



**SKB**

---

UNDERLAGSRAPPORT TILL  
FoU-PROGRAM 89

---

# **Kärnkraftavfallets behandling och slutförvaring.**

**Underjordiskt berglaboratorium**

September 1989

---

**SVENSK KÄRNBRÄNSLEHANTERING AB**

BOX 5864 S-102 48 STOCKHOLM

TEL 08-665 28 00 TELEX 13108-SKB TELEFAX 08-661 57 19

# **Kärnkraftavfallets behandling och slutförvaring.**

**Underjordiskt berglaboratorium**

September 1989

# INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	Sida	
<b>1</b>	<b>INLEDNING</b>	<b>5</b>
1.1	Bakgrund	5
1.2	Lokalisering av slutförvar för använt bränsle	5
1.3	Motiv för byggande av ett berglaboratorium	6
1.4	Lokalisering av berglaboratoriet	8
1.5	Genomförandet av forskningsarbetet	9
<b>2</b>	<b>MÅL</b>	<b>11</b>
2.1	Huvudmål	11
2.2	Etappmål	11
2.3	Kommentarer till målen	11
<b>3</b>	<b>FORSKNINGSPROGRAM — ÖVERSIKT</b>	<b>15</b>
3.1	Allmänt om forskningsprogrammet	15
3.2	Program för förundersökningsskedet	16
3.3	Program för byggnadsskedet	19
3.3.1	Planering	19
3.3.2	Geologiska undersökningar	20
3.3.3	Geohydrologiska undersökningar	20
3.3.4	Grundvattenkemiska undersökningar	21
3.4	Preliminärt program för driftskedet	21
<b>Bilaga A:</b>	Program för förundersökningsskedet.	25
<b>Bilaga B:</b>	Program för byggnadsskedet — Karakterisering av berggrunden och validering av förväntnings- modeller.	35
<b>Bilaga C:</b>	Preliminärt program för undersökningar och försök under driftskedet.	45

# 1 INLEDNING

## 1.1 BAKGRUND

Sverige har i ett internationellt perspektiv hunnit långt i utvecklingen av säkra och accepterade system för omhändertagande av radioaktivt avfall.

Ett fullständigt system för sjötransport av använt kärnbränsle från de 12 svenska kärnreaktorerna har varit i drift sedan 1982. Det använda kärnbränslet mellanlagras i CLAB under ca 40 år fram till slutlig förvaring. Anläggningen har varit i drift sedan 1985. Ett slutförvar för låg- och medelaktivt kortlivat avfall, SFR, är i drift sedan april 1988.

Det svenska avfallssystemet är således nästan komplett. De anläggningar som ännu återstår att bygga och lokalisera är ett slutligt förvar för det långlivade avfallet, i huvudsak bestående av det använda kärnbränslet samt en inkapslingsstation för det använda bränslet.

Syftet med slutförvaringen är att skydda människorna och livet på jorden från all direkt påverkan från avfallet. Om skador på någon kapsel ändå skulle uppstå i förvarets skyddande miljö, skall de spår från avfallet, som då kan föras till ytan med grundvattnet, vara försumbara i förhållande till vattnets naturliga halt av radioaktiva ämnen. Förvaret skall slutligen kunna ges en beständig försegling, och därefter inte kräva vidare insatser av kommande generationer.

Det har redan demonstrerats i den sk KBS-3-rapporten 1983 att det är möjligt att bygga och lokalisera ett slutförvar i Sverige som uppfyller mycket högt ställda krav på långsiktig säkerhet.

Det slutförvar som beskrivs i KBS-3-rapporten bygger på principen:

- isolering av avfallet djupt ner i urberget och
- multipla långlivade barriärer.

Barriärerna indelas i dels tekniska barriärer — avfallsform, kapsel, buffertmaterial — och dels den naturliga barriären — berget.

De tekniska barriärerna förhindrar eller begränsar kontakten mellan grundvatten och avfall samt fördröjer och försvårar upplösningen av avfallet om sådan kontakt uppstår.

Den naturliga barriärens första uppgift är att tillhandahålla bestående förhållanden vad avser flöde och kemiska egenskaper hos grundvattnet. Dessutom har berget en mycket stor potential att fixera de flesta radioaktiva ämnen som finns i avfallet. En andra uppgift för den naturliga — eller geologiska — barriären är således att förhindra eller fördröja transport av radioaktiva ämnen med grundvattnet. Andra utformningar, än den som anges i KBS-3, utnyttjar samma princip för att åstadkomma en säker slutförvaring.

Genom säkerhetsanalys kontrolleras att isoleringen fungerar i olika mer eller mindre sannolika situationer eller utvecklingsförlopp vilka kan tänkas inträffa i framtiden. Säkerhetsanalyser har i Sverige genomförts

dels för slutförvaret för låg- och medelaktivt avfall, SFR, och dels för olika beskrivna varianter för slutförvaring av högaktivt avfall eller använt kärnbränsle — KBS-1, KBS-2, KBS-3 och WP-Cave. Samtliga dessa analyser har genomförts med ogynnsamma antaganden och förutsättningar för olika förhållanden. Detta gäller i synnerhet egenskaperna hos den geologiska barriären. Säkerhetsanalyserna för t ex KBS-3 och WP-Cave innehåller därför ett antal mycket försiktiga antaganden.

En viktig uppgift för FoU-verksamheten är att bredda underlaget så att mer realistiska säkerhetsanalyser kan genomföras och man kan få bättre kunskap om de säkerhetsmarginaler som olika förvarskoncept inrymmer. Underlaget ska vara så brett att alternativa teorier kan prövas. Speciellt kan nämnas att det idag finns flera alternativa teoretiska modeller för att beskriva grundvattenflöde. En väl karakteriserad bergvolym ger möjlighet att pröva tillämpningsområden och begränsningar för de olika modeller som tillämpas.

## 1.2 LOKALISERING AV SLUTFÖRVAR FÖR ANVÄNT BRÄNSLE

SKB har sedan slutet av 1970-talet genomfört omfattande studier av de geologiska förhållandena på många olika platser i Sverige. Undersökningar har utförts från ytan och i ned till 1 000 meter djupa borrhål på åtta sk typområden. Vidare har stora arbeten utförts vid Stripa gruva inom ramen för det internationella Stripa-projektet. Speciella forskningsprojekt inriktade på egenskaperna hos sprickzoner har likaså genomförts vid typområdet Finnsjön, vid den sk Saltsjötunneln, vid ett tunnelbygge vid vattenkraftstationen i Hylte och inom Lansjärvsprojektet. För en redovisning av resultaten från dessa arbeten hänvisas till FoU-program 89 samt till SKBs Tekniska Rapporter. Sammanfattningsvis visar dessa studier bl a att det finns goda förutsättningar på många platser i Sverige, vad avser de geologiska förhållandena, att lokalisera ett slutförvar. Lokaliseringen behöver därför inte i första hand eller enbart styras av de geologiska förhållandena även om dessa naturligtvis är viktiga. En slutsats härav är att det inte finns anledning att fortsätta med enbart borrhåls- och ytundersökningar på fler platser. Sådana undersökningar breddar visserligen databasen, men behöver inte nödvändigtvis leda till ökad förståelse.

I FoU-program 89 beskrivs planeringen för lokaliseringen av ett sådant slutförvar i Sverige. I kort sammanfattning innebär planen:

1992-94 Presentation av 3 kandidatplatser och genomförande av förundersökningar.

- 1994-96 Godkännande av 2 platser för detaljerade undersökningar på djupet.
- 1996 Val av schaktläge och schaktutformning på båda platserna. Schaktsänkning och bergkarakterisering.
- 1996-99 Val av lämpligt djup, inplacering och utformning för ett förvar på båda platserna.
- 1999 Val av prioriterad förvarsplats, sammanställning av preliminär säkerhetsrapport.
- 2003-06 Lokaliseringsbeslut.
- 2010 Byggstart.
- 2010-15 Val av tunnelsträckning och deponeringssekvens.
- 2020-50 Utbyggnad av förvar och successiva val av deponeringspositioner.

Lokaliseringsprocessen ställer olika krav på underlag i olika skeden. I ett tidigt skede krävs i första hand förmåga att på basis av förundersökningar påvisa att platsen kan erbjuda bergvolym med låg vattenomsättning, gynnsam kemi och mekanisk stabilitet. Allteftersom beslutsprocessen fortgår och allteftersom prognosmodellerna och säkerhetsanalyserna detaljeras kommer specifika krav att ställas på mer detaljerad information.

Värderingen av vilken kunskap som har betydelse för ett slutförvar och dess lokalisering sker inom SKBs allmänna forskning. Det samlade vetandet sammanfattas bl a i säkerhetsanalyser som underlag för olika beslut. Analyserna är också en utgångspunkt för att studera vad ändrade antaganden, modeller och data innebär och ger därmed underlag för prioritering av FoU-insatser och förändrad utformning. Under 1991 kommer SKB att redovisa en ny säkerhetsanalys för ett KBS-3-liknande förvar baserad på bl a data från typområdet Finnsjön.

### 1.3 MOTIV FÖR BYGGANDE AV ETT BERGLABORATORIUM

En sammanvägning av de fakta, krav och värderingar som gjordes vid utarbetandet av FoU-program 86 ledde till förslaget om byggande av ett underjordiskt berglaboratorium. Detta förslag presenterades i nämnda forskningsprogram och fick ett mycket positivt mottagande av remissorganen.

De viktigaste motiven för ett berglaboratorium är:

- verifikation av metoder för yt- och borrhålsundersökningar,
- utprovning av metoder för detaljerade platsundersökningar med schakt- eller tunneldrivning,
- möjlighet att i realistisk miljö och i stor skala undersöka förhållanden som är viktiga för säkerheten t ex grundvattenflöde och därtill kopplad transport av lösta ämnen,
- möjlighet att i realistisk miljö genomföra demonstrationsförsök och långtidsförsök av växelverkan mellan tekniska barriärer och berg,
- metodutveckling för bergarbeten, avfallshantering och återfyllning.

Dessa motiv utvecklas närmare i det följande:

Hittills genomförda undersökningar av tänkbara slutförvarsplatser, de sk typområdena, har endast avsett mätningar på markytan och i borrhål. Därutöver har undersökningar gjorts i och från tunnlar i Stripa och vid vissa anläggningsarbeten för andra ändamål. Det finns ett behov att direkt verifiera resultat från yt- och borrhålsundersökningar med systematiska observationer från schakt och tunnlar ned till det djup som kan bli aktuellt för ett slutförvar. Byggandet av ett berglaboratorium ger utmärkta möjligheter till en sådan verifikation. Denna verifikation kommer att ge ökad tillförsikt om möjligheterna att bedöma lämpligheten av kommande kandidatplatser för slutförvar redan innan dessa hunnit detaljundersökas. Detta kan underlätta den beslutsprocess som skall ge även teknisk-vetenskaplig acceptans för de föreslagna kandidaterna.

De detaljerade undersökningar av kandidatplatser som planeras under senare delen av 1990-talet kommer att innehålla undersökningar av berget från schakt och tunnlar på förvarsnivå. Dessa detaljerade platsundersökningar omfattar de fältundersökningar och analyser, som skall ge den slutliga bekräftelsen på att en vald plats är lämplig för slutförvaring av långlivat och högaktivt radioaktivt avfall. Undersökningarna skall även ge tillräckliga data för anpassning av förvaret till den valda platsen och för en analys av den långsiktiga säkerheten hos det så anpassade förvaret. Denna analys skall ingå i en lokaliseringsansökan och visa att platsen fyller kraven i kärntekniklagen. Tekniken för genomförande av sådana undersökningar har delvis utvecklats och provats i Stripa. Eftersom Stripa är en övergiven gruva kan emellertid inte alla aspekter på tekniken provas där. Provet på ett tidigare ostört område ger ytterligare möjligheter att utveckla och finslipa metoderna innan de s a s används ”på riktigt”. På kandidatplatserna är det olämpligt att göra motsvarigheten till vad som i vanligt industriellt utvecklingsarbete kallas ”förstörande” prov. Det är därför viktigt att ha tillgång till ett berglaboratorium där man kan utföra sådan provning.

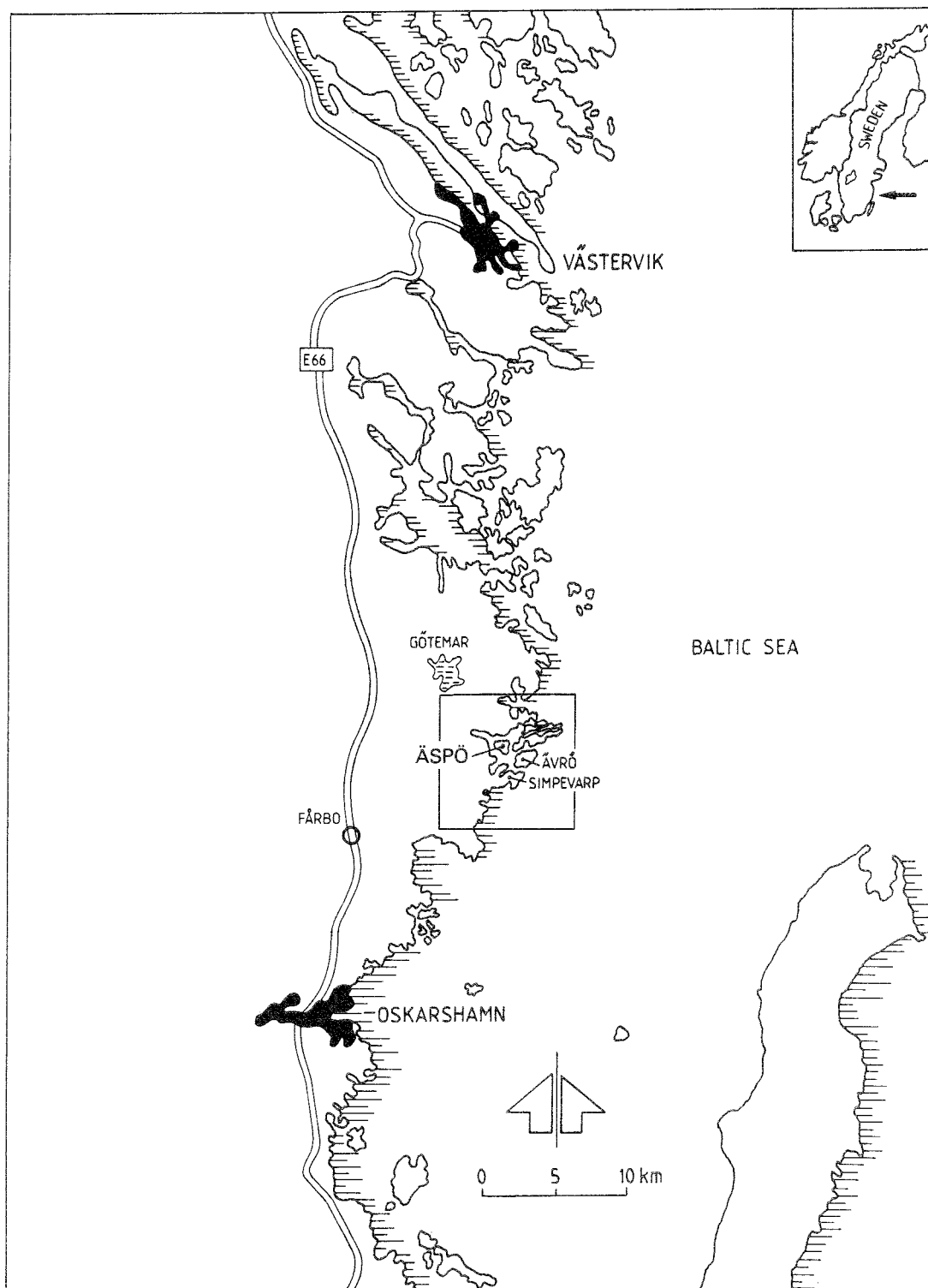
Det centrala och samtidigt besvärligaste problemet i analysen av slutförvarets långsiktiga säkerhet är flödet av grundvatten i bergets spricksystem och den därtill kopplade transporten av ämnen som är lösta i grundvattnet. Mycket omfattande insatser har gjorts och görs för att belysa detta problem. Följande punkter är viktiga men på intet sätt uttömmande exempel.

