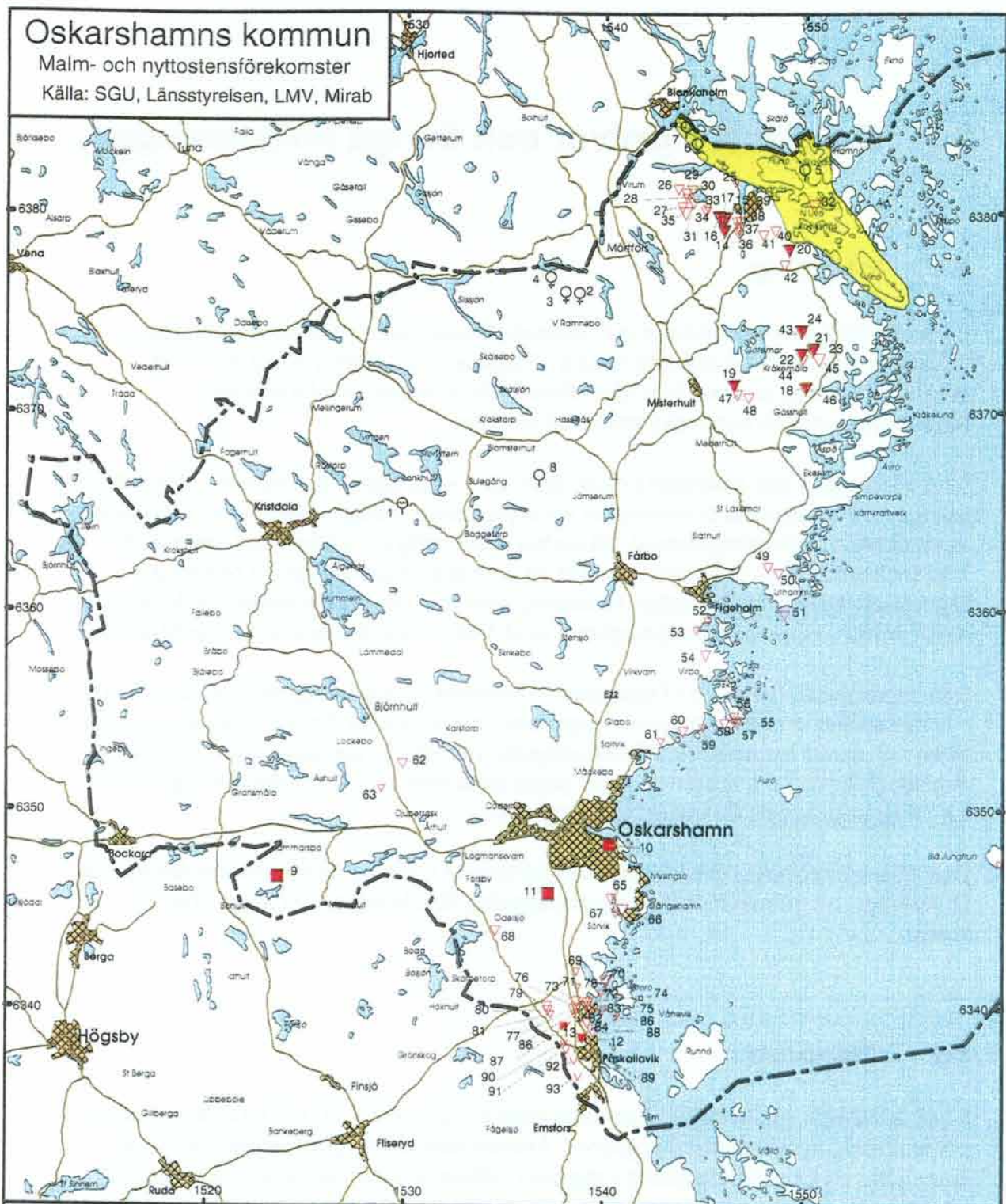
Såväl Smålands- som Götemargraniterna lämpar sig i många fall väl som råmaterial till prydnadssten, byggnadssten och gatsten. Arbeten med brytning och huggning av sten kom därför att bli en viktig näring i regionen. Många av stenbrotten låg nära kusten så att stenen kunde transporteras och säljas till städerna, något gav ett stort uppsving för branschen under senare hälften av 1800-talet.

Efter första världskriget minskade behovet av natursten som byggnadsmaterial, i takt med att asfalt och betong tog över som byggmaterial. Marknaden har på senare tid ökat igen, speciellt för fasadsten och annan prydnadssten. Efterfrågan är emellertid ojämn, konjunkturkänslig och beroende av trender inom arkitekturen. Huggning av sten har numera helt försvunnit vid stenbrotten. De brott som fortfarande är i drift fungerar som renodlade och högmekaniserade täkter, varifrån man levererar storblock för vidare klyvning, sågning och bearbetning.

Oskarshamns kommun

Malm- och nyttostensförekomster

Källa: SGU, Länsstyrelsen, LMV, Mirab



Teckenförklaring

♀ Äldre gruva, gruvhål

♂ Mindre kisförekomst

▼ Stenbrott i drift

Stenbrott nedlagt

▽ Äldre stenbrott med bredd > 20 meter

▽ Äldre stenbrott med bredd 20-100 meter

▽ Äldre stenbrott med bredd > 100 meter

Bergtäkt i drift

■ Täkt med tillståndsmängd < 100 000 ton

■ Täkt med tillståndsmängd > 100 000 ton



Malm potentiellt område

Nummer på kartan hänvisar till tabellerna i kapitel 9.

0 5 10
Kilometer

Figur 8-1. Malm och nyttostensförekomster i Oskarshamns kommun (Bergman m fl 1998a).

De största stenbrotten med Smålandsgranit finns vid Flivik och Klintemåla (Figur 8-1, nr 16 och 17) i nordligaste delen av kommunen samt vid Vånevik (Figur 8-1, nr 69–89) 8–10 km söder om Oskarshamn (nära Påskallavik). Graniten har tre klovytor som gör den lättbruten och ger regelbundna block med plana ytor. Täkterna bryts vanligen i våningar om 4–6 meters höjd, vilket motsvarar avståndet mellan de horisontella bankningslagen. Dessa är normalt mycket uthålliga och skapar jämna, lätt vågiga ytor som ofta kan följas många hundra meter. Täcktdjupen brukar vara 10–20 m, någon gång uppemot 30 m.