- På samtliga typområden har omfattande mätningar av bergets hydrauliska permeabilitet genomförts i djupa borrhål.
- Spårprov med vattentrogna spårämnen har genomförts i Studsvik, Finnsjön, Stripa och Hylte.
- Kartläggningar av vattenförande sprickzoner har gjorts genom radarmätningar och andra geofysiska undersökningar i Stripa och på flera typområden.
- Spårämnesförsök med sorberande spårämnen har utförts i laboratorier, samt i fältförsök vid Studsvik, Stripa och Finnsjön.
- I Poços de Caldas, Cigar Lake och andra projekt studeras sk naturliga analogier vilka kan ge en bild

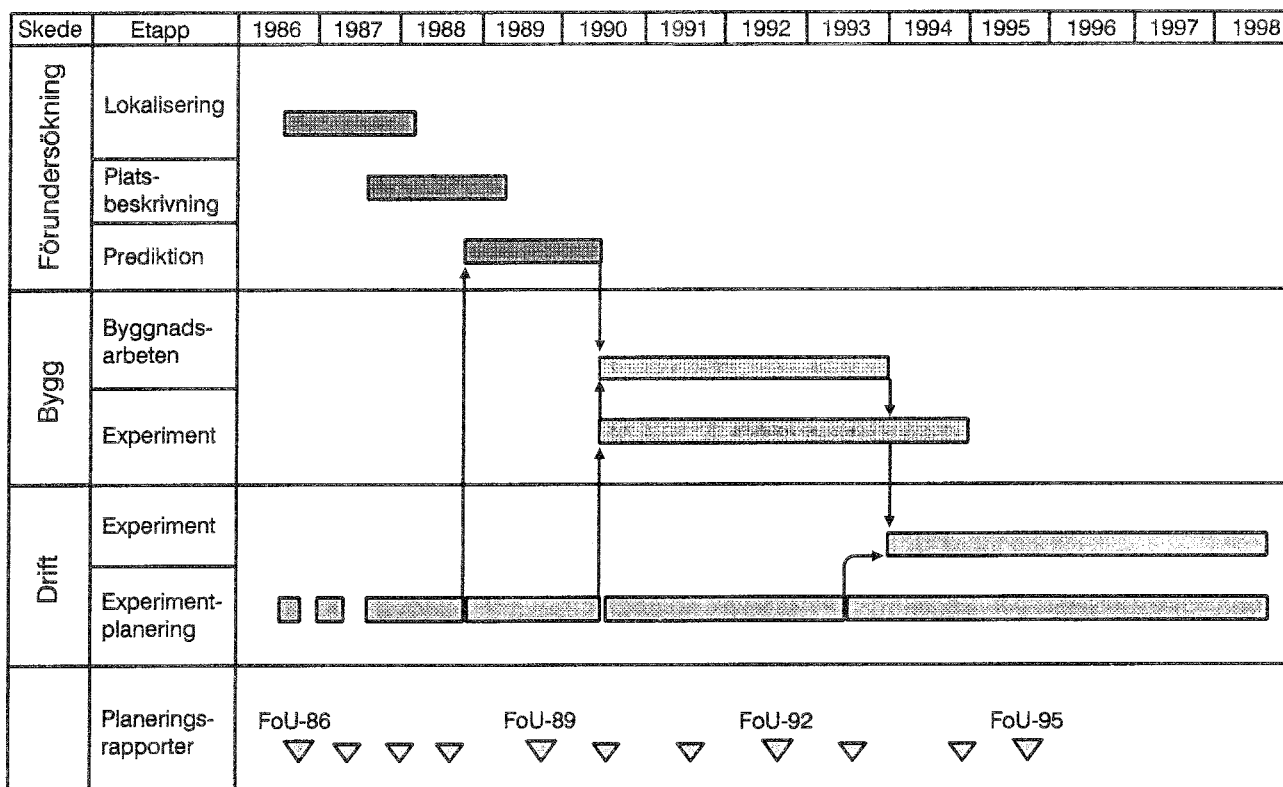
av naturliga radioaktiva och kemiskt närbesläktade ämnens uppträdande i geologisk tidsskala.

- Parallellt med dessa experimentella undersökningar görs stora arbeten på utveckling av beskrivande modeller och matematiska modeller för att systematisera och tolka de data och resultat som fält- och laboratorieförsöken givit.

Den fortsatta forskningen bör framförallt ägnas åt att knyta ihop och komplettera den bild som man fått genom de hittillsvarande undersökningarna på olika ställen. Ett första sådant hopknypningsförsök görs inom fas 3 av Stripa-projektet. Där genomförs en "Site Characterization and Validation test", SCV, avseende en bergvolym på  $125 \times 125 \times 50$  m i en tidigare ej un-



Figur 1-1. Simpevarpsområdet med omgivningar.



Figur 1-2. Översiktlig tidplan.

dersökt del av Stripagraniten. Inför lokaliseringen av slutförvaret behöver liknande hopknytningar ske i större skala för att stärka det experimentella underlaget för den långsiktiga säkerhetsanalysen. Ett sådant storskaligt prov kan genomföras vid ett berglaboratorium.

När man i mitten på 1990-talet har valt en principutformning för slutförvaret behöver man prova de olika delar som ingår i detta system i en realistisk skala. Speciellt viktigt att pröva och demonstrera växelverkan mellan tekniska barriärer och berg i en så riktig miljö som möjligt. I första hand blir det fråga om långtidsförsök och demonstrationsförsök i fullstor eller representativ skala. Även "förstörande" prov kan bli aktuella. Detta är ytterligare motiv för byggande av ett berglaboratorium.

Inför byggandet av slutförvaret måste man utveckla och verifiera de metoder och den teknik som behövs bl a för att bygga tunnlar och förvarsutrymmen, för att exakt bestämma var avfallet skall placeras, för att hantera avfallet i berg, för att deponera avfallet på avsedd plats samt för att återfylla och försegla förvarets olika delar. Alla dessa aktiviteter måste genomföras med jämn dokumenterad kvalitet för att tillgodose säkerhetskraven. Många av dessa moment kan utvecklas och provas i ett berglaboratorium. Tillgång till ett sådant ger goda förutsättningar att möta kvalitetskraven.

## 1.4 LOKALISERING AV BERGLABORATORIET

I FoU-program 86 konstaterades att ett nytt berglaboratorium i första hand bör lokaliseras till en ort där

man har befintlig service och annan för forskningsarbetet nödvändig infrastruktur. I första hand borde något av kärnkraftslägena, lämpligen Simpevarp i Oskarshamns kommun, undersökas.

Undersökningar i Simpevarpsområdet, se Figur 1-1, inleddes under hösten 1986 och har sedan fortsatt i relativt stor omfattning 1987, 1988 och våren 1989. På grundval av erhållna resultat har SKB fattat ett principbeslut om lokalisering av berglaboratoriet till södra Äspö — se karta, Figur 1-1. Motiven för denna plats är bl a att:

- kravet på ostörda förhållanden i berggrunden och grundvattnet kan tillgodoses. Genom placeringen av ett berglaboratorium på Äspö torde man också kunna påräkna att annan verksamhet inte stör forskningen under den tid som krävs för långtidsförsök,
- Äspö har inom ett geografiskt begränsat område tillgång till de olika geologiska och hydrologiska förhållanden som krävs för planerade försök och för deras utvärdering. Genomförda undersökningar av berggrunden på Äspö visar en lämplig variation mellan partier med bra berg och sprickzoner av olika karaktär. Grundvattnets sammansättning är representativt för svenskt berg vid kusten och ger möjligheter till studier av rådande förhållanden och förändringar av dessa till följd av bygget,
- närheten till Oskarshamnsverkets anläggningar på Simpevarpshalvön gör att behovet av byggnader i marknivå minimeras. Inom nära avstånd finns tillgång till serviceanläggningar och personal som kan utnyttjas för verksamheten. Oskarshamnsverkets olika anläggningar är också lämpliga för t ex statio-

nering av forskare, möten m. Att OKG äger det aktuella markområdet underlättar upplåtelsen av erforderlig mark.

Lokaliseringen förutsätter godkännande från berörda myndigheter vilket beräknas ske under 1990. I Augusti 1989 beslutade regeringen att berglaboratoriet skulle prövas enligt Naturresurslagen. I anslutning därtill har SKB beslutat göra en viss ändring i laboratoriets utformning som minskar miljöeffekterna.

Själva platsen för berglaboratoriet, Äspö, kommer inte att bli aktuell för lokalisering av slutförvaret. Om man emellertid finner lämpliga geologiska förhållanden i närheten så kan detta bli en av de kandidatplatser som detaljundersöks inför den slutliga lokaliseringen av slutförvaret.

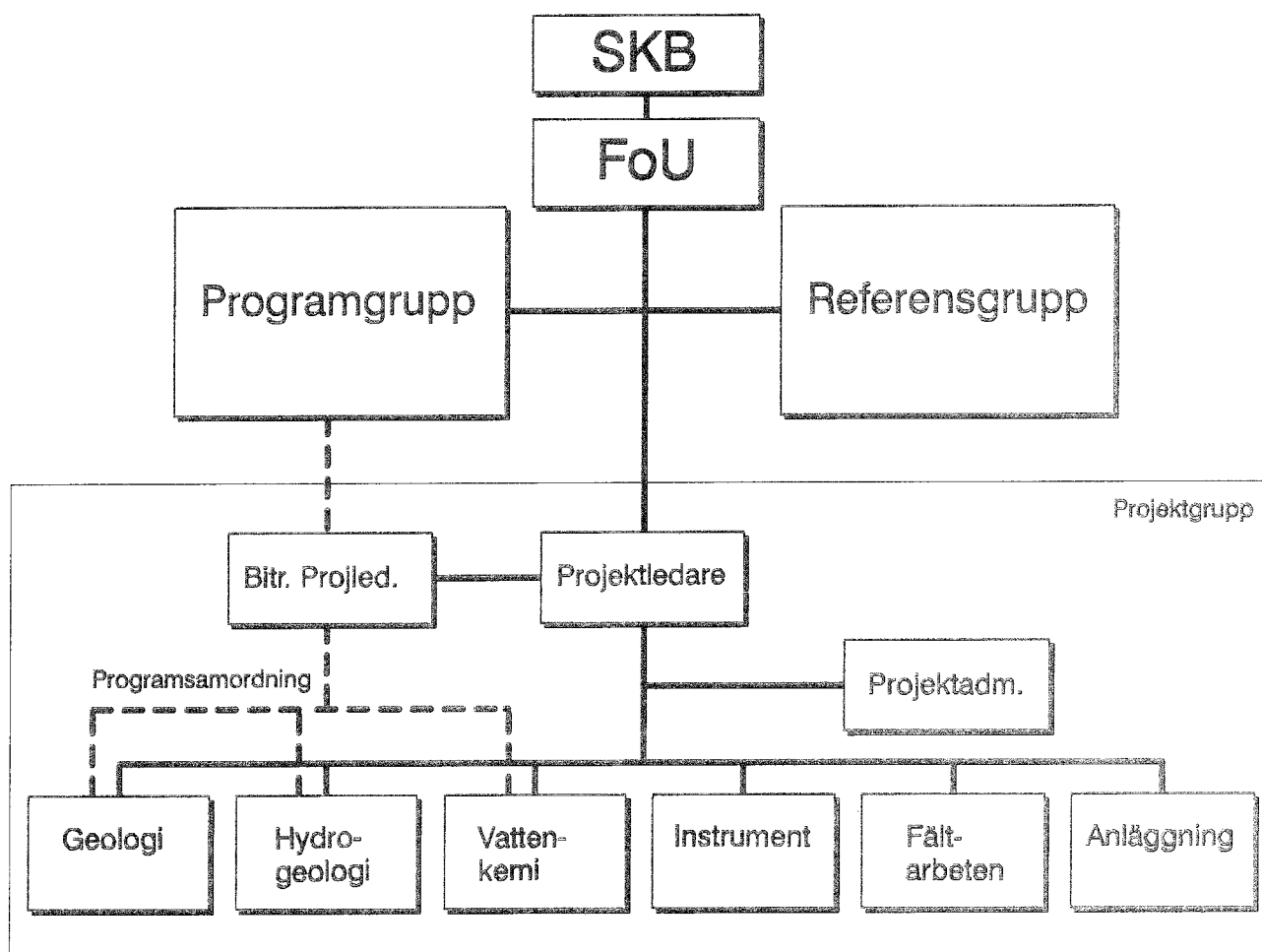
## 1.5 GENOMFÖRANDET AV FORSKNINGSSARBETET

FoU-insatserna vid berglaboratoriet kommer liksom SKBs övriga FoU-arbeten att genomföras främst genom uppdrag till universitet, högskolor, forskningsinstitutioner, konsulter, industrier och andra svenska och

utländska forskare. Härigenom ges möjlighet till att genomgående hålla en hög kompetens och kvalitet. För olika undersökningar och experiment har man möjlighet att välja den mest lämpade kvalificerade experten. För vissa frågor kan man pröva olika alternativa vägar eller modeller.

Forskningsprogrammet för berglaboratoriet revideras och fördjupas fortlöpande. Föreliggande program är den fjärde reviderade versionen. Det är dock det första som genomarbetats och samordnats med FoU-program 89. Förslagen till undersökningar och försök under driftskedet har utarbetats i samråd med ledande experter och sammanställts av SKB. Programmet kommer i fortsättningen att revideras i samband med de treåriga FoU-programmen. Däremellan kommer detaljplaner att tas fram fortlöpande för de olika undersökningar och försök som skall genomföras. En översiktlig tidplan för projektet framgår ur Figur 1-2.

Projektet leds av en projektgrupp som svarar för genomförande av arbetena. Inriktningen och forskningsprogrammets innehåll utarbetas av en programgrupp inom SKBs forskningsavdelning. En referensgrupp har tillsatts för att ge råd och synpunkter på program och resultat. Figur 1-3 visar den nu gällande organisationen.



Figur 1-3. Organisationsplan för projekt fram till byggstart.



## 2 MÅL

Mot bakgrund av de motiv som redovisats i avsnitt 1.3 och den övergripande tidplan som angivits i avsnitt 1.2 har SKB beslutat att anlägga ett underjordiskt berglaboratorium. Syftet med detta är att skapa en möjlighet till forskning och utveckling i en realistisk och ostörd bergmiljö ned till djup som planeras för det framtida slutförvaret.

Berglaboratoriet skall utgöra ett viktigt komplement till det övriga arbete, som bedrivs inom SKBs forskningsprogram.

Kraven på forskningens kvalitet är mycket hög och en övergripande ambitionsnivå bör vara att berglaboratoriet utvecklas till ett internationellt ledande centrum för forskning och utveckling rörande anläggning av slutförvar för högaktivt avfall.

### 2.1 HUVUDMÅL

FoU-verksamheten i berglaboratoriet har följande huvudmål:

- Pröva kvalitet och användbarhet för olika metoder att karakterisera berggrunden med avseende på förhållanden av vikt för ett slutförvar.
- Vidareutveckla och demonstrera metoder för hur ett slutförvar vid projektering och byggande skall kunna anpassas till bergets lokala egenskaper.
- Ta fram underlag och data av betydelse för slutförvaringens säkerhet och för tilltron till säkerhetsanalysernas kvalitet.

Det sista målet är generellt för SKBs hela forskningsprogram.

### 2.2 ETAPPMÅL

För att uppfylla den övergripande tidplanen för SKBs forskningsarbete har följande etappmål ställts upp för verksamheten vid berglaboratoriet.