Götemargraniten är röd och grovkornig. Den har ofta bara två bra klovytor vilket gör den svårare att bryta. Det krävs också en hel del arbete för att tukta stenen till lämpliga block. Å andra sidan gör färgen och den vackra strukturen att den är mer efterfrågad, och kan säljas till högre pris än Smålandsgraniten.

Granit av Götemartyp bryts eller har brutits vid bland andra följande platser:

- Söder och öster om sjön Götemar (öster om Misterhult), stenbrott finns vid Götebo (Figur 8-1, nr 19, ej i drift), 1,0 km NV Bussvik (nr 18), 1,5 km NV Kråkemåla (nr 22), samt ett sammanhängande stråk 0,5–2,5 km N Kråkemåla (nr 21, 23 och 24, ej i drift).
- Uthammar ca 4 km O Figeholm (Figur 8-1, nr 49–51), nedlagt sedan minst 30 år, en dekvåvillbana fanns anlagd ned till en enkel kaj.
- Blå Jungfrun (Figur 8-1, nr 1), nationalpark sedan 1926, ingen stenbrytning sedan dess.

Både Smålands- och Götemargraniterna bryts med strävan att få ut så stora block som möjligt. Blockens bredd och höjd brukar kunna bli ca en meter eller mera och längden upp till tre till fyra meter. Blocken transporteras sedan till stenhuggerier, där de sågas eller klyvs till önskade dimensioner. En stor del av stenen exporteras till Italien.

Kravet på stora dimensioner och hög, jämn kvalitet gör att inte mer än ca 10% av den utbrutna volymen kan nyttiggöras, i all synnerhet som det knappast längre finns efterfrågan på gatsten. Resten läggs på tippor, som följaktligen kräver större plats än själva stenbrotten. Ett stenbrott av ordinär storlek, med en uttagen volym på 500 000 m³, breder med arbets- och tippområden ut sig på en yta av något tiotal hektar. Uppskattningsvis finns minst 3 miljoner m³ (motsvarar ca 5 miljoner ton) skrotsten upplagd på tippor i de ovan uppräknade områdena. Det kan ha sitt intresse att jämföra dessa ytor och mängder med vad som blir aktuellt för djupförvarets del, se Figur 2-1. Industriområdet ovan jord vid ett djupförvar beräknas bli 10–15 hektar stort, vartill kan komma ungefär samma utrymmesbehov för bergupplag. Den totala mängden berg som skall brytas beräknas till ca 1,3 miljoner m³.

Det material som idag ligger på tipp vid stenbrotten börjar betraktas som en resurs. Vid Flivik finns konkreta planer på att ställa upp en krossanläggning samt ett transportband ned till Fliviken för export av krossmaterial.

8.3 Övriga bergtäkter

Förutom de ovan nämnda stenbrotten har ett antal täkter för bergkrossning etablerats inom Oskarshamns kommun. Täkterna finns i allmänhet i anslutning till stenbrott, eftersom man då kan bryta stenmaterial som inte är användbart till byggnadssten, och/eller ta vara på skrotsten. Efterfrågan har tidigare varit begränsad och de flesta täkterna är relativt små. Det är först på senare tid man successivt har tvingats att gå över från naturgrus till krossmaterial för betongtillverkning och vägbyggnad.

Flertalet täkter är belägna söder om stadskärnan, mellan Oskarshamn och Påskallavik. En ny täkt har emellertid nyligen öppnats 2 km väster om Hammarsebo, ca 16 km väster om Oskarshamn (Figur 8-1, nr 9). Man har där tillstånd att bryta drygt 200 000 ton, men området synes ha kapacitet för betydligt mer. Denna täkt tillsammans med material som kan fås från kompletteringsbrytningar och skrotsten vid andra täkter torde motsvara volymer som för lång tid framöver tillgodoser behoven av krossberg i Oskarshamn och närmast kringliggande kommuner.

8.4 Gruvor

Solstadgruva (Figur 8-1, nr 6 och 7) ligger i den sydostligaste spetsen av Bergslagens malmprovins. Brytning av en sulfidmalm, med en kopparhalt som tros ha varit kring 6%, förekom i liten skala redan under mitten av 1600-talet. Under senare delen av 1700-talet ökade brytningen i omfattning. Gruvdriften upphörde 1793 men återupptogs 1860, då länsning kunde göras med ångmaskin. Brytningen fortgick sedan med några avbrott till 1919. Ett största djup på drygt 350 m nåddes redan 1877.

Uppskattningsvis har sammanlagt ca 80 000 ton malm brutits, vilket har gett i storleksordningen 5 000 ton koppar och något guld. De flesta gruvhålen ligger endast något tiotal meter från stranden nedanför en ca 30 m hög förkastningsbrant som stryker längs stranden i nordvästlig riktning. Ett tiotal hål finns, bredden är vanligen två till tre meter och längden längs förkastningen upp till ca tio meter.

Ytterligare några smågruvor fanns i området, men på Västervikssidan av nuvarande kommungräns, bland annat på Skälö (Figur 8-1, nr 5), på andra sidan fjärden räknat från Solstadgruva. Dessa samt övriga mineralförekomster i kommunen beskrivs av Bergman m fl (1998a).

8.5 Övriga anläggningar

Bland övriga anläggningar i berg i kommunen märks några mindre försvarsanläggningar samt en förvaringsanläggning för olja, belägen i ett industriområde vid Oljehamnen i centrala Oskarshamn.

Oljelagret är förlagt i granodiorit, inom den omfattande skjuvzon som går i öst-västlig riktning genom Oskarshamns tätort (Oskarshamn-Bockarazonen). Berget uppges vara av god kvalitet, vilket (åtminstone delvis) bekräftas av ett foto av ett av bergrummen, där man ser att konturen är jämn och de flesta av borrhopen är synliga. Man har inte haft några driftproblem på grund av bergras eller nedfallande block. Inläckningen av grundvatten uppges vara ringa.

Oljelagret har tidigare fungerat som beredskapslager, men är för närvarande under avveckling. Anläggningens totalvolym är ca 100 000 m³, fördelat på sju stycken tämligen jämstora bergrum. Ungefärliga rumsdimensioner är bredd 15 m, höjd 15 m och längd ca 80 m. Dessutom finns ca 900 m installations- och arbetstunnlar (Leo, 1997).

8.6 Bergbyggnadstekniska erfarenheter

Stenbrott och övriga bergtäkter

Observationer vid stenbrotten indikerar inte några ur bergbyggnadsteknisk synpunkt stora skillnader mellan Smålands- och Göttemargraniterna. Följande har emellertid observerats vid platsbesöken:

- Bankningsslagen ligger ibland något tätare i Göttemargraniten och har något ojämna ytstruktur.
- Brantstående sprickor är något mer frekventa i Göttemargraniten. I såväl Smålands- som Göttemargraniterna finns stora flacka hållområden där det är lätt att studera sprickstrukturen. Det har därför varit lätt att finna lämpliga platser för bergtäkter. Men man kan också se många exempel på provbrytningar, speciellt i Göttemargraniten, som är övergivna därför att bergkvaliteten inte har motsvarat förväntningarna.
- Lutande sprickor förekommer något oftare i Göttemargraniten. Dessa är mycket störande för blockbrytningen och bidrar till att öka mängden skrotsten. Sprickorna är öppna och finns företrädesvis ovanför de två tre översta bankningsplanen.
- Vattenföringen i bankningsplanen och i andra sprickor är mestadels obetydlig. Ingen observerad skillnad mellan Smålands- och Göttemargranit.

Sammanfattningsvis tyder det som framkommit på att berggrunden i de beskrivna områdena är väl lämpad för undermarksbyggande. Det bör emellertid understrykas att informationen från stenbrotten är begränsad till ytskiktet, vilket inte är tillräckligt för att bedöma förhållanden på djupet. Det är erfarenhetsmässigt väl känt att de i stenbrotten ofta så tydliga bankningsslagen är ett ytrelaterat fenomen som inte återfinns på större djup. Vidare ger observationerna inga indikationer om viktiga faktorer som bergspänningar eller vattenföring i sprickor på djupet.

Gruvor

Några bergbyggnadstekniska erfarenheter går inte att dra från observationer vid ett besök vid Solstad Gruva, förutom att berget bör vara ganska tätt eftersom det medgivit brytning så nära sjön med dåtidens teknik. Man måste beundra forna tiders gruvfolk som i så trånga schakt och under svåra förhållanden kunde uträtta sitt arbete och ta upp så mycket malm från betydande djup.

Övriga anläggningar

Erfarenheterna från oljelagret och övriga bergarbeten i Oskarshamn visar att åtminstone ytligt belägna anläggningar kan utföras utan några nämnvärda stabilitets- eller vattenproblem. Oljelagret är ett av många exempel på berganläggningar som framgångsrikt kunnat byggas och drivas trots att de ligger i stora skjuvzoner. Att så är möjligt beror huvudsakligen på att skjuvzonerna regelmässigt innefattar såväl mindre zoner där berget kan vara kraftig stört (och som i regel kan undvikas) som relativt ostörda partier (till vilka en berganläggning kan förläggas).

9 Övriga data

9.1 Inledning

Med rubriken ”övriga data” avses främst data från SKB:s undersökningar i Äspö, Ävrö, Kråkemåla och Laxemar, men även sådana data från Simpevarpsanläggningarna och Äspölaboratoriet som inte redovisats i andra sammanhang. Undersökningsområdenas läge framgår av Figur 4-1. Data har till stor del hämtats från Bergman m fl (1998b) samt de geovetenskapliga underlagsrapporter som tagits fram i förstudien.

Översiktliga undersökningar har huvudsakligen utförts med geologisk kartläggning och geofysik. Lokala kompletteringar i de nämnda områdena har gjorts med seismiska mätningar och undersökningar i kärn- och hammarborrhål. Totalt har hittills utförts 20 km borrhål från markytan, med fördelning enligt tabell 9-1.

Information från borrhålsundersökningar ger inga direkta bergbyggnadstekniska erfarenheter. Däremot kan kombinationen av lokala borrhålsdata och allmän bransch erfarenhet ge viktig information.

Tabell 9-1. Kärn- och hammarborrning i nordöstra delen av Oskarshamns kommun.

Plats	Kärnborrning			Hammarborrning		
	Antal hål	Största håldjup, m	Total borrhålslängd, m	Antal hål	Största håldjup, m	Total borrhålslängd, m
Simpevarp	16	120	1 200	6	90	345
Äspö	15	1 002	7 716	27	200	2 908
Ävrö	3	757	1 102	8	175	935
Kråkemåla	3	761	1 872	–	–	–
Laxemar	2	1 700	2 778	12	151	1 134
Summa	36		14 668	53		5 322

9.2 Bergkvalitet

För att beskriva och klassificera bergkvaliteten ur byggtknisk synpunkt används olika system, vanligen RMR-systemet eller Q-systemet, se avsnitt 3.3.1 och Tabell 3-1.

För Äspötunneln är RMR större än 40, vilket motsvarar medelgott till mycket bra berg, för ca 96% av tunneln. För berganläggningarna på Simpevarpshalvön finns inga Q- eller RMR-värden redovisade. För samtliga fem platser där undersökningar gjorts, Tabell 9-1, finns dock Q-värden beräknade för borrhämnarna (faktorerna J_w och SRF har antagits vara 1,0). Av beräkningarna framgår att Q-värdena för Simpevarpshalvön (CLAB) och Ävrö i grova drag varierar mellan 4 och 20 (medelgott berg), för Äspö och Laxemar mellan 10 och 40 (bra berg) och för Kråkemåla mellan 40 och 200 (bra till mycket bra berg). Dessa data härrör alltså från borrhämnor. Erfarenhetsmässigt brukar detta ge en viss underskattning av bergkvaliteten, jämfört med verkliga förhållanden i anläggningar.

9.3 Bergspänningar

Bergspänningsförhållandena har liksom bergets kvalitet stor betydelse för stabiliteten i tunnlar och bergrum. Måttliga bergspänningar gynnar stabiliteten medan alltför höga spänningar kan ge överbelastning kring tunnlar och därmed stabilitetsproblem.

Bergspänningsmätningar har utförts på tre platser i kommunen; CLAB, Äspö och Laxemar. Största horisontalspänningarna på olika djup redovisas i Figur 9-1.