Inför lokaliseringen av slutförvaret för använt bränsle i mitten av 1990-talet skall man med verksamheten vid berglaboratoriet:

#### 1 Verifiera förundersökningsmetoder

- demonstrera att undersökningar på markytan och i borrhål ger tillräckliga data om väsentliga säkerhetsrelaterade egenskaper hos berget på förvarsnivå, samt

#### 2 Fastställa detaljundersökningsmetodik

- färdigutveckla och verifiera de metoder och den teknik som behövs vid karakterisering av berget i de detaljerade platsundersökningarna.

Som underlag för en bra optimering av slutförvarssystemet och för en säkerhetsanalys inför lokalise-

ringsansökan, som planeras till ett par år efter 2000 behöver man:

#### 3 Pröva modeller för grundvattenströmning och transport av lösta ämnen

- färdigutveckla och i stor skala på förvarsdjup pröva metoder och modeller för bestämning av grundvattenflöde och transport av lösta ämnen i berg.

Inför byggandet av slutförvaret, som planeras starta år 2010, skall man på aktuellt förvarsdjup och under representativa förhållanden:

#### 4 Demonstrera bygg- och hanteringsmetoder

- ge tillgång till berg där man kan vidareutveckla och pröva teknik för att säkerställa hög kvalitet i byggande, utförande och drift av slutförvar, samt

#### 5 Pröva viktiga delar i förvarssystemet

- i full skala pröva, undersöka och demonstrera olika komponenter som har betydelse för långtidssäkerheten hos ett slutförvarssystem.

Dessa prov ska kunna ske i tillräcklig omfattning vad avser tid och skala för att ge underlag för myndighetsgodkännande av byggstart. Vissa prov kan därför behöva starta i mitten av 90-talet.

## 2.3 KOMMENTARER TILL MÅLEN

Huvudmålen för berglaboratoriet är att vidareutveckla och/eller pröva tre olika slag av färdigheter inför byggandet av ett slutförvar.

- Teknik att karakterisera berg.
- Teknik att anpassa ett förvar till bergets karaktär.
- Teknik att utvärdera bergets säkerhetsfunktion.

De egenskaper i berget som är av vikt i olika skeden kommer att variera. Den prövning av kvaliteten hos metoder för bergkarakterisering som görs vid berglaboratoriet anknyter i ett tidigt skede till förmågan att på basis av förundersökningar kunna tolka grundvattnets strömning och kemi på möjligt förvarsdjup. Allteftersom beslutsprocessen fortgår och allteftersom prognosmodellerna och säkerhetsanalyserna detaljeras kommer specifika krav att ställas på detaljinformationen.

#### FÖRUNDSÖKNINGSMETODER (Etappmål 1)

Innan detaljundersökningar startar på kandidatplatserna måste dessa godkännas av olika myndigheter.

Underlag för detta godkännande blir bl a resultaten från de förundersökningar som planeras under åren 1992-94.

Programmet för förundersökningarna baseras bl a på erfarenheterna från typområdesundersökningarna, Stripa-projektet och från berglaboratoriet. Det är viktigt att inför beslut om detaljundersökningar klargöra precisionen i förundersökningarna. Detta kan ske i samband med byggandet av berglaboratoriet.

Undersökning av berget är en successiv process, där bedömningar av berggrunden kan ske i flera steg. Utlåtan kan lämnas redan efter geologiska kartstudier. Preliminära modeller av berggrunden kan upprättas och därefter kompletteras i efterföljande undersökningssteg. I berglaboratoriet upprättas sådana beskrivningar stegvis i olika skalor. Regional skala tillämpas för att placera in platsen i ett tektoniskt sammanhang och för att beskriva de viktigaste zonerna för grundvattenströmning och eventuella bergrörelser. Anläggningsskalan, ca 1 km<sup>2</sup>, är relevant för att utforma förvaret i förhållande till befintliga sprickzoner och för att anvisa lämpliga bergvolymerna för placering av schakt m m. En beskrivning i hundrametersskalan är relevant för att anvisa volymer som är lämpliga för avfallsförvaring. Bergbeskrivningar i tiometersskalan utnyttjas för att beskriva närområdet till avfallet. Meterskalan och nedåt är t ex viktig för studier av kemisk växelverkan mellan berg och radionuklider, för studium av den sk störda zonen runt tunnlarna och för studium av det sk ekvivalenta vattenflödet.

Förundersökningar från ytan och i borrhål kan ge översiktliga beskrivningar som underlag för att studera dessa frågeställningar. Detaljundersökningar som sker i speciella undersökningstunnlar och -schakt kan fördjupa förståelsen avsevärt.

Det är viktigt att för en bergvolym som karakteriserats både från ytan, i borrhål och från tunnlarna och schakt, att visa att de bedömningar som gjorts på basis av förundersökningar leder till samma huvudsakliga slutsatser som senare erhålles efter det att detaljundersökningar genomförts.

Behovet att verifiera förundersökningsmetoder är i första hand knutet till att skapa ökad trovärdighet för det underlag som kommer att finnas till hands vid beslut om detaljundersökningar. Resultaten från detta arbete (verifikation av borrhålsundersökningsmetoder o d) har emellertid också en stor betydelse för den senare utbyggnaden av slutförvaret. Denna kommer troligtvis att ske i etapper där omfattningen av varje etapp kommer att bestämmas av de lokala förhållandena och av slutligt vald utformning av slutförvaret. Varje utbyggnadsetapp föregås av förundersökningar med tillämpning av i princip samma teknik och metoder som vid förundersökningar från markytan. I utbyggnadsskedet är det således av än större vikt att dessa metoder är väl beprövade och verifierade.

### **DETALJERADE PLATSUNDERSÖKNINGAR (Etappmål 2)**

Detaljundersökningarna innebär med nödvändighet att den naturliga grundvattensituationen förändras. Det är således viktigt att innan tunnel/schaktdrivning påbörjas vara övertygad om att väsentliga data är sam-

lade. Detaljundersökningarna måste ske noggrant och med rejäla krav på fullständig dokumentation. Förundersöknings- och byggnadsskedet i berglaboratoriet ger utmärkta möjligheter att under realistiska förhållanden utveckla och pröva tillvägagångssättet för detaljundersökningar. Berglaboratoriet kommer att visa den grad av fördjupning av kunskap som är möjlig att uppnå i förhållande till de bedömningar som gjorts under förundersökningskedet.

### **MODELLER FÖR GRUNDVATTENSTRÖMNING OCH TRANSPORT AV LÖSTA ÄMNEN (Etappmål 3)**

För att en lokaliseringsansökan ska godkännas är det viktigt att den långsiktiga säkerheten hos förvaret kan visas. Detta i sin tur kräver att man kan demonstrera att områdets grundvattenströmning förstås. Förståelsen behövs för inplacering av avfallet, för val av tjocklek på de tekniska barriärerna, för analys av olika utsläppsscenarioer och för att så småningom försluta förvaret på bästa sätt. Berglaboratoriet ger möjlighet att praktiskt tillämpa olika teoretiska modeller för hur grundvatten och däri lösta ämnen transporteras fram till det isolerade avfallet och hur uttransport av radioaktiva ämnen skulle kunna ske.

### **KVALITET I BYGGANDE OCH UTFÖRANDE (Etappmål 4)**

Ett slutförvar består av ett stort antal delar som sammellan är lika. Ett KBS-3-förvar t ex består av några tusen kapslar som var och en omges av högkompakterad bentonit och placeras i ett deponeringshål. De olika komponenterna (bränsle, kapsel, lera, berg) samverkar för att åstadkomma ett säkert förvar. Andra viktiga komponenter är t ex tättningspluggar för schakt, borrhål eller tunnlarna, injekteringskärlar för avledande av rörligt grundvatten och tunnelfyllning. Alla dessa delar måste utföras med en viss minimikvalitet för att förvaret i dess helhet skall fylla säkerhetskraven. Inför ansökan om byggnadstillstånd är det angeläget att visa att man kan upprätthålla denna minimikvalitet. Under för- och detaljundersökningar sker successivt en ökad detaljering av beskrivningen. Denna beskrivning och förståelse fördjupas under utbyggnaden av förvaret. Det är viktigt att demonstrera hur data kommer att samlas in och analyseras under förvarets utbyggnadsskede. Innan förvarsutbyggnad sker är det också möjligt att demonstrera olika metoder för att göra tunnlarna och deponeringshål, t ex borrhåll/sprängning eller fullborrning. Det visas vilka mätningar och analyser som sker innan man väljer de bergpartier där avfallet skall placeras. Man kan också t ex i samband med fullskaleprov utveckla och pröva metoder för kvalitetskontroll och kvalitetssäkring vid utförande av olika delar av slutförvarssystemet.

### **FULLSKALEPROV (Etappmål 5)**

I en väl karakteriserad bergmassa kan man genomföra fullskaleprov med delar av det förvarskoncept som väljs. Dessa prov kan behöva påbörjas under mitten av

90-talet och pågå under lång tid. Prov kan genomföras på enskilda komponenter i förvarssystemet. Samband mellan berg och buffert kan analyseras. Inverkan av t ex temperaturvariationer kan utvärderas. Innan tillstånd till förslutning av anläggningen lämnas kan man

demonstrera hur försegling av anläggningen skall genomföras. Resultaten av dessa prov blir underlag för tillståndsredovisningen i olika led. De väntas även bidra till en ökad tilltro till och acceptans av det valda konceptet.

### 3 FORSKNINGSPROGRAM — ÖVERSIKT

#### 3.1 ALLMÄNT OM FORSKNINGSPROGRAMMET

I detta kapitel ges en översikt över de aktiviteter som genomförts och som planeras för att svara mot de mål som formulerats i föregående kapitel. För en mer detaljerad redovisning hänvisas till rapportens bilagor.

I likhet med SKBs övriga forskningsprogram, är det vitalt att detaljer i detta program stegvis växer fram efterhand som data och modeller tillkommer. Föreliggande program är den fjärde reviderade versionen av programmet. En nyligen genomförd ändring av tillfarten till laboratoriet kommer att påverka den detaljerade planeringen av hur förundersökningsskedet avslutas och hur byggnadsskedet genomförs.

Arbetet med berglaboratoriet indelas i tre skeden — förundersöknings- byggnads- och driftsskedet — som framgår av tidplanen, se Figur 3-1.

I förundersökningsskedet sker lokalisering av berglaboratoriet. De naturliga förhållanden i berggrunden beskrivs. Parallellt med förundersökningarna sker planering för projektets byggnads- och driftsskede.

Under byggnadsskedet 1990-1994 genomförs flera undersökningar och försök parallellt med byggnadsverksamheten. Utbyggnaden av tunneln ned till 500 m nivå sker i etapper. En preliminär layout för laboratoriet framgår ur Figur 3-2.

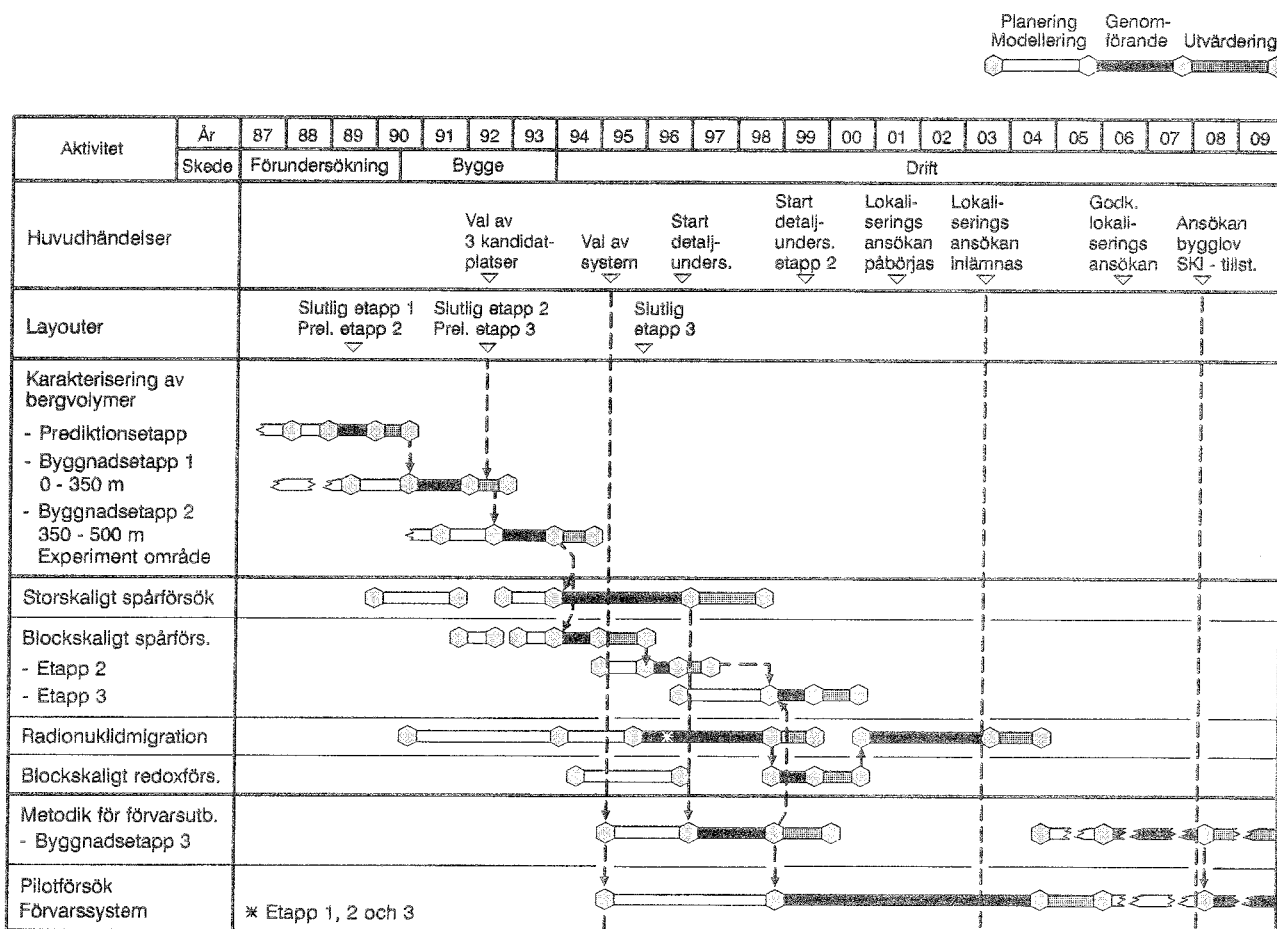
Driftsskedet inleds 1994. I detta program anges inriktningen på de undersökningar och försök som genomförs under driftsskedet. Det slutliga programmet för driftsskedet anpassas till resultat från andra projekt och till erfarenheter från byggnadsskedet.

I Tabell 3-1 redovisas översiktligt vilka frågor blir belysta i berglaboratoriet och hur insatsernas tyngd fördelas över tiden.

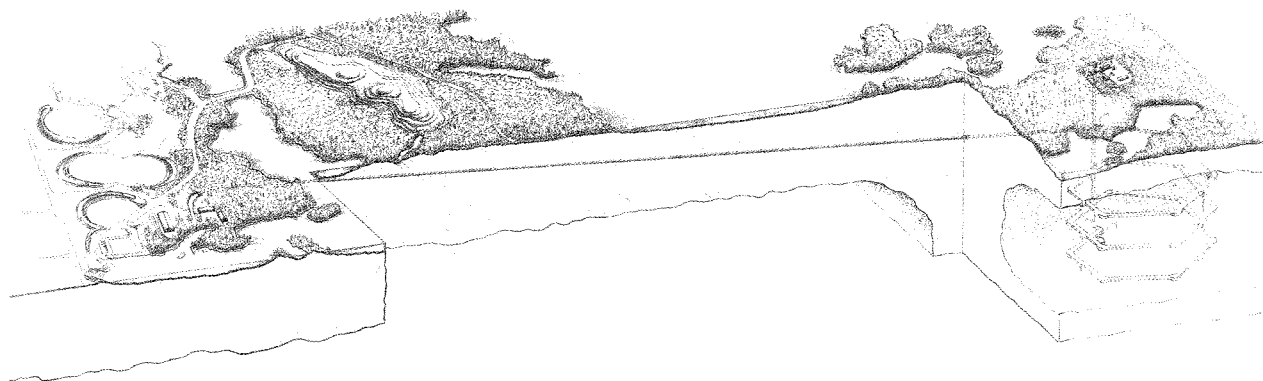
Forskningen kan indelas i tre huvudområden:

- platsundersökningar,
- metoder för förvarsubbyggnad och
- pilotförsök med förvarssystem.