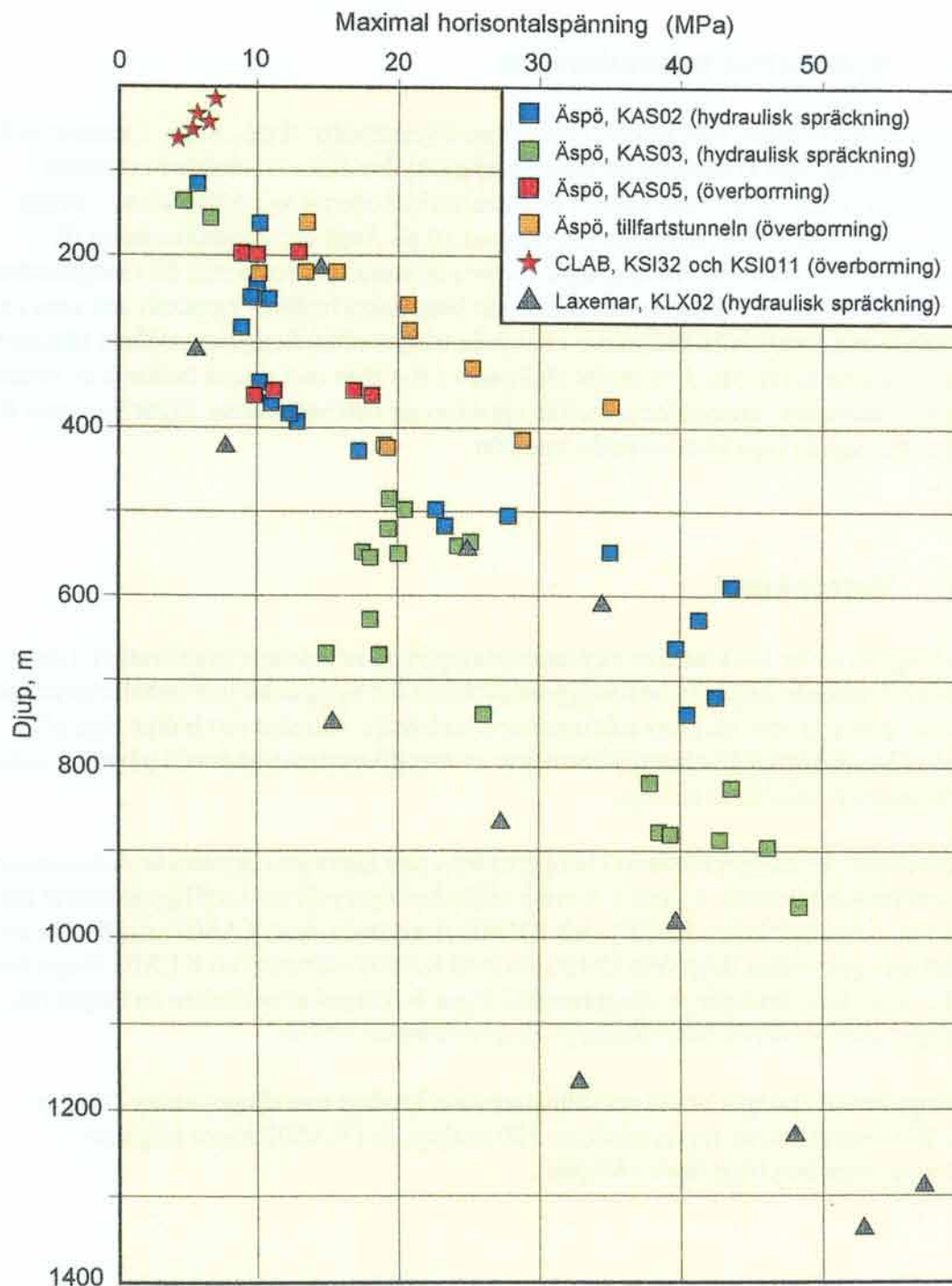
Mätningarna vid CLAB har utförts med överborrningsmetoden i två borrhål, ett över vardera bergrummet. Största mätdjup var 60 m under markytan (resultaten är redovisade i avsnitt 6.3.2).

I samband med förundersökningarna för Äspölaboratoriet utfördes bergspänningsmätningar ned till 950 m djup i tre borrhål från markytan, dels med överborrningsmetoden, dels med hydraulisk spräckning. Vid utsprängningen av tunneln utfördes successivt mätningar med överborrningsmetoden ned till 450 m djup.

Vid Laxemar finns två kärnborrhål, KLX01 och KLX02, till 1078 respektive 1 700 m djup. Bergspänningsmätningar med hydraulisk spräckning har utförts i KLX02 ner till 1600 m. Indikationer på höga horisontalspänningar har också noterats på större djup i KLX02 i form av så kallad "core discing", dvs uppsprickning av borrhämnarna i skivor. Riktningen på största horisontalspänningen är NV till NNV ned till ca 1 100 m djup, vilket är samma riktning som vid Äspölaboratoriet. Därefter ändras största bergspänningsriktningen i KLX02 gradvis med djupet till NO vid 1 300 m.

Bergspänningsmätningar har inte gjorts på Ävrö eller i Kråkemåla. Tecken på "core discing" har noterats på djupet i Kråkemåla.

Beaktas samtliga data i Figur 9-1 framgår att största horisontalspänningen ökar med djupet, i genomsnitt ca 4 MPa per 100 m. Spridningen är som alltid vid bergspänningsmätningar ganska stor. Vid 500 m djup ligger spänningen i intervallet 15–30 MPa, medan det redan från 600 m finns mätvärden på över 40 MPa.



Figur 9-1. Resultat av bergspänningsmätningar i CLAB, Äspö och Laxemar (Bergman m fl 1998b).