Det förutses att slutförvaring av använt kärnbränsle sker med mycket långlivade kapslar. All aktivitet kommer således att inneslutas under mycket lång tidsrymd.



Figur 3-1. Översiktlig tidplan för undersökningar och försök.



Figur 3-2 Principiell utformning av berglaboratoriet.

**Platsundersökningarna** syftar till att utföra och pröva de undersökningar, analyser och beräkningar av förhållandena på en viss plats som behövs för utforma ett säkert slutförvar. Viktigt är att visa på förmågan att lokalisera

berg av olika kvalitet. Detta behövs för att på en tänkt slutförvaringsplats anvisa lämpliga förvarsvolymer, var tillträde till förvarsnivån kan ske och var fortsatta detaljerade undersökningar ska genomföras.

Man ska även demonstrera hur förvarstunnlar och avfall kan inplaceras i ett förvarsområde så att rörelse-zoner undviks och låg grundvattenomsättning erhålles, särskilt i närområdet. Flödesvägarna i berget behöver lokaliseras och vattenomsättningen i närområdet beskrivas. Grundvattnets kemiska sammansättning är av stor betydelse för bedömningen av platsens lämplighet. För beräkning av transport av lösta ämnen (nuklidtransport) behövs bl a definition av utströmningsområden, vattenomsättning och flödesvägars geometri. Under förvarsutbyggnad krävs mekanisk stabilitet.

**Metoder för förvarsutbyggnad** ska provas och utvecklas för att visa hur förvarsutbyggnaden utnyttjas för att karakterisera närområdet på en slutligt vald plats för slutförvaret. Vidare utvecklas och provas teknik för fullborrning/sprängning av förvarstunnlar, teknik för håltagning av kapselhål, injekteringsteknik m m.

**Pilotförsök med förvarssystem** genomförs för att demonstrera och i möjlig grad verifiera utformningen av viktiga delar av det förvarssystem som slutligen väljs för det långlivade avfallet. Pilotförsök genomförs i berg som har karakteriserats med de metoder som prövats i projektets tidigare skeden.

### 3.2 PROGRAM FÖR FÖR- UNDERSÖKNINGSSKEDET

Undersökningar av berggrunden sker både från markytan och i borrhål. Data sammanställs i beskrivande modeller som underlag för lokalisering av laboratoriet, utformning av anläggningen och som underlag för bl a numeriska beräkningar av grundvattnets strömning i olika skalor.

Förundersökningsskedet är indelat i etapperna:

- lokalisering,
- platsbeskrivning och
- prediktion,

varav de första två har genomförts och rapporterats.

Undersökningarna påbörjades hösten 1986 och studier har genomförts i flera olika skalor, både regionalt och lokalt. Arbetet inriktades relativt omgående på en lokalisering nära Simpevarpsområdet som har en bra infrastruktur för den planerade verksamheten.

De genomförda undersökningarna har visat att det på Äspö norr om Simpevarp finns gynnsamma förutsättningar för att anlägga ett berglaboratorium av vilka följande kan nämnas.

- Ett relativt homogent bergblock med få väldefinierade grundvattenledande strukturer finns på södra Äspö där nedfarten till laboratoriet kan byggas.
- Inom nära avstånd till ovanstående finns tillgång till en regional skjuvzon och områden med mycket homogen Smålandsgranit.
- Områden under havsytan finns tillgängliga i omedelbar anslutning till Äspö.

Resultaten från **lokaliseringsetappen** har redovisats i SKB Teknisk Rapport 88-16. Bergbeskrivningen i regional skala visar att Simpevarpsområdet huvudsakligen består av granitisk berggrund, Smålandsgranit, med inslag av basiska bergarter, grönstenar. Informationen från de geologiska och geofysiska undersökningarna visar en tektonisk bild av Simpevarpsområdet som domineras av ett nästan ortogonalt system av första ordningens sprickzoner i N-S respektive E-W riktning. Vid sidan av detta system finns en andra ordningens zoner i riktning NW och NE som också bildar ett nästan ortogonalt system. Det finns troligen också flacka, subhorisontella zoner.

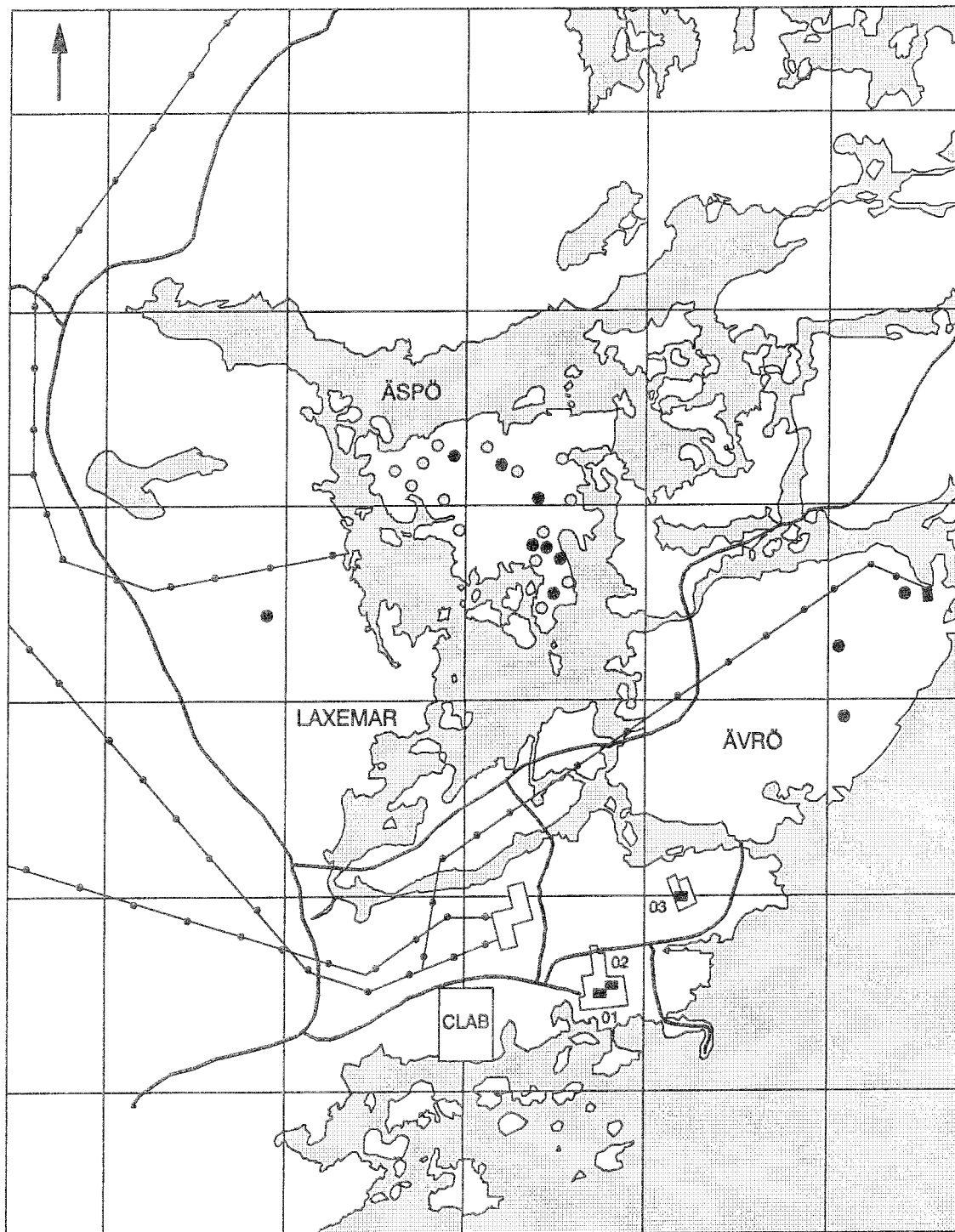
Denna regionala modell har granskats av SKN som därefter önskat kompletterande studier. Dessa utvidgade regionala studier genomförs hösten 1989. Ändringen av laboratoriets utformning som innebär att tillfartstunnelns påslag placeras på Simpevarp istället för Äspö ger också möjligheter att studera en större zon som indikerats mellan Simpevarp och Äspö.

Av betydelse för numeriska modeller av grundvattnets strömning har varit att Simpevarpsområdet omges av yngre, granitiska sk diapiorer som även antas underlagra Simpevarpsområdet på stort djup. Regionala

Tabell 3-1 Översikt över berglaboratoriets forskningsområden.

FORSKNINGSOMRÅDE		FÖRUNDER- SÖKNING	BYGGNADSSKEDE		DRIFTSSKEDE
			ETAPP 1	ETAPP 2	
<b>● PLATSUNDERSÖKNINGAR MED BERÄKNINGAR</b>					
<b>Visa förmåga att lokalisera berg av olika kvalitet</b>					
— i regional skala,	>> 1 000 m	B	C	C	C
— i anläggningsskala,	100—1 000 m	B	A	A	A
— i blockskala,	10— 100 m	C	C	A	A
<b>Beskriva flödesvägar för grundvatten</b>					
— i regional skala		C	C	C	C
— i anläggningsskala		B	A	A	A
— i blockskala		C	B	B	A
<b>Beskriva vattenomsättning</b>					
— i regional skala		A	B	C	C
— i anläggningsskala		A	A	B	B
— i blockskala		B	B	A	A
<b>Beskriva grundvattnets kemiska sammansättning</b>					
— i regional skala		C	C	C	C
— i anläggningsskala		A	B	B	B
— i blockskala		C	B	B	A
<b>Transport av lösta ämnen</b>					
— i regional skala		C	C	C	C
— i anläggningsskala		B	B	B	A
— i blockskala		C	C	B	A
<b>Bergets mekaniska bestånd</b>					
— i regional skala		B	C	C	C
— i anläggningsskala		B	C	C	B
— i blockskala		C	C	C	B
<b>● METODIK FÖR FÖRVARSSYSTEM- UTBYGGNAD</b>					
Undersökningsmetodik		C	C	B	A
Fullborrning/sprängning		C	C	C	B
Håltagningsteknik		C	C	C	B
Injekteringsteknik		C	C	C	B
<b>● PILOTFÖRSÖK — FÖRVARSSYSTEM</b>					
Temperaturens effekt på bentonit och berg		C	C	C	B
”Störda zonens” effekt på vattenomsättningen		C	B	B	B

**LEGEND:**  
A Hög vikt  
B Medelhög vikt  
C Låg vikt



- Kärnborrhål
- Hammarborrhål

0 500 m

N

SKB Underjordiskt Berglaboratorium

Figur 3-3. Äspö med omgivningar.

brunnsdata visar att dessa yngre bergarter är mer vat-  
tengenomsläppliga. I lokaliseringsetappen genomför-  
des även hammarborrprogram på tre områden som gav  
underlag till kemisk karakterisering av det ytliga  
grundvattnet. Det bedömdes att både Äspö och Laxe-  
mar var lämpliga platser för ett berglaboratorium, se  
Figur 3-3.

**Platsbeskrivningsetappen** har redovisats i SKB Tek-  
nisk Rapport 89-16. De fortsatta undersökningarna för  
lokalisering inriktades framförallt mot Äspö. Laxemar  
ska utnyttjas som ett referensområde där t ex naturliga  
variationer i grundvattennivåer kan följas och jämför-  
as med de störda förhållanden som uppstår på Äspö  
efter det att laboratoriet är utbyggt. Fyra kärnborrhål  
har utförts varav de djupaste ned till 1 km djup. Förut-  
om mycket kvalificerad kärnkartering har det genom-  
förts omfattande geofysiska mätningar, hydrotester i  
flera skalor och vattenkemianalyser. På Äspö har ingå-  
ende ytundersökningar genomförts bl a med hjälp av  
seismiska profiler, hållkartering, markgeofysiska mät-  
ningar och interferenstester mellan borrhålen. Av det  
kärnborrhål som utförts på södra Äspö är Smålands-  
graniten dominerande bergart ner till ett djup av drygt  
300 m. Denna övergår här i en kvartsfattigare variant  
av Smålandsgraniten, benämnd diorit. Zoner av olika  
karaktär finns på Äspö.

För lokalisering av berglaboratoriet har södra Äspö  
föreslagits. Äspö ger förutsättningar för vetenskapliga  
experiment av stort intresse för ett säkert slutförvar.  
Vidare ger Äspö även förutsättningar för att det kvali-  
ficerade anläggningsprojektet kan genomföras med  
gott resultat. Med hänsyn till framtida försök är det en  
fördel att olika typer av bergarter och zoner kan stude-  
ras i berglaboratoriet. Denna variation finns på Äspö  
med omgivningarna.

Vattenkemiska förhållanden på Äspö är också repre-  
sentativa för att studera de förhållanden som råder vid  
kustnära förläggning av en berganläggning. Grund-  
vattnet är sött i de ytliga delarna och salt på större  
djup. I platsbeskrivningsetappen har även resultat från  
flera typer av numeriska beräkningar av grundvattnets  
strömning genomförts, se vidare kapitel B4.

Den platsbeskrivning som återfinns i SKB TR 89-16  
har sedermera kompletterats i **prediktionsetappen** med  
ytterligare en borrhåningsetapp omfattande bl a ytterli-  
gare fyra kärnborrhål. Redovisning av dessa resultat  
och tillhörande numeriska beräkningar kommer att re-  
dovisas i en Teknisk Rapport våren 1990. Prediktioner  
sätts upp i olika skalor. Dessa kallas regionalskalan,  
>> 1000 m, anläggningsskalan, 100—1000 m, block-  
skalan, 10—100 m och detaljskalan, 0—10 m. För varje  
skala definieras vilka prediktioner som ska upprättas,  
en estimering av väntat utfall, grund för validering och  
vilken måtnoggrannhet som eftersträvas. Prediktio-  
nerna för varje skala grupperas efter forskningsområ-  
den och innebär prövning av beskrivande modeller,  
vattenomsättning, kemisk miljö, transport av lösta  
ämnen i grundvatten samt bergets mekaniska stabili-  
tet. Beräkningar genomförs i olika skalor och jämföres  
innan byggnadsskedet påbörjas mot tryck- och flödes-  
mätningar i borrhål och mot grundvattenkemiska data  
och då framförallt vattnets salthalt. Under byggnads-  
skedet utvärderas de geologiska, geohydrologiska och

grundvattenkemiska prediktioner som upprättas un-  
der prediktionsetappen.

För att kontrollera den beskrivande modell som  
upprättats i platsbeskrivningsetappen genomförs ett  
långvarigt pumpstest under sommaren 1989. Mätresul-  
taten används för att utvärdera de prediktiva beräk-  
ningar som genomförts innan långtidspumpningen.  
Vidare utnyttjas resultaten för att upprätta den slutliga  
beräkningsmodell över de grundvattenförändringar  
som sker då laboratoriet byggs. Ett kvalificerat radiellt  
spårförsök genomförs också innan byggnadsskedet  
påbörjas. Utvärdering av långtidspumpning och spår-  
försök kommer att redovisas separat i en Teknisk Rap-  
port under 1990.

I Augusti 1989 beslutade regeringen att berglabora-  
toriet ska prövas enligt Naturresurslagen. I anslutning  
därtill har SKB beslutat göra en viss ändring av labora-  
toriets utformning som minskar miljöeffekterna. Den  
nya utformningen av berglaboratoriet påverkar de-  
taljplaneringen för hur förundersökningsskedet avslu-  
tas.

### 3.3 PROGRAM FÖR BYGG- NADSSKEDET

#### 3.3.1 Planering

Under byggnadsskedet genomförs undersökningar för  
att validera förväntningsmodeller som redovisas under  
förundersökningsskedet. Vidare erhålls data för att  
stegvis förbättra tidigare utförda prediktioner. Under-  
sökningarna genomförs dels längs nedfartstunnels  
ytter, dels i borrhål från markytan och från tunneln. Ef-  
tersom egenskaperna hos berggrunden närmast depo-  
neringshål och deponeringstunnlar har relativt sett  
störst betydelse för säkerheten av ett slutförvar, så är  
det väsentligt att detaljeringsgraden av undersökning-  
arna under byggnadsskedet ökas efterhand.

För undersökningar som sker på den kommande hu-  
vudnivån, ca 500 m under markytan, blir undersök-  
ningarna mer detaljerade än i början av tunneldriv-  
ningen. Undersökningarna, som genomförs under  
drivningen av tunnelnedfarten, delas därför in i etap-  
per enligt nedan.

Etapp 1 — Drivning av tunnelnedfarten till ca 350 me-  
ters nivå. Där förväntas man gå igenom  
den granitiska bergarten och komma in i  
den dioritiska. Här lämnas möjlighet att  
sammanställa och utvärdera erhållna data  
och jämföra dessa med tidigare upprättade  
förväntningsmodeller.

Erhållna nya undersökningsresultat ger  
underlag till förnyade förväntningsmodel-  
ler för de djupare liggande delarna av berg-  
laboratoriet. Samtidigt görs också en ut-  
värdering av strategi och använda mätme-  
toder för de genomförda undersökning-  
arna ner till ca 350 meters nivå.

Under denna etapp genomförs också driv-  
ningen av schakt till markytan.



Etapp 2 — Drivning av tunneln ned till ca 500 meters nivå. Undersökningarna längs denna sträcka blir mer detaljerade än tidigare för att bättre kunna beskriva närområdet kring nedfartstunneln. Erfarenheterna från de utförda undersökningarna ner till 350 meters nivå utnyttjas för att bestämma ett optimalt undersökningsprogram.

Vid ca 500 meters nivå sammanställs, utvärderas och jämförs erhållna resultat med tidigare upprättade förväntningsmodeller.

Byggnadsetappen innefattar även utsprängning av utrymmen för några av de försök som genomförs under driftskedet samt fortsatt drivning av kommunikationsschakt ner till ca 500 meters nivå.

Om senare undersökningar inom ramen för det allmänna forskningsprogrammet skulle visa att slutförvaret bör förläggas djupare än ca 500 m så kan en utbyggnad av till större djup bli aktuell.

Arbetet under byggnadsskedet är till stor del inriktat på geologiska, geohydrologiska och grundvattenkemiska aspekter.

De geologiska, geohydrologiska och grundvattenkemiska undersökningarna och försöken har stor betydelse för berglaboratoriets huvudmål "Pröva kvalitet och användbarhet av metoder för bergkaraktisering", "Vidareutveckla och demonstrera metoder för projektering och byggande", samt "Ta fram underlag och data för säkerhetsanalys". Arbetet under byggnadsskedet är också starkt kopplade till berglaboratoriets etappmål "Verifiera förundersökningsmetoder" och "Fastställa detaljundersökningsmetodik". Dessutom är undersökningarna av grundläggande betydelse för planering av försök som genomförs under driftskedet.

### 3.3.2 Geologiska undersökningar

Med hänsyn till geologi finns ett flertal såväl geologiska som geofysiska metoder tillgängliga som hjälp för beskrivning av bergmassans sammansättning och struktur. De olika metodernas relevans såväl generellt som i den lokala geologiska miljön är emellertid mycket ofullständigt dokumenterade. Speciellt gäller detta förhållanden på större djup i kristallin berggrund. De övergripande målen för den geologiska dokumentationen under byggnadsskedet kan därför sammanfattas enligt nedan.

- Utvärdera i vilken mån den använda förundersökningsmetodik har givit en riktig beskrivning av den rumsliga fördelningen av bergarter, större och mindre sprickzoner samt bergmassans sprickgeometri och — mineral i olika geologisk miljö och för olika djup.
- Fastställa olika undersökningsmetoders relevans vad gäller bergarter, strukturer, stabilitet och vattenföring med hänsyn till geologisk miljö och djupläge.

- Upprätta en god prognos för den geologiska miljö som påträffas under den andra byggnadsetappen och under utbyggnaden av 500 m-nivån.
- Utveckla och pröva metodik för detaljerade geologiska undersökningar på kandidatplatser för slutförvar.

Undersökningarna är av grundläggande betydelse för att pröva, utveckla och demonstrera de metoder och den teknik som behövs för de detaljerade platsundersökningarna.

De geologiska förväntningsmodellerna görs i huvudsak med avseende på litologi och strukturer. Prediktioner görs i olika blockskalor för olika geologiska miljöer. Stråvan skall vara att definiera olika litologiska enheter samt att beskriva bergmassans struktur avseende orientering och karaktär.

Geologisk dokumentation av tunnlar, schakt och utförda borrhningar kommer att ske successivt i samband med anläggningens utbyggnad. Utfallet jämförs successivt med förväntningsmodellerna som upprättats med ledning av resultat från förundersökningarna.

### 3.3.3 Geohydrologiska undersökningar

Vad avser geohydrologi finns endast ett fåtal kvalificerade försök som har genomförts för att pröva riktigheten av modeller för grundvattenrörelser i stora bergvolymmer. De övergripande målen för de geohydrologiska undersökningarna under byggnadsskedet kan sammanfattas som att:

- utvärdera i vilken mån den använda förundersökningsmetodik har givit en riktig beskrivning av den naturliga grundvattensituationen i olika geologiska miljöer och för olika djup,
- dokumentera de geohydrologiska förhållandena i bergvolymen från tunnlar och bergrum i olika skalor samt ge geohydrologiska driftsprognoser för utsprängningsarbetet,
- iterativt med dokumentationen validera de i skilda skalor uppställda modellerna av berglaboratoriets inverkan på de stationära geohydrologiska förhållandena,
- med de nya data som fortlöpande erhålles under byggnadsskedet stegvis detaljera och förbättra prognoserna över de geohydrologiska förhållandena på de djupare nivåerna,
- validera de uppdaterade förväntningsmodellerna av de geohydrologiska förhållandena på de djupare nivåerna och 500 m-nivån,
- utveckla metodik för detaljerade geohydrologiska undersökningar på kandidatplatser.

För att nå dessa mål fordras liksom under förundersökningsskedet att undersökningar genomförs i fält, att erhållna data analyseras och bearbetas integrerat med de geologiska och grundvattenkemiska undersökningarna, samt att resultaten sätts samman i kvalitativa och kvantitativa modeller. Undersökningarna har en naturlig och avgörande betydelse för bergbeskrivningen av såväl fjärrområde som närområde.

Under anläggningsarbetet kommer dokumentation av bergarter, sprickighet, förstärkningar mm att ut-

föras. I denna dokumentation införs även registrering av vatteninflöden till kvantitet och läge.

Ett handlingsprogram för hur de geohydrologiska observationerna skall utföras vid injekteringar och omfattande förstärkningsarbeten kommer att upprättas. I programmet definieras även gränser för när injektering ska ske. Det skall även innehålla riktlinjer för när sidotunnlar skall anordnas.

För att undersöka, beskriva och modellera konduktiva zoner utan att störa och störas av byggprocessen planeras att sidotunnlar tas ut från tunnelnedfarten. En sidotunnel sprängs ut om berg påträffas som kräver stora insatser av tätning och förstärkning.

Från tunnelsidorna i anslutning till fronten hammarborras sonderingshål. I hålen, som riktas snett framåt, utföres tryckuppsättningsmätningar och om så erfordras, manschettmätningar. Dessa pilotundersökningar utnyttjas dels för att tillsammans med dokumenterade data från tunneln ge driftprognoser och dels för att komplettera databasen med geohydrologiska data tagna under jord. Borrhålen kommer dessutom att användas för vattenprovtagning.

Förutom de sonderingshål som regelbundet borraras vid tunnelfronten, kommer man att komplettera observationsnätet under jord för att karakterisera och mäta trycket i konduktiva zoner. För detta planeras hammarborrhål utrustade med flermanschettssystem längs tunnelsträckningen.

### 3.3.4 Grundvattenkemiska undersökningar

Under förundersökningsskedet görs undersökningar som syftar till att klarlägga grundvattenkemiska förhållanden i berggrunden. Detta arbete utförs i etapper som växlar mellan mätning, utvärdering och prediktering där de samlade resultaten används för att prediktera förhållandena och de förändringar som förväntas under byggskedet. Eftersom grundvattnet är rörligt kommer en dränering av schakt och tunnlar att åstadkomma en kraftig omsättning av grundvattnet. Således kommer de förändringar som sker i vattensammansättningen att återspegla de geohydrologiska förhållandena. Målsättningen med de grundvattenkemiska undersökningarna under byggskedet är att studera förändringar i vattensammansättningen och att relatera dessa mot de prediktioner som gjorts i förundersökningsskedet. Målen för de geohydrokemiska undersökningarna under byggskedet innefattar därför att:

- följa förändringar i gränsen mellan salt och sött vatten,
- studera transport av upplösta ämnen i en stor volym av berget,
- ge underlag för validering av grundvattenströmning och transportmodeller i realistisk skala,
- följa förändringar i redoxförhållandena hos grundvattnet,
- följa förändringar i den kemiska sammansättningen hos sprickmineral och fastställa redoxkinetiken hos systemet grundvatten-sprickmineral,
- utveckla och pröva metodik för detaljerade grundvattenkemiska undersökningar på kandidatplatser.

Arbetet omfattar studier av förändringar i vattnets kemiska sammansättning (naturliga spårämnen) och av tillförda vattentrogna spårämnen via borrhål samt av inläckage till anläggningen. De naturliga spårämnen skall företrädesvis kunna beskriva vattnets flödesvägar i det översta partiet av berget medan de tillsatta spårämnen skall klargöra flödesvägarna i det djupare liggande berget.

För att studera flödesvägarna i det yt nära berget (ca 100 m) kommer sötvattenkudden på Åspö att användas. Pga tryckavsänkningar som sker i tunneln kommer sötvatten att rinna ner och nå tunneln i de punkter där förbindelsen uppåt är god. För att studera flödesvägarna i det djupa berget kommer spårämnen att injekteras i konduktiva zoner via de tidigare från ytan borrarade kärnborrhålen. Varje injektionspunkt får ett eget spårämne och injiceringen kan göras kontinuerligt under hela byggskedet eller tillföras i pulser med konstant tidsintervall.

Provtagning av grundvatten kommer att ske:

- i hammarborrhål som borraras in i berget från nedfartstunneln,
- i punkter där vatten läcker in till tunneln i väggar och tak,
- i dräneringsdiken,
- i sprickzoner som skärs av tunneln.

Provtagningen i borrhålen syftar till att klargöra förändringar i vattnets kemiska sammansättning. Dessutom kommer eventuella spolvattenrester från borrhålen av de djupa kärnborrhålen och tillsatta spårämnen att detekteras.

## 3.4 PRELIMINÄRT PROGRAM FÖR DRIFTSKEDET

Efter byggskedet inleds projektets driftskede. Planeringen inriktas mot att genomföra bl a följande föreslagna försök:

- storskaliga spårprov, försök,
- blockskaliga spårprov, försök,
- radionuklidmigration,
- blockskaliga redoxförsök,
- metodik för försvarsutbyggnad och
- pilotförsök-förvarssystem.

**Storskaliga spårprov** syftar till att karakterisera transport i fjärrzonen. För att studera de platsspecifika flödesvägar som råder i berggrunden kring berglaboratoriet kommer spårprov i skilda skalor att genomföras. Som beskrivs i Bilaga B4 startar ett storskaligt spårprov redan i det stationära skedet före byggstart och pågår under hela det transienta byggskedet. Resultaten från denna undersökning utgör en grund för planeringen av storskaliga spårprov under driftskedet. Målet med det storskaliga spårprovet under det stationära driftskedet är att:

- studera transport av upplösta ämnen i en stor volym av berget,
- ge underlag för validering av modeller för grundvattenströmning och transport i en realistisk skala.

Arbetet har stor betydelse för berglaboratoriets huvudmål "Pröva kvalitet och användbarhet av metoder för bergkaraktärisering" samt "Ta fram underlag och data för säkerhetsanalys". Vidare ger försöket underlag för etappmålet att "Pröva modeller för grundvattenströmning och lösta ämnen" vilket behövs inför en lokaliseringsansökan för slutförvaret. Tillsammans med de spårförsök som görs under byggnadsskedet, med de blockskaliga spårförsöken, med hydrauliska tester och interferenstester samt med liknande undersökningar på andra platser (Stripa, Finnsjön) kommer de erhållna data att ge en bred databas över grundvattenflöden och transportvägar i olika skalor och under olika förhållanden. Denna databas skall användas för att pröva, kalibrera och i möjlig omfattning validera modeller för grundvattenströmning och transport av lösta ämnen i sprickigt berg. Modellerna skall framförallt användas i analysen av den långsiktiga säkerheten hos slutförvaret vilken skall utgöra underlag för en lokaliseringsansökan. De skall också kunna nyttjas för optimering av slutförvaret. Databasen kommer ytterligare att kunna kompletteras med data från detaljundersökningar på de(n) föreslagna slutförvarsplatser(-erna).

**Blockskaliga spårförsök** sker i medelstor skala, ca 10—100 m.

Situationen i ett slutförvar med kapslar deponerade i berg med låg hydraulisk konduktivitet och med "respektavstånd" till närmast större vattenförande zon kommer att efterliknas i undersökningen. Resultaten från studien kommer att utvärderas och användas för att validera transportmodeller i blockskala dvs över avstånd i skalan 10—100 m. Undersökningen skall också visa på vår förmåga att karakterisera och välja ut bra partier av berget för deponering. Med hjälp av transportmodeller prövas möjligheten att prediktera migration av upplösta ämnen i ett utvalt parti lågkonduktivt berg intill en sprickzon. Målen för undersökningen är därför att:

- studera transport av upplösta ämnen i berget över 10 — 100 m avstånd,
- validera modeller för transport i bra berg till en sprickzon,
- validera modeller för transport i en sprickzon.

Undersökningen har stor betydelse för de tre huvudmålen för berglaboratoriet dvs att "Pröva kvalitet och användbarhet av metoder för bergkaraktärisering", att "Vidareutveckla och demonstrera metoder för projektering och byggande" och "Ta fram underlag och data för säkerhetsanalys". De blockskaliga spårförsöken har främst stor betydelse för etappmålet "Pröva modeller för grundvattenströmning och lösta ämnen". Denna modellering är av central betydelse för analysen av slutförvarets långsiktiga säkerhet som skall redovisas med lokaliseringsansökan.

**Radionuklidmigration** genomförs för att bli en pröva upplösning och migration av radionuklider in situ. Tidigare undersökningar har visat att löslighet, sorption på sprickytor och diffusion in i bergmatrisen minskar spridningen av radionuklider i berggrunden. De data och de modeller som beskriver radionuklidernas ke-

miska egenskaper i den naturliga berggrundsmiljön baserar sig dock i huvudsak på laboratorieförsök. Följande försöksbetingelser är emellertid mycket svåra att efterlikna i laboratoriet:

- naturliga reducerande förhållanden,
- naturlig halt kolloidala partiklar,
- ostört berg, dvs berg med mikroporsystem och även större sprickor som inte tryckavlastats genom provtagning.