9.4 Hydraulisk konduktivitet

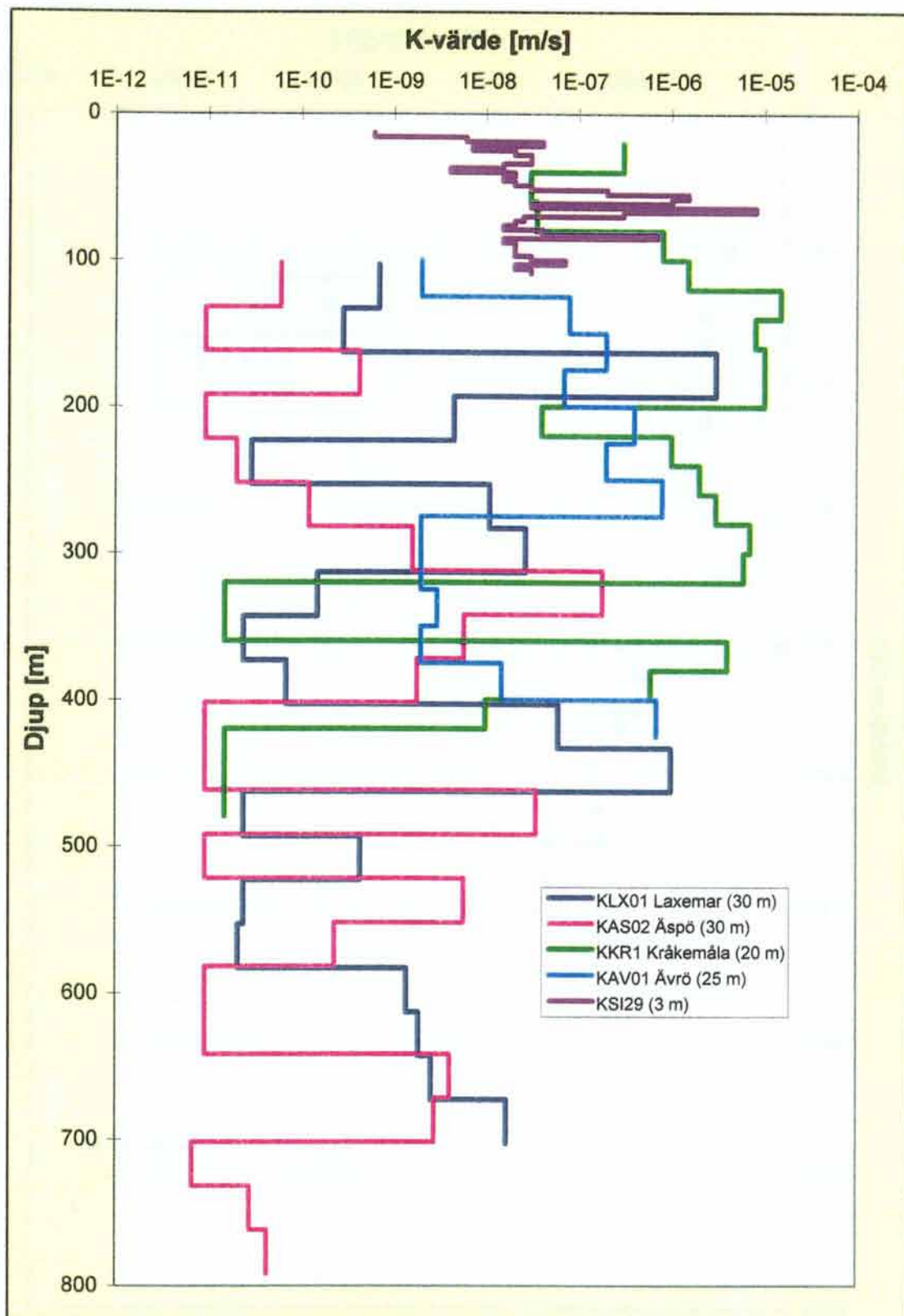
För alla de hydrotester som utförts i borrhålen i Simpevarp, Ävrö, Äspö, Laxemar och Kråkemåla kan man konstatera att berggrundens hydrauliska konduktivitet (vattengenomsläpplighet) är mycket högre i de stora sprickzonerna än i bergmassan i övrigt (Follin m fl, 1998). Som exempel kan nämnas att på Äspö har konduktiviteten (K-värdet) bedömts vara 100–1000 gånger högre i de stora sprickzonerna än i bergmassan. Kontrasten i K-värde mellan sprickzoner och bergmassa bedöms generellt sett vara av stor betydelse. Eventuella skillnader i K-värde mellan olika bergarter bedöms däremot vara av mindre betydelse. Inte heller skillnader i K-värde mot djupet bedöms ha samma stora betydelse som kontrasterna mellan sprickzoner och bergmassa. Figur 9-2 visar K-värden för några djupa kärnborrhål i området.

9.5 Vattenkemi

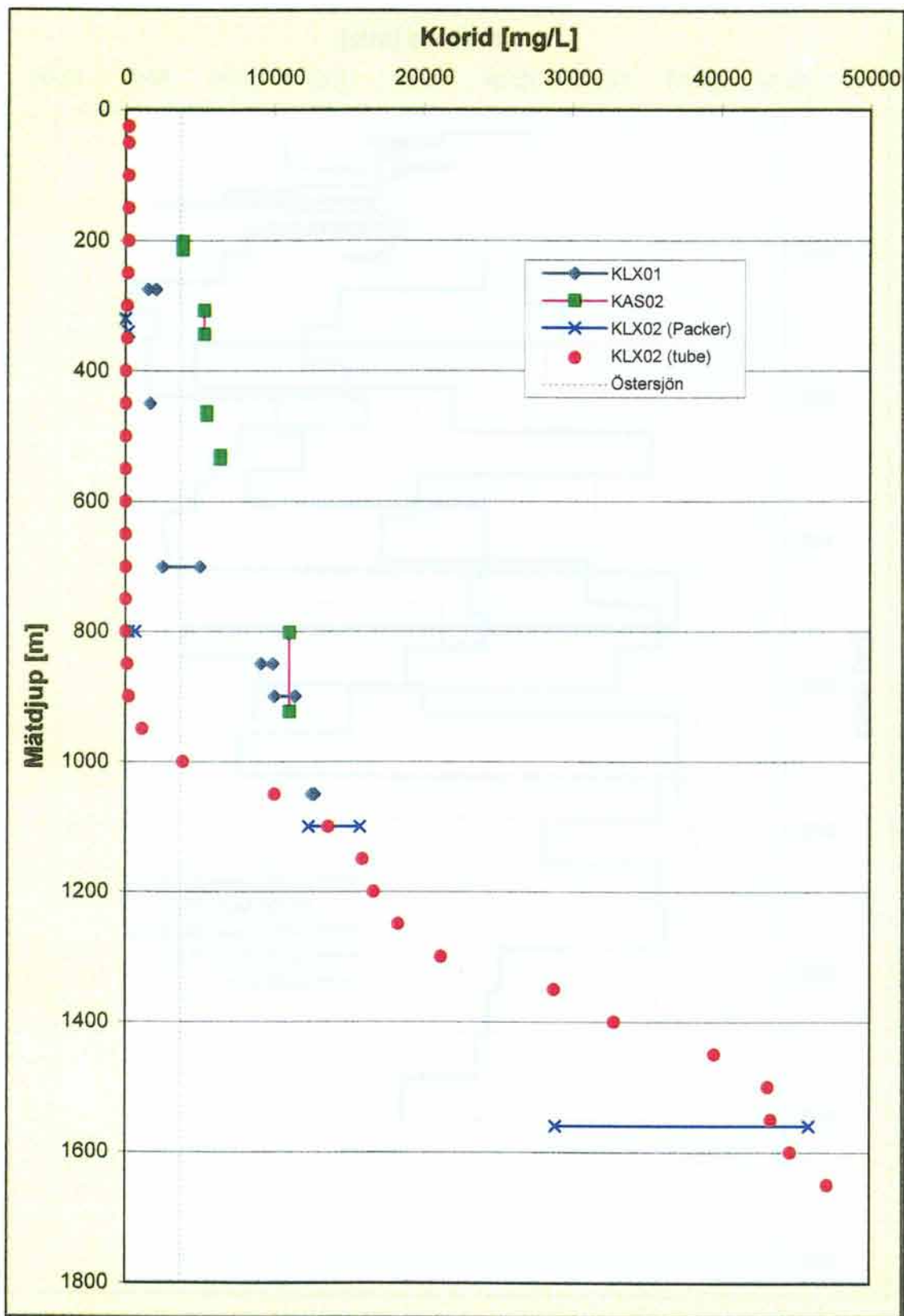
En viktig faktor är den kemiska sammansättningen på inläckande grundvatten. Underjordsmiljö innebär speciella beständighetsproblem för byggnader och installationer, och därmed speciella krav på konstruktioner och underhåll. Allmänt sett bidrar låga pH-värden liksom höga salthalter till korrosion av metallkonstruktioner och påverkar också andra material, däribland betong.