Samtliga dessa förhållanden är av utomordentligt stor betydelse för berget som barriär dvs de har stor inverkan på löslighet eller retention av radionuklider om radioaktivt avfall exponeras för grundvatten. Målen för försöken med radionuklidmigration är att:

- pröva upplösning och migration av radionuklider in situ,
- speciellt pröva inverkan av naturliga reducerande förhållanden på löslighet och sorption av radionuklider,
- pröva grundvattnets förmåga att ta upp och transportera radionuklider med naturliga kolloider och mikrober, humusämnen och fulvosyror,
- validera modeller och kontrollera konstanter som används för att beskriva radionuklidernas upplösning i grundvatten, sorption på mineralytor, diffusion i bergmatrisen, transport i en enskild bergspricka och radiolys.

Målen har stor betydelse för det tredje av huvudmålen för verksamheten i berglaboratoriet, nämligen att "Ta fram underlag och data för säkerhetsanalysen". Utgången av försöken borde rimligen inte påverka lokaliseringen av slutförvaret. Försöken har mycket stor betydelse som underlag för analysen av transport av i vatten upplösta ämnen och därmed för analysen av förvarets långsiktiga säkerhet. Denna skall redovisas med lokaliseringsansökan.

**Blockskaliga redoxförsök** genomförs för att visa att bergets redoxkapacitet är tillräcklig i flödesvägarna. Reducerande förhållanden på förvarsdjup är ett nödvändigt krav för kapselns långa livslängd. Det grundvatten som provtagits vid olika tillfällen och på olika platser inom typområdesundersökningarna har alltid visat sig vara reducerande och bevisar därmed bergets reducerande egenskaper. Kinetiken i redoxreaktionerna mellan berggrundens mineral och grundvattnet behöver dock belysas ytterligare. Under byggnadsskedet, då oxiderande vatten kommer ner i anläggningen, finns det möjligheter att studera dessa reaktioner. Undersökningen av effekten av det syresatta vattnet kommer att utföras i block-skala (några 10-tal meter) vilket möjliggör kontroll av samtliga ingående parametrar samtidigt som möjlighet ges till en bedömning av hastigheten i utbytesreaktionerna. Målet med undersökningen är att bestämma reaktionskinetiken då oxiderande vatten förvandlas till reducerande genom att korrelera flödes hastighet med mineralogiska förändringar.

Undersökningen är starkt kopplad till berglaboratoriets huvudmål "Ta fram underlag och data för säkerhetsanalys".

**Metodik för förvarsutbyggnad** syftar till att demonstrera hur utbyggnad av ett förvar ska ske. I sam-

band med byggandet av ett slutförvar är det nödvändigt att genomföra ett antal undersökningar för att få slutligt underlag för utformning av förvaret och försegling av förvaret och för att få underlag för den slutliga säkerhetsanalysen av det utbyggda förvaret. Genomförandet av undersökningarna är beroende på valet av system för slutförvaret. Nedanstående beskrivning är dock baserat på att ett slutförvar anläggs på ca 500 m djup med en principiell uppläggning enligt KBS-3-metoden och beskriver framförallt den karakterisering som behövs för förvarets närområde. Enligt KBS-3 definieras närområdet som "det område kring kapseln, där förvaret och dess komponenter direkt påverkar nuklidspredningen då kapseln genombrutits. Påverkan kan vara av kemisk, hydrologisk eller mekanisk art. Närområdets utsträckning varierar i tiden och kan inte exakt anges men kan praktiskt anses sträcka sig upp till något tiotal meter från kapseln". En omfattande erfarenhet har erhållits från tidigare SKB-studier beträffande instrument och metoder för karakterisering av närområdet. I första hand gäller detta resultaten från forskningssamarbetet i Stripa-projektet (radar, seismik och hydrauliska mätningar etc). Även erfarenheterna från undersökningarna av typområden har bidragit till att förbättra förmågan att karakterisera närområdet. Vidare har tunnelarbeten i Sverige och i utlandet givit många praktiska erfarenheter. Ovanstående erfarenheter till trots så saknas en fullständig demonstration av hur karakteriseringen av närområdet i ett slutförvar genomförs. Målet med "Metodik för förvarsutbyggnad" är att i naturlig skala demonstrera hur karakteriseringen av närområdet genomförs i ett slutförvar enligt KBS-3. Undersökningen kan delas in i följande delmål.

- Utveckla strategi för karakterisering av närområdet.

- Demonstrera i en lämpligt vald bergvolym hur karakteriseringen genomförs.
- Visa på flexibiliteten kan uppnås i ett förvarssystem, dvs anpassning av deponeringstunnlar och deponeringshål till bergets egenskaper.

Avsikten med undersökningen är vidare att karakterisera den bergvolym där undersökningen som beskrivs i Bilaga C7 "Pilotförsök förvarssystem" kommer att genomföras.

Förutom metodik för att karakterisera närområdet, krävs teknik för tunneldrivning, håltagning av kapselhål, metoder för injektering m m. Dessa behov är identifierade men genomförandet har inte planerats. Det förutses att sådan planering genomförs senare. Ovanstående försök kan dock inte genomföras innan principerna för utformning av ett förvar har fastlagts i mitten av 90-talet. Undersökningen är av naturliga skäl starkt kopplad till berglaboratoriets samtliga huvudmål samt till etappmålet "Demonstrera bygg- och hanteringsmetoder".

**Pilotförsök-förvarssystem** är en serie av pilot- och demonstrationsförsök som genomförs efter det att huvudprinciperna för förvarsutformning och -system fastlagts i mitten av 90-talet. Målet för försöket är att genom klarläggande av samverkan mellan berg och slutgiltigt valda buffertar, under förhållanden som råder i deponeringsanläggningar, validera modellerna och demonstrera funktionen. Vidare är syftet att utveckla och pröva metoder och strategier för deras anbringande. Pilotförsöken är starkt kopplade till huvudmålet "Vidareutveckla och demonstrera metoder för projektering och byggande, samt till etappmålen "Demonstrera bygg- och hanteringsmetoder", samt "Pröva viktiga delar i förvarssystemet".

Försöket ger underlag inför ansökan om byggnadstillstånd.



provtagning i borrhål ska kunna genomföras under anläggningstiden.

Metod för utsprängning av kommunikationsväg till 500 m djup med samtidig undersökning av bergmassan och grundvattensituationen ska planeras och utvecklas inför det framtida byggandet av slutförvaret.

## A 2 GENOMFÖRANDE

Förundersökningsskedet genomförs som ett projekt med projektledare och ämnesansvariga för geologi, geohydrologi, kemi, instrument, fältarbeten och anläggningsarbeten. För planering av arbetet finns en programgrupp som sammanställer programmet med stöd av projektets ämnesansvariga. En särskild referensgrupp yttrar sig över program och resultat.

Med programmet som grund definieras objektplaner av de ämnesansvariga. Objekten upphandlas av SKB. Resultat redovisas sedan på engelska i Progress Reports. Dessa Progress Reports utvärderas och sammanfattas av de ämnesansvariga för geologi, geohydrologi och kemi. Utvärderingen redovisas i SKBs serie Technical Reports för varje etapp i förundersökningsskedet.

I SKB TR 88-16 redovisas utvärderingen av de undersökningar som skedde under 1986 och 1987. Rapporten redovisar arbeten som gjordes innan kärnboring av undersökningshål påbörjades.

SKB TR 89-16 redovisar en utvärdering av de undersökningresultat och beräkningar som i huvudsak genomförts under 1988. Här ingår bl a resultat från fyra kärnborrhål, totalt 3109 m. Vidare ingår en jämförelse med de beskrivningar som lämnades i SKB TR 88-16.

Vintern 1988/89 inleddes den sista, planerade borrhåsetappen under förundersökningsskedet. Dessa resultat presenteras under 1990.

## A 3 UNDERSÖKNINGAR FÖR LOKALISERING OCH INFÖR BYGGNADSSKEDET

Som underlag för lokalisering och för kommande studier har undersökningar skett i flera olika skalor, både regionalt och lokalt. Undersökningarna inriktades relativt omgående på en lokalisering nära Simpevarp som med sin infrastruktur erbjuder särskilt goda förutsättningar.

Undersökningarna för berglaboratoriet i Simpevarpsområdet påbörjades hösten 1986 med flyggeofysiska mätningar över ett område av 825 km<sup>2</sup>. Tyngdkraftsmätningar genomfördes med en täthet av omkring en station per km<sup>2</sup>. Översiktliga markgeofysiska profiler kompletterade den flyggeofysiska undersökningen på öarna Ävrö och Äspö samt i Laxemarområdet. Lineament i Simpevarpsområdet har tolkats med utgångspunkt från digitala terrängmodeller och jämförts med den topografiska bilden av flygmagnetiska lineament. Bergmassan har karterats i skala 1:10 000 i

ett område närmast Simpevarp och i skala 1:50 000 i ett större område.

Bergbeskrivningen i regional skala visar att Simpevarpsområdet huvudsakligen består av granitisk berggrund, Smålandsgranit, med inslag av basiska bergarter, grönstenar. Informationen från de geologiska och geofysiska undersökningarna visar en tektonisk bild av Simpevarpsområdet som domineras av ett nästan ortogonalt system av första ordningens sprickzoner i N-S respektive E-W riktning. Vid sidan av detta system finns en andra ordningens zoner i riktning NW och NE som också bildar ett nästan ortogonalt system. Det finns också troligen flacka, subhorisontella zoner.

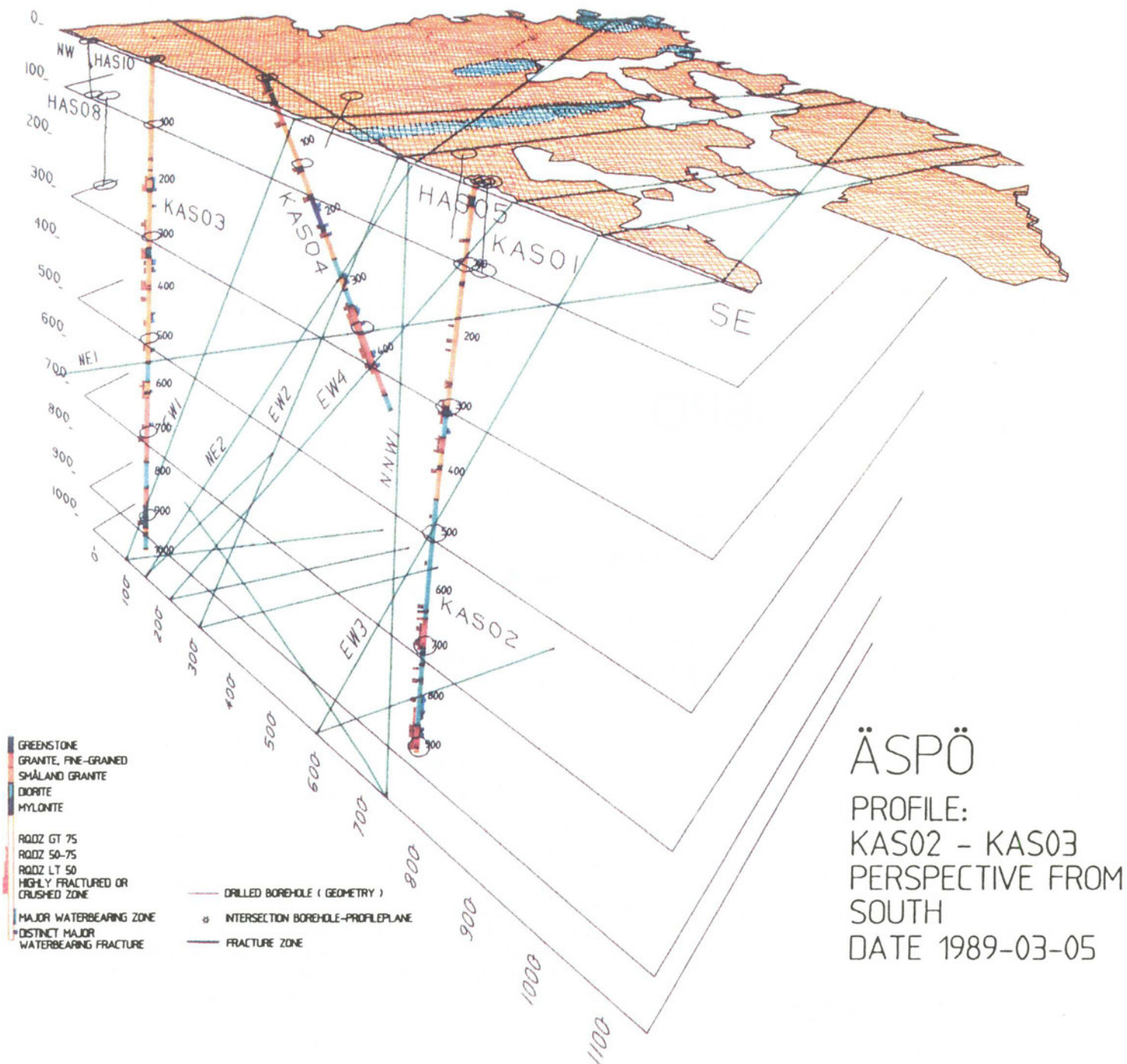
Denna regionala modell har granskats av SKN som därefter önskat kompletterande studier. Dessa utvidgade regionala studier genomförs hösten 1989. Ändringen av laboratoriets utformning som innebär att tillfartstunnelns påslag placeras på Simpevarp istället för Äspö ger också möjligheter att studera en större zon som indikerats mellan Simpevarp och Äspö.

Några belägg för att subhorisontella zoner dominerar området kring Äspö finns ej för närvarande. Av betydelse för geohydrologiska modeller har varit att Simpevarpsområdet omges av yngre, granitiska diapirer som även antas underlagra Simpevarpsområdet på stort djup.

Bergbeskrivningen i lokal skala har koncentrerats till Laxemarområdet och Äspö där mer detaljerade undersökningar genomförts. De geohydrologiska undersökningarna i den första etappen omfattade analyser av bl a brunnsdata och hydraultester i hammarborrhål. I en andra fas har fyra kärnborrhål utförts varav de djupaste ned till 1000 m djup. Förutom mycket kvalificerad kärnkartering har det genomförts omfattande geofysiska mätningar, hydrotester i flera skalor och vattenkemianalyser. På Äspö har ingående ytundersökningar genomförts bl a med hjälp av seismiska profiler, hållkartering, markgeofysiska mätningar och interferenstester mellan borrhålen. Resultaten av undersökningarna har visat att lämpliga förlägningsplatser för berglaboratoriet borde finnas både på Äspö och i Laxemarområdet. Äspö kan indelas i tre geologiska enheter, det norra blocket, det södra blocket och däremellan en bred skjuvzon med inslag av mylonit. Zonen, benämnd Mylonitzonen, är orienterad ONO-NO. Att döma av det kärnborrhål som utförts på södra Äspö är Smålandsgraniten dominerande bergart. Visst inslag av krosszoner kan förväntas ned till ca 300 m djup där bergmassan övergår i en kvartsfattig variant av Smålandsgranit, benämnd diorit, som förefaller vara betydligt tätare än det överliggande berget. Sprickzonerna har till övervägande delen belagts med hydrauliska mellanhålmätningar och reflektionsseismik.

För lokalisering av berglaboratoriet har södra Äspö föreslagits. Undersökningresultaten har presenterats i SKB TR 89-16. Där framgår bl a följande:

Från markytan ner till ca 315 m djup är huvudbergarten en Smålandsgranit. Under 315 m är diorit vanligast. Flera zoner av olika karaktär finns på Äspö, Figur A-1. Den centrala skjuvzonen har NE-lig riktning med nordlig stupning. NE 1 bedöms stupa 30° mot NNW. Zonerna EW 2 och 3 är öst-västliga med förmodad stupning 70° mot norr (EW 2) och nästan vertikal (EW



Figur A-1. Översikt av viktigare zoner på Äspö.

3). Zon NNW 1 bedöms stupa mellan  $55^\circ$  mot öster till vertikalt. Denna zon bedöms vara en viktig hydraulisk ledare. Smala vertikala zoner och subhorisontella zoner behöver även beaktas. Reflektionsseismiska undersökningar har indikerat möjliga subhorisontella zoner på ett djup av 300–500 m och 950–1150 m. De karakteriseras som ganska korta och osammanhängande. De kan möjligen knytas till bergartskontakten mellan granit och diorit, vilket även överensstämmer med de resultat som erhållits vid de transienta mellanålmätningarna.

De hydrauliska mätningarna av konduktivitet har skett med olika avstånd mellan manschetterna. Konduktiviteten och dess varians som funktion av bergart och mätskala har analyserats.

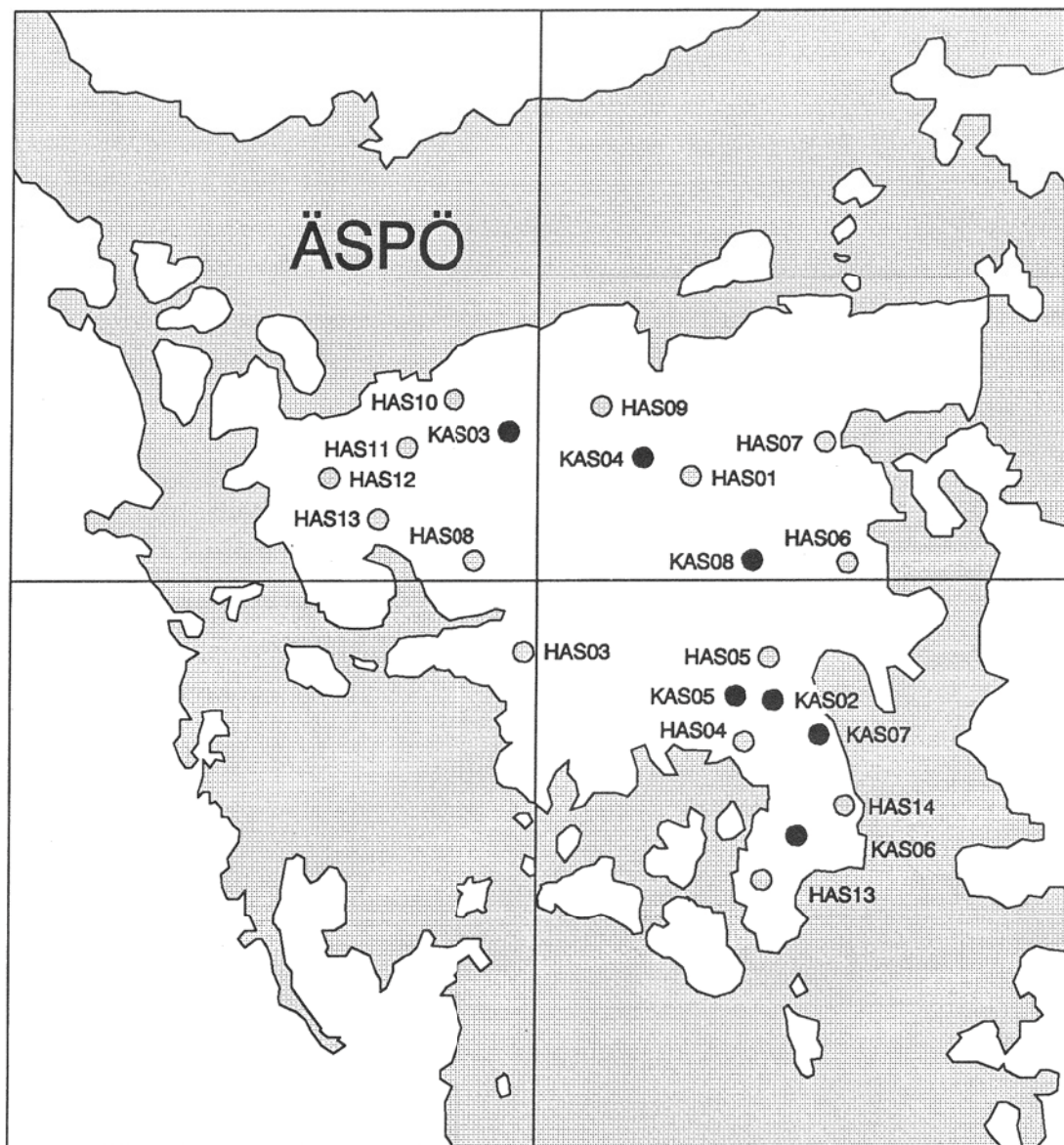
Provtagningar av grundvattnets kemi har skett både i brunnar, i hammarborrhål och i kärnborrhål. Av särskilt intresse är vattnets kloridhalt. Kloridhalten i det salta vattnet varierar från 3000 mg/l till 11000 mg/l. Kloridhalten i den omgivande Östersjön är 3000 mg/l. För 7000 år sedan var salthalten omkring 9000 mg/l. I borrhålen ökar kloridhalten med ökande borrhålsdjup, men ökningen är inte linjär. C-14 datering ger i kärnborrhålet KAS 02 en ålder på saltvattnet till 13000 år.

Den platsbeskrivning som återfinns i SKB TR 89-16 har sedermera kompletterats med ytterligare en borrhållsetapp omfattande fyra kärnborrhål (KAS 05-08) och två nya hammarborrhål (HAS 13 och HAS 14), se Figur A-2.

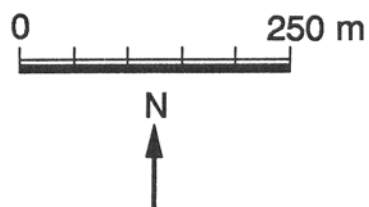
Ett avslutande långvarigt pumpförsök utförs under sommaren. Pumpningen syftar till att simulera inverkan från bergtunnlar. Mätning av grundvattentryck sker på samtliga tillgängliga observationspunkter i området. Mätresultaten används dels till att stämma av en preliminär numerisk modell av området, dels till att

kalibrera förbättrade upplagor av modeller över området. Innan pumpningen startas skall därför en första etapp av den prediktiva modelleringen vara genomförd.

I undersökningarna ingår att dokumentera förhållandena i området innan byggandet startar. Till det



- Kärnborrhål
- Hammarborrhål



SKB Underjordiskt Berglaboratorium

Figur A-2. Översikt av borrhål på Äspö.



Tabell A-1. Översikt av genomförda och planerade undersökningar under förundersökningsskedet.

AKTIVITET	HUVUDRAPPORTER		
	SKB TR 88-16	SKB TR 89-16	Att tryckas under 1990
<b>GEOLOGI</b>			
Flygeofysik .....	●		
Gravimetri .....	●		
Lineamentstudier .....	●		
Bergkartering .....	●	●	●
Sprickkartering .....	●	●	●
Tektonik .....	●	●	●
Petrofysik .....	●	●	●
Markgeofysik .....	●	●	●
Refraktionsseismik .....	●	●	
Reflektionsseismik .....	●	●	
Hammarbörning, loggning			
— HAS 01—07, HAV 01—08, .....	●		
— HLX 01—07 .....			
— HAS 08—12, HLX 01—07 .....		●	
— HAS 13—15 .....			●
Kärnbörning, kartering, loggning			
— KAS 02—04, KLX 01 .....		●	
— KAS 05—08 .....			●
Bergspänningar .....		●	
Bergmekanik .....			●
<b>GEOHYDROLOGI</b>			
Analys av regionala brunnodata .....	●		
Sammanställning av geohydrologiska data från anläggningsarbeten .....	●		
Hydrologi .....	●		
Pumptester i hammarborrhål			
— HAS 01—08, HLX 01—07, .....	●		
HAV 01—08 .....			
Hydrauliska tester i kärnborrhål			
— KAS 02—04 .....		●	
— KAS 05—08 .....			●
Mellanhålstester			
— KAS 02, KAS 04 .....		●	
— KAS 05—08 .....			●
Flödesmätningar i borrhål .....			●
Långtidspumpning, LTP .....			●
Numeriska modeller			
— generisk avsänkning .....	●		
— 2D regional .....		●	
— 3D regional .....		●	
— gränssnitt söta/salta vatten .....		●	
— 3D anläggningsskala .....			●
— Prediktion av LTP .....			●
— Avsänkingsberäkning .....			●
— Nätverksmodell .....			●

Forts

Tabell A-1. Översikt av genomförda och planerade undersökningar under förundersökningsskedet. (Forts)

AKTIVITET	HUVUDRAPPORTER		
	SKB TR 88-16	SKB TR 89-16	Att tryckas under 1990
<b>GRUNDVATTENKEMI</b>			
Analys av regionala brunnsdata	●		
Ytlig grundvattenkemi	●		
Detaljerad karakteri- sering av grundvatten — KAS 02—04, KLX 01		●	
Karakterisering av Radium och Radon i ytvatten			●
Djupa grundvatten i Äspö och Laxemar grundvatten KAS 05—08			●
Spårförsök vid LTP			●
Prediktiv modellering av spårförsök LTP			●
<b>BESKRIVANDE MODELLER AV GEOLOGI, GEOHYDROLOGI OCH GRUNDVATTENKEMI</b>			
— Regional Skala	●		●
— Anläggningskala	●	●	●
— Blockska	●	●	●
— Detaljskala			●

som skall dokumenteras hör vattenomsättningen på större djup. Omsättningsmätningar i borrhål utföres med utspädningssteknik. En förutsättning är dock att inte några andra undersökningar som stör utföres samtidigt. I den tidigare utförda modelleringen görs ett antal utsagor om grundvattenomsättningen under naturliga förhållanden. Utspädningsmätningarna kan därför ses som en validering av dessa. Ett kvalificerat spårförsök genomförs innan byggnadsskedet påbörjas för att ge ytterligare information om grundvattnets flödesvägar.

En översikt av genomförda och planerade undersökningar redovisas i Tabell A-1.

De hittills genomförda undersökningarna visar att Äspö ger förutsättningar för vetenskapliga experiment av stort intresse för ett säkert slutförvar. Vidare ger Äspö även förutsättningar för att det kvalificerade anläggningsprojektet kan genomföras med gott resultat. Med hänsyn till framtida försök är det en fördel att olika typer av bergarter och zoner kan studeras i berglaboratoriet. Denna variation finns på Äspö med omgivning.

De grundvattenkemiska förhållandena på Äspö är också representativa för dem som råder vid kustnära förläggning av en berganläggning. Grundvattnet är

sött i de ytnära delarna och salt på större djup. Platsen ger vidare möjlighet att genomföra experiment under byggnadsskedet med god tolkbarhet.

## A 4 BERÄKNINGAR OCH PREDIKTIONER FÖRE BYGGNADSSKEDET

Under förundersökningsskedet genomförs ett stort antal geologiska, geohydrologiska och grundvattenkemiska undersökningar på Äspö och dess omgivning. Undersökningarna, som genomförs på markytan och i borrhål ner till ca 1000 meters djup, syftar till att beskriva berggrundens karaktär och egenskaper i nuvarande stationära skede. I förundersökningarna mynnar denna karakterisering etappvis ut i förväntningsmodeller över de förhållanden som råder under markytan ner till ca 500 meters djup. Vidare upprättas förväntningsmodeller över de förändringar som sker i berggrunden orsakade av de tunnlar och schakt som sprängs ut för berglaboratoriet. Förväntningsmodellerna upprättas i skilda geometriska skalor varierande från km-skala ner till m-skala. Regionala transmissiva

zoner beskrivs i km-skala medan förväntningsmodeller i 500 meters skala upprättas för att kunna beskriva de storskaliga egenskaperna och karaktären av berggrunden kring berglaboratoriet. Närområdet kring tunnlar och schakt beskrivs i förväntningsmodeller i 50 meters skala medan prediktioner ner till 5 meters skala görs för att påvisa möjligheten att beskriva berggrundens karaktär och egenskaper kring exempelvis deponeringshål.

Numeriska beräkningar görs över den naturliga grundvattensituationen och över den inverkan som berglaboratoriet har på grundvattensituationen. Dessutom sker vissa principiella numeriska studier. En beskrivning av principer för geologiska, geohydrologiska och grundvattenkemiska valideringar kommer att redovisas i en särskild rapport som är under arbete. Prediktioner sätts upp i olika skalor:

- regionalskalan,  $\gg 1000$  m,
- anläggningsskalan, 100—1000 m,
- blockskalan, 10—100 m,
- detaljskala, 0—10 m.

För varje skala definieras vilka prediktioner som ska upprättas, en kvalitativ/kvantitativ bedömning av väntat utfall, grund för validering samt vilken mätnoggrannhet som eftersträvas. Prediktionerna för varje skala grupperas efter forskningsområden och utmynnar i prövning av beskrivande modeller, vattenomsättning, kemisk miljö, transport av lösta ämnen i grundvatten samt bergets mekaniska stabilitet under byggnadstiden.

Beräkningar jämföres innan byggnadsskedet påbörjas mot tryck- och flödesmätningar i borrhål och mot grundvattenkemiska data, framförallt vattnets salthalt. Under byggnadsskedet utvärderas de geologiska, geohydrologiska och grundvattenkemiska prediktioner som upprättas under prediktionsetappen. I det följande beskrivs framförallt principiella och prediktiva numeriska modeller.

Numerisk modellering innefattar olika steg. Nomenklaturen för dessa steg kommer att definieras klart i en rapport som håller på att utarbetas. I det följande görs en preliminär redovisning.

**Verifiering** innebär ett kontrollförfarande av att ett datorprogram som sådant räknar rätt på det fysikaliska problem man avser att lösa. Verifiering av programmen sker mot exakta analytiska lösningar och genom jämförelser mellan olika program. I fortsättningen förutsätts att de program som kommer att användas vid beräkningar för berglaboratoriet är dokumenterade och verifierade. I vissa fall kan verifieringskontroller vara nödvändiga att utföra som en del av ett modelleringsarbete, som t ex kontrollvolymsberäkningar av massbalansfel.

**Kalibrering** är en process där man anpassar en (numerisk) modell efter i fält uppmätta storheter. Data att kalibrera mot kan vara uppmätta grundvattentryck och flöden. Mätningarna kan vara utförda vid ostörda förhållanden och under störda förhållanden i samband med prov. Modellens godhet kan mätas i väntevärde för modellavvikelsen och dess varians. Kalibreringen utgör en mer eller mindre metodisk process för att minimera avvikelsen och dess varians. En kalibre-

rad modell kan således sägas ha en viss noggrannhet.

**Prediktering** är att utnyttja en kalibrerad modell för förutsägelser om framtiden. Förutsägelserna kan t ex gälla flöden, grundvattentryck och flödestider. Man kan inte förvänta sig bättre noggrannhet hos en prognos än hos den kalibrerade modellen. För prediktionen skall gränser för dess avvikelser och varians anges.

**Validering** är att på ett systematiskt sätt jämföra en prediktion med verkligt utfall. Det verkliga utfallet kan vara naturliga förhållanden eller någon kontrollerad störning. Hur och mot vilka data valideringen skall ske redovisas i prognos och valideringskriterier innan det verkliga utfallet mätes. För en validerad modell uppfylls således prognosen med den på förhand angivna noggrannheten. I validering ingår också att kritiskt granska underliggande processer och en (subjektiv) bedömning av om prediktionen är tillräckligt bra.

I den första utvärderingen, TR 88-16, redovisades en karakterisering av berggrunden i regional skala i Äspöskala och i flera block med 50 m kantlängd. I samma rapport redovisades en principiell beräkning av avsänkningen för en schakt- och en tunnlayout. Beräkningen var tredimensionell och genomfördes med analytisk elementteknik. Materialdata grundar sig på preliminära antaganden om bergets konduktivitet och djupberoende. Grundvattenflöden är beräknade med bergets hydrauliska konduktivitet som oberoende variabel. Med antagna randvillkor blir influensradien ungefär 2 km för en anläggning på 500 m djup.

Den regionala beskrivning som presenterades i TR 88-16 utgjorde bakgrund till en regional strömningsmodell och en principiell studie av gränssnittet mellan sött och salt vatten. Dessa numeriska studier har redovisats i TR 89-16.