Förekomsten av salt grundvatten i berggrunden i den kustnära regionen är dokumenterad från mätningar i borrhål. I figur 9-3 visas salthalten (uttryckt som milligram klorid per liter) i de djupa borrhålen KLX01 och KLX02 (Laxemar) samt KAS02 (Äspö). De tre borrhålen ligger olika långt från Östersjön med KAS02 närmast och KLX02 längst bort (ca 1,5 km). Som framgår av diagrammet i Figur 9-3 minskar salthalten ju längre från Östersjön man kommer, åtminstone på djup mindre än 800 m.

Av diagrammet framgår också att salthalten ökar kraftigt mot djupet under 1000 m i KLX02. Salthalten på förvarsnivå, ca 500 m djup, är i KAS02 något högre än i Östersjön, men betydligt lägre i KLX02.



Figur 9-2. K-värden för några djupa borrhål Laxemar, Äspö, Kråkemåla, Ävrö och Simpevarp. K-värdena är bestämda med vatteninjektionstest mellan dubbelmanschetter (Bergman m fl 1998b).



Figur 9-3. Grundvattnets salthalt (mätt som klorid) i borrhålen KLX01 och KLX02 (Laxemar) och KAS02 (Äspölaboratoriet).

9.6 Bergbyggnadstekniska erfarenheter

Information från borrhålsundersökningar ger inga direkta bergbyggnadstekniska erfarenheter. Däremot kan data om berget jämföras med erfarenheter från anläggningar i berg med liknande egenskaper.

I den mån data om bergspänningar från Äspö och Laxemar kan generaliseras till att gälla större områden bedöms risken för stabilitetsproblem i form av överbelastning kring tunnlar vara liten på djup ner till åtminstone 500 m. På djup större än ca 600 m är spänningarna högre och ger sannolikt problem, men omfattningen är svårbedömd. Vid Kråkemåla (Göttemargraniten) finns långa sprickfria partier i borrhålen. I kombination med sannolika, höga spänningar och sprött material kan man här förvänta sig smällberg, kanske i större omfattning och på mindre djup.

Bergkvaliten, bedömd med hjälp av gängse metoder, är god på alla de undersökta platserna, om man betraktar bergmassan mellan större sprickzoner. Kråkemåla har de högsta värdena, vilket beror på de långa sprickfria partierna i borrhålen. Simpevarps-halvön har de lägsta värdena, vilket beror på relativt stor andel sprickrik vulkanit i området där CLAB är beläget och data har hämtats. De bergbyggnadstekniska erfarenheterna från CLAB är dock mycket goda (jmf avsnitt 6.4).

Vattengenomsläppligheten synes vara av en ogynnsam storlek i Kråkemåla, medan de i genomsnitt lägsta värdena redovisas från undersökningarna på Äspö och i Laxemar-området (Figur 9-2). Det bör dock observeras att borrhålen KAS02 och KLX01 uppenbarligen inte penetrerar några vattenförande zoner.

Ur anläggningstekniskt perspektiv är det tydligt att en anläggning på 500 meters djup kommer att vara gynnsammare att bygga och driva om grundvattentillrinningen är liten och salthalten i grundvattnet är låg.

10 Lokaliseringsförutsättningar

10.1 Allmänt

Förstudiens geologiska utredningar (Bergman m fl, 1998a) har visat att det är de Smålandsgraniter som täcker stora delar av Oskarshamns kommun som i första hand kan vara intressanta för ett djupförvar. Den allmänna bedömningen, baserad på generell kunskap och erfarenhet inom det bergbyggnadstekniska området, är att dessa bergarter ger goda förutsättningar för att bygga och driva ett djupförvar. Viktiga bidragande faktorer är goda hållfasthetsegenskaper, god homogenitet i den aktuella skalan, samt ofta låg sprickfrekvens. Denna bedömning stöds av de data och erfarenheter som sammanställts från befintliga berganläggningar och bergundersökningar i kommunen.

Det bör dock understrykas att de faktorer som styr byggförutsättningarna uppvisar stora lokala variationer, något som gäller för Smålandsgranit likaväl som för urberg i allmänhet. Detta begränsar möjligheterna att göra tillförlitliga bedömningar, i synnerhet som den tillgängliga informationen är mycket ojämnt geografiskt fördelad. Äspölaboratoriet och anläggningarna i Simpevarp har gett detaljerad kunskap om berggrunden inom jämförelsevis små områden, i fallet Äspö ner till djup jämförbara med planerat förvarsdjup, men i fallet Simpevarp bara ner till ca 100 meter. Borrhålsundersökningarna på några platser i nordöstra delen av kommunen ger stickprov på bergförhållandena på olika djup. I resten av kommunen ger de rikliga hållblottningarna och många stenbrotten en god information om bergytan, medan information om förhållandena på djupet saknas helt.

10.2 Lokaliseringsfall

I förstudien studeras olika lokaliseringsfall, med två huvudalternativ och några varianter av dessa enligt Figur 2-2. Det första huvudalternativet innebär en utformning med driftsområdet ovan jord förlagt i anslutning till de befintliga anläggningarna på Simpevarpshalvön, och förvaret antingen mer eller mindre rakt under (fall 1a) eller sidoförskjutet åt något håll (fall 1b). Det andra huvudalternativet innebär att såväl driftsområdet ovan jord som förvaret placeras helt frikopplade från Simpevarpsanläggningarna.

Lokaliseringsfall 1a (Simpevarp)

Den bedömning som görs av Bergman m fl (1998a) är att det på grund av begränsande sprickzoner kan vara svårt att finna tillräckligt stora bergvolymer med erforderlig bergkvalitet för att anlägga ett djupförvar. Erfarenheterna från befintliga berganläggningar visar annars att byggförhållandena är goda. Även driftserfarenheterna är positiva, med liten vatteninläckning och god stabilitet i anläggningarna.

De bergmekaniska förhållandena bedöms vara gynnsamma med måttliga bergspänningar, åtminstone inom det djupintervall där det finns data att tillgå från Simpevarpshalvön. De mätningar som har gjorts till större djup i närliggande områden, Åspö och Laxemar, har visat att bergspänningarna ligger på en rimlig nivå även på förvarsdjup.

Begränsningarna i tillgängliga bergvolymen mellan befintliga sprickzoner skulle sannolikt innebära att åtminstone delar av ett eventuellt djupförvar finge förläggas till något område som gränsar till Simpevarpshalvön. Det krävs ytterligare undersökningar, särskilt mot djupet, för att bedöma vilka möjligheter som finns därvidlag och vilka byggtekniska konsekvenser möjliga alternativ skulle få.

Lokaliseringsfall 1b, fastlandet

Detta fall innebär att djupförvaret kan placeras på visst avstånd (upp till ca 10 km) från Simpevarp, och att en lutande tillfartstunnel (ramp) anläggs från Simpevarpshalvön. Den geologiska bedömning som görs för detta alternativ av Bergman m fl (1998a) är att det finns goda förutsättningar att identifiera lämpliga platser inom rimligt avstånd, framförallt åt väster, inom en sektor från nordväst och ut till kusten söder om halvön.

Det bedömningsunderlag som finns från området väster om Simpevarp är undersökningarna vid Laxemar samt information från geologisk kartering och geofysiska mätningar. Den samlade "genomsnittsbild" som framträder med avseende på faktorer som är viktiga för byggförutsättningarna kan sammanfattas som följer:

- enhetlig berggrund (väsentligen Smålandsgranit),
- låg sprickfrekvens (1–3 sprickor/m),
- bra bergkvalitet ($Q > 10$),
- måttliga bergspänningar (< 30 MPa),
- normal vattenföring (K ca 10^{-8} m/s),
- låg till måttlig kloridhalt i grundvattnet (< 1000 ppm på djup ner till ca 800 m).

Dessa förhållanden motsvarar gynnsamma förutsättningar för bergbyggnad, återigen med reservationen att lokala variationer inte kan beaktas i den aktuella skalan. Området väster om Simpevarp är dock så pass stort (ca 50 km^2) och enhetligt, att utsikterna att identifiera en bergvolym som uppfyller de bergtekniska krav som kan ställas på ett djupförvar får bedömas som goda.

En viktig aspekt vid en lokalisering väster om Simpevarp är att tillfartstunneln till förvaret troligen måste passera några sprickzoner, orienterade i nordost-sydvästlig riktning. Vid eventuella vidare studier bör man därför göra undersökningar som ger svar på vilka geometriska och byggtekniska egenskaper dessa zoner har på djupet.

Lokaliseringsfall 1b, under havet

Det enda konkreta underlag som finns om berggrunden under havet utanför Simpevarp är översiktliga geologiska bedömningar (Bergman m fl, 1998a) samt erfarenheterna från tilloppstunneln för kylvatten till reaktor O3 (se kapitel 6). Bristen på underlag belyser

en generellt viktig nackdel med förläggning under havet, nämligen svårigheterna att göra tillförlitliga bedömningar av berget. Det enda som kan sägas i detta skede är att bergförhållandena på land och under havet sannolikt är jämförbara.

Därutöver kan erfarenheter från andra berganläggningar som byggts under vattentäckta områden ge underlag för några allmänna synpunkter på detta alternativ. Larsson och Leijon (1996) har beskrivit SFR-anläggningen, som är belägen ca 1,0 km utanför kusten vid Forsmark. Vattendjupet är 5–10 m och anläggningen ligger 70–140 m under havsbotten. De två tillfartstunnlarna från land passerar en svår förkastningszon, vilket medförde betydande extraarbeten och förseningar vid tunneldrivningen. Som helhet är dock erfarenheterna från såväl bygge som drift av anläggningen positiva vad gäller bergtekniska aspekter.

Åtskilliga trafiktunnlar har utförts för att binda ihop öar och fastland. De mest spektakulära är kanske järnvägstunneln under Engelska kanalen och förbindelsen mellan Honshu och Hokkaido i Japan. Typiskt för dessa tunnlar är att kostnader och tidsplaner sällan kunnat hållas.

I Norge har man under senare år med stor framgång byggt vägtunnlar under fjordar och till öar. Tunnlarna är ofta 3–10 km långa och byggda i kristallina bergarter, i en geologisk miljö som liknar vår. Nästan alltid passerar tunnlar någon eller några besvärliga svaghetszoner, som ju ofta återfinns under fjordar och sund. Veterligen har alla dessa projekt kunnat fullbordas, trots ibland svåra bergförhållanden. Kostnader och tidsåtgång har ofta varit högre än för motsvarade projekt på land, väsentligen beroende på svårigheterna att göra fullgoda grundundersökningar och större problem med inläckande vatten.

Trafiktunnlar under vatten är ägnade att förkorta och förbättra kommunikationsleder. För ett djupförvar skulle effekten av en förläggning under havet bli den motsatta. Vid en förläggning på land kan schakt anläggas för snabba transporter av personal och lättare gods, samt för att tillgodose krav på alternativa utrymningsvägar och ventilation. En förläggning under havet, däremot, innebär att all kommunikation måste ske via tunnel. Detta bedöms vara möjligt men det krävs minst två, av varandra oberoende tunnlar med tanke på utrymnings- och ventilationsmöjligheter. Vidare kommer djupförvaret att utgöra en permanent arbetsplats under åtskilliga tiotals år. Att under hela denna driftstid vara hänvisad till långa tunnlar för alla transporter och annan försörjning innebär betydande nackdelar med avseende på effektivitet, kostnader och inte minst arbetsmiljö. Jämförelser med gruvor i liknande lägen bör kunna ge goda insikter om vad dessa nackdelar innebär i praktiken.

Lokaliseringsfall 2 (ej Simpevarp)

Detta alternativ innebär att djupförvarsanläggningen i sin helhet förläggs avskilt från Simpevarp. Det saknas i nuvarande skede underlag för att i bergteknisk mening bedöma alternativet närmare, utöver den allmänna bedömning som redovisats i avsnitt 10.1.

Referenser

Underlag till denna rapport har, förutom från de nedan uppräknade referenserna, erhållits vid platsbesök vid gruvor och anläggningar, personliga kontakter samt anteckningar från författarnas medverkan i vissa berganläggningsprojekt.

Almén K-E, Olsson P, Rhén I, Stanfors R och Wikberg P, 1997. Äspö HRL. Feasibility and usefulness of site investigation methods. Experiences from pre-investigation phase. SKB TR 94-24.

Andersson P-O och Lundmark T, 1994. Utformning av ventilation. Boliden Contech AB. SKB AR D-95-020.

Bergman T, Isaksson H, Johansson R, Lindroos H, Rudmark L och Wahlgren C-H, 1998a. Förstudie Oskarshamn. Jordarter, bergarter och deformationszoner. SKB R-98-56.

Bergman T, Follin S, Isaksson H, Johansson R, Lindroos H, Rudmark L, Stanfors R och Wahlgren C-H, 1998b. Förstudie Oskarshamn. Erfarenheter från geovetenskapliga undersökningar i nordöstra delen av kommunen. SKB R-99-xx.

Bieniawski Z T, 1989. Engineering rock mass classification. John Wiley & Sons, 251 pp.

Bjurling O, 1981. Sydkraft-samhälle. Minnesskrift till Sydkrafts 75-årsjubileum.

Bodén A, Haglund R och Stenérus C, 1996. Erfarenheter från konstruktionsarbetet. SKB Äspölaboratoriet, Tekniskt Dokument nr TD-96-11.

Clavensjö B och Åkerblom G, 1992. Radonboken. Byggeforskningsrådet, Stockholm.

Eng T, 1997. Förstudie Oskarshamn. Program. SKB R-97-07.

Eriksson K, 1982. CLAB. Byggnadsgeologisk uppföljning av transporttunnlar och bergrum, Slutrapport. SKB PPM 95-3450-08.

Follin S, Årebäck M, Axelsson C-L, Stigsson M och Jacks G, 1998. Förstudie Oskarshamn. Grundvattnets rörelse, kemi och långsiktiga förändringar. SKB R-98-55.

Hamberger U, 1993. Construction methodology report. SKB Äspölaboratoriet, Progress report 25-94-09.

Hättestrand B, 1998. Muntlig och skriftlig information om Oskarshamnsverket.

Larsson H, 1994. Grundvatteninflöde till några befintliga undermarksanläggningar och gruvor. SKB AR 44-94-006.

Larsson H, 1997. CLAB, mätningar och besiktningar 1996 och sammanställning av mätresultat från 1981 till 1996. SKB Anläggningar PM 97/31.

Larsson H och Leijon B, 1996. Förstudie Östhammar. Bergtekniska erfarenheter i regionen. Delrapport i SKB PR D-96-025.

Leo S-E, 1997. Muntlig information om Statens oljelagers anläggningar i Oskarshamn.

Lindemalm P, Forsgren E och Lange F, 1998. Förstudie Oskarshamn. Anläggningsutformning, bemanning och transportmässiga förutsättningar. SKB R-98-47.

Moberg M, 1978. CLAB – Simpevarp, Berggrundsundersökning. SKB PPM 95-3450-06.

Moberg M m fl, 1979. CLAB Simpevarp, grundundersökningar. SKB PPM 95-3450-07.

Rhén I, 1995. Documentation of tunnel and shaft data, tunnel section 2 874–3 600 m, hoist and ventilation shafts 0–450 m. SKB Äspölaboratoriet, Progress report 25-95-28.

Rhén I, Bäckblom G, Gustafson G, Stanfors R och Wikberg P, 1997a. Äspö HRL – Geoscientific evaluation 1997/2. Results from pre-investigations and detailed site characterization. Summary report. SKB TR 97-03.

Rhén I, Gustafson G och Wikberg P, 1997b. Äspö HRL – Geoscientific evaluation 1997/4. Comparison of predictions and observations. Geohydrology, Groundwater chemistry and Transport of solutes. SKB TR 97-05.

Rhén I, Gustafson G, Stanfors R och Wikberg P, 1997c. Äspö HRL – Geoscientific evaluation 1997/5. Models based on site characterization 1986–1995. SKB TR 97-06.

SKB, 1995. Översiktsstudie 1995 – Lokalisering av djupförvar för använt kärnbränsle.

SKB, 1996. Äspö Hard Rock Laboratory. 10 years of research. "Construction of the facility" (*T Hedman*).

SKB, 1998a. FUD-program 98. Kärnkraftavfallets behandling och slutförvaring. Program för forskning samt utveckling och demonstration av inkapsling och geologisk djupförvaring.

SKB, 1998b. Systemredovisning av djupförvaring enligt KBS-3-metoden. SKB R-98-10.

Stanfors R, 1987. Sammanställning av geodata från Simpevarp-Ävrö-området. SKB TPM 25-87-019.

Stanfors R, Erlström M och Markström I, 1997. Äspö HRL – Geoscientific evaluation 1997/1. Overview of site characterization 1986–1995. SKB TR 97-02.

Stanfors R, Hoffner R, 1982. Oskarshamnsverket III, Geokartering, Slutrapport.

Stanfors R och Larsson H, 1998. Förstudie Oskarshamn. Simpevarpshalvön – Sammanställning av befintlig geoinformation. SKB AR L-98-24 (underlagsrapport).

Stanfors R, Olsson P och Stille H, 1997a. Äspö HRL – Geoscientific evaluation 1997/3. Results from pre-investigations and detailed site characterization. Geology and Mechanical stability. SKB TR 97-04.

Stanfors R, Stille H, Rhén I, Larsson H, 1997b. CLAB Etapp 2, Berggrundsundersökningar 1995 och 1997. SKB PR 97-06.

Stille H och Olsson P, 1996. Summary of rock mechanical results from the construction of Äspö Hard Rock Laboratory. SKB Äspölaboratoriet, Progress Report HRL-96-07.

Wiking T, Brink B, 1980. Utlåtande över de geologiska och bergtekniska förhållandena för Oskarshamnsverket, OIII, Simpevarp.

Åkerblom G och Lindén A, 1995. Förstudie Storuman. Radon i djupförvar. SKB PR 44-94-039.