Den regionala numeriska studien genomfördes i två och tre dimensioner med finit elementteknik. Tryckbild och flödesmönster visades i regional skala. För att kunna ansätta randvillkor för en subregional skala modellerades berglaboratoriets inverkan. Hydrauliska enheter i den tvådimensionella modellen — 28 km lång — baserades på en gravimetrisk profil som visade bergartsfördelning mot djupet. Beräkningar skedde för konstant och för avtagande konduktivitet mot djupet med och utan berglaboratoriet inlagt. Resultaten visade att en tredimensionell modell bör ha en horisontell utbredning av ca 3 km runt berglaboratoriet för att detta inte ska påverka ränderna.

I den tredimensionella modellen utnyttjades också en enkel bergartsindelning. Två beräkningsfall genomfördes — med och utan berglaboratorium inlagt. Överensstämmelse mellan tryckbild i modell och verklighet är tillfredsställande. Beräkningar av flöden och flödesbanor får dock ses som illustrationer.

En principiell studie av gränsskiktet mellan sött och salt vatten har presenterats i TR 89-16. I Äspöområdet finns det vatten med en salthalt som är högre än Östersjöns och som underlagrar sött vatten. I den principiella modellen simuleras vattenomsättningen och saltvattenfrontens läge i en tvådimensionell finit differensmodell. Programmet har verifierats mot publicerade problem som ingått i HYDROCOIN-projektet. Inverkan av horisontella och vertikala strukturer har undersökts. I studien har även gränsskiktets stabilitet under-

sökts för olika antaganden om slumpmässiga variationer i den hydrauliska konduktiviteten. Konduktiviteten har antagits vara lognormalfördelad. Inverkan av olika varians på materialet har analyserats.

Under sommaren 1989 genomförs ett stort pumpförsök som beskrivits ovan. Detta försök föregås av prediktiv modellering. Inför pumpningen skall inflöde till borrhålet och avsänkningen i olika observationspunkter beräknas. I arbetet ingår att ställa upp en numerisk modell i 3D av sydöstra Äspö med omgivningar, att kalibrera modellen mot geologiska, geofysiska och geohydrologiska data samt att förutsäga vad som kommer att hända vid pumpningen. Kalibrering kan ske mot uppmätta grundvattennivåer från området och uppmätta flöden och avsänkningar från utförda mellanhålsmätningar. Validering av modellen skall ske mot uppmätta avsänkingsdata från provpumpningen.

Vid den prediktiva modelleringen av långtidspumpningen skall som en orienterande del flödesbaneberäkningar från några valda punkter utföras. Dessa punkter kan ses som insläppspunkter för spårämnen vid ett spåröversök som kommer att genomföras separat under våren 1990.

Även spåröversöket kommer att predikteras. Transportmodelleringen innehåller dels ett prediktivt moment, som representeras av flödesbaneberäkningar, där förutsägelser ges av var spårämnen injicerade på olika punkter kommer att inträda i pumphålet. Denna del går att validera mot data från spåröversöket. Vidare innehåller modelleringen ett kalibreringsmoment, där genombrottskurvor från spåröversöket används för att kalibrera transport- och spridningsparametrar för de konstaterade strömbanorna. Spåröversöket ger underlag för att planera spåröversök under byggnadsskedet.

Modellering av långtidspumpningen och spåröversöket görs både med finita elementmetoden, där berget betraktas som ett heterogent kontinuum, och med finit differensmetod. Den senare modellen är en platspecifik fortsättning på de principiella studier som genomförts av gränsskiktet mellan sött och salt vatten. För denna modell definieras ett antal litologiska och strukturella enheter, vilka tilldelas en konduktivitetsfördelning för ett stokastiskt kontinuum. För att kontrollera modellernas stabilitet utförs därefter simuleringar med olika genererade stokastiska fält och med ökande varians.

En numerisk modell över laboratoriet och dess närområde under olika stadier av dess utbyggnad ingår som en viktig del av den platspecifika förväntningsmodellen. Denna modell kan ses som en direkt fortsättning på de ovan nämnda studierna för pumpförsöket. Modellen skall ställas upp med den geometri för laboratoriet som följer av projekteringshandlingarna. Beräkningarna genomförs antingen med finit elementteknik eller differensmetod. För inflödesberäkningarna antas att en sk skinzon med mindre vattengenomsläpplighet finns i omedelbar anslutning till nedfartstunneln. Inflöde och avsänkning beräknas för olika stadier av nedfartsutbyggnaden. Modellen kalibreras mot uppmätta grundvattennivåer, hydrauliska mätningar och långtidspumpningen. Prognosen valideras

mot händelseförloppet under byggnadsskedet, se vidare Bilaga B 3.

Ett problem av något annorlunda karaktär är att upprätta modeller för hur flödet fördelar sig under naturliga förhållanden på laboratoriedjupet. Problemet har betydelse för beräkning av förbiflödet kring deponerat avfall. Modelleringen sker med en nätverksmodell som tar hänsyn till de individuella sprickorna och skall tillämpas i blockskalan med kantlängden 50 m. Utgångspunkt är den geologiskt-tektoniska bild som beskrivs i TR 89-16 och det arbete som genomförs sommaren 1989 för att korrelera geologi och geofysik med konduktiva strukturer. Basdata i form av sprickkarteringar och samutvärderade hydrauliska mätningar skall föreligga. Modelleringen är tänkt att ske så att flödesfördelningen kring utplacerade kapslar beräknas. Som drivande kraft för flödet utnyttjas de gradienter, som beräknats vid regionala och anläggnings-specifika modeller under opåverkade förhållanden.

Modellen valideras under förundersökningsskedet mot utspädningsmätningar som utförs efter långtidspumpningen fram till byggstart.

## A 5 UTFORMNING AV LABORATORIET

Under 1987 studerades alternativa utformningar av berglaboratoriets underjordsdel. Resultaten visade att en tunnelramp var att föredra framför en schaktsänkning. Tunnelalternativet ger större möjligheter till insamling av data och karakterisering av bergmassan i enlighet med ett av huvudmålen för forskningsprogrammet.

Jämförelsen mellan tunnel och schakt gjordes på fyra olika bedömningsgrunder:

### Insamling av data och karakterisering av berget

Möjlighet till insamling av data och karakterisering av bergmassan är väsentligt bättre i ett tunnelalternativ. En tunnel kommer genom sin utbredning att skära igenom en betydligt större bergmassa än ett schakt. Härigenom fås en betydligt bättre möjlighet att kontrollera fullständigheten i de gjorda förundersökningarna. Att vattenvägar är lokaliserade är fundamentalt för att kunna genomföra valida beräkningar och i ett senare skede kunna tolka spåröversök. Den blottade ytan är i en tunnel större än för ett schakt. Detta ger större möjligheter till karakterisering av bergets tredimensionella spricksystem. Brantstående zoner kan studeras på en eller flera nivåer. Det är också väsentligt enklare att anordna försöksplatser i en tunnel. Vad avser spåröversök utförs dessa normalt från flera injektionspunkter till en detektions- och provtagningspunkt. En allvarlig begränsning med sådana försök är att de inte kan utnyttjas för att bestämma transporten till en punkt, som ej kan övervakas (med mätinstrument). I en tunnel kan spåröversök ske till ett godtyckligt antal punkter längs hela tunneln. Detektionspunkterna blir utspridda i en

relativt stor volym av berget. Spårämnen som injiceras i omgivande hål detekteras vid genombrott.

#### **Metoder och kunskaper för numerisk modellering samt validering av beräkningar**

Schaktalternativ är lättare att modellera numeriskt. Det är dock angeläget att utveckla beräkningsmodellerna, eftersom ett framtida förvar kan få komplicerad geometri, både vad avser förvarsutrymmen och tillfart. Ett schaktalternativ innebär också en relativt komplicerad geometri om det tas hänsyn till ventilationsstig, mellannivåer m m. Validering av beräkningar sker t ex genom att mäta inflödet till anläggningen. Båda alternativen ger möjligheter till detta men mätningen är mer komplicerad för schaktalternativet. Alternativen bedöms likvärdiga.

#### **Tidplan, metodutveckling och kostnader för undersökningar och bygge**

Tunnelalternativet påverkar grundvattensituationen i ett större område och därmed blir undersökningsinsatsen större både under förundersöknings- och byggnadsskedet. Tidplan och byggkostnad är förmånligare för ett tunnelalternativ ner till 500 m. För 500 m är skillnaden mellan alternativen inom felmarginalen. Tillfart till ett förvar kan ske med tunnel eller schakt. I t ex USAs avfallsprogram sker tillfarten till det planerade förvaret med tunnel. Detta kan även vara att föredra för ett svenskt slutförvar. En tunnel ger betydligt

högre flexibilitet i undersökningar och utbyggnad. Alternativen tunnel eller schakt bedöms likvärdiga.

#### **Drift av anläggningen**

Personkommunikationer förutsättes i båda fallen ske via hiss. För transport av material är en tunnel att föredra. Ventilation och länshållning blir dock billigare för ett schaktalternativ. För kommande forskningsuppgifter ger en tunnel stor flexibilitet att åstadkomma försöksplatser i olika typer av bergarter och sprickzoner. Tunneldrivningen kan även utnyttjas för att bygga upp den kunskap som behövs för att utnyttja en tunnel som medel att karakterisera närområdet. Vid framtida spårförsök är det av vikt att berget är ordentligt karakteriserat och att randvillkoren är under kontroll. Dessa krav är de samma både för tunnel- och schaktalternativ, men bör vara lättare att genomföra i ett tunnelalternativ. För ett slutförvar förutses att horisontella tunnlar kommer att byggas. Det är angeläget att teknik för karakterisering och successiv berganpassning utvecklas och prövas i berglaboratoriet. Forskningsbehov och enkel kommunikation med markytan talar således för en tunnel.

I augusti 1989 beslutade regeringen att berglaboratoriet ska prövas enligt Naturresurslagen. I anslutning därtill har SKB beslutat göra en viss ändring av laboratoriets utformning som minskar miljöeffekterna. I den nya utformningen placeras tunnelns påslag på Simpevarp istället för som tidigare planerats på Äspö.

## B PROGRAM FÖR BYGGNADSSKEDET — KARAKTERISERING AV BERGGRUNDEN OCH VALIDERING AV FÖRVÄNTNINGSMODELLER

### B 1 ALLMÄNT

Under förundersökningsskedet genomförs ett stort antal geologiska, geohydrologiska och grundvattenkemiska undersökningar på Äspö och i dess omgivning. Undersökningarna, som genomförs på markytan och i borrhål ner till ca 1000 meters djup, syftar till att beskriva berggrundens karaktär och egenskaper i nuvarande stationära skede. I förundersökningarnas slutskede sammanställs förväntningsmodeller över de förhållanden som råder under markytan ner till ca 500 meters djup. Vidare upprättas förväntningsmodeller över de förändringar som sker i berggrunden orsakade av de tunnlar och schakt som sprängs ut för berglaboratoriet.

Under byggnadsskedet genomförs undersökningar för att validera förväntningsmodellerna och ge data för att stegvis förbättra tidigare utförda prediktioner. Undersökningarna genomförs dels längs nedfartstunnelns ytor, dels i borrhål från markytan och dels från tunneln. Eftersom gynnsamma egenskaper hos berggrunden närmast deponeringshål och deponeringstunnlar har relativt sett störst betydelse för säkerheten av ett slutförvar, är det väsentligt att detaljeringsgraden av undersökningarna under byggnadsskedet ökas efterhand. Undersökningar på den kommande driftnivån, ca 500 m under markytan, blir mer detaljerade än i början av tunneldrivningen. Arbetena under drivningen av tunnelnedfarten delas därför in i etapper enligt nedan.

**Etapp 1** Drivning av tunnelnedfarten till ca 350 meters nivå. Där förväntas man gå igenom den granitiska bergarten och komma in i den dioritiska. Vid denna nivå görs upp till sex månaders uppehåll för att sammanställa och utvärdera mätdata och övriga resultat. Dessa resultat ger underlag till en uppdatering av förväntningsmodellerna för de djupare liggande delarna av bergla-

boratoriet. Samtidigt görs också en utvärdering av strategi och använda mätmetoder för de genomförda undersökningarna ner till ca 350 meters nivå. Under denna etapp genomförs också drivningen av schakt mellan markytan och ca 350 meters nivå och i nära anslutning till nedfartstunneln.

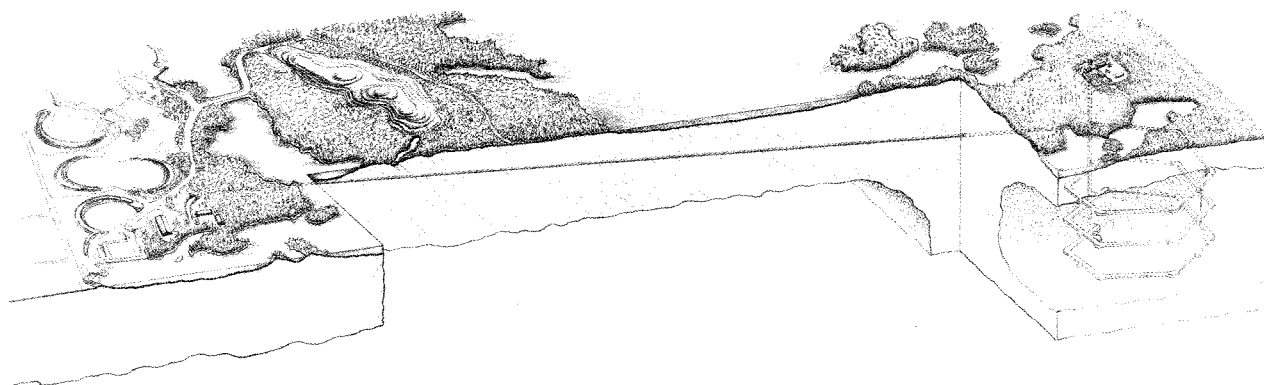
**Etapp 2** Drivning av tunneln ned till ca 500 meters nivå. Undersökningarna längs denna sträcka blir mer detaljerade än tidigare för att bättre kunna beskriva närområdet kring nedfartstunneln. Vid ca 500 meters nivå avbryts tunneldrivningen och erhållna resultat sammanställs, utvärderas och jämförs med tidigare upprättade förväntningsmodeller. Insamlade data ger återigen underlag för en ytterligare förbättrad förväntningsmodell över driftområdet samtidigt som undersökningsstrategi och mätmetoder utvärderas. Etappen avslutas med karakterisering av försöksområden för några av de försök som genomförs under driftskedet samt fortsatt drivning av schakt ner till ca 500 meters nivå.

Om senare undersökningar inom ramen för det allmänna forskningsprogrammet skulle visa att slutförvaret bör förläggas djupare än ca 500 m så kan ytterligare utbyggnad av berglaboratoriet till större djup bli aktuell.

Nedan ges en översiktlig beskrivning av geologiska, geohydrologiska och grundvattenkemiska arbeten under byggnadsskedet.

Uppläggning och planering av undersökningarna har gjorts under följande antaganden.

— Påhugget av nedfartstunneln sker under 1990. Tvärsnittsarean är omkring 25 m<sup>2</sup>. Arbetet bedrivs i två skift med uppehåll för helger och semestrar.



Figur B-1. Tunnlar och schakt i berglaboratoriet.

- För detaljerade undersökningar av bl a sprickzoner tas 8 stycken sidotunnlar ut med en tvärsnittsarea på ca 20 m<sup>2</sup> (fri höjd minimum 3,5 meter) längs tunnelnedfarten, se Figur B-1. Sidotunnlarna, som antages få en längd av ca 40 meter, tas ut med försiktig sprängning. Längden av nedfartstunneln är ner till ca 500 meters nivå ca 3250 meter och tillsammans med sidotunnlarna är totala längden tunnel knappt 3600 meter.
- Med ett antaget påhugg under 1990 och uppehåll för semester och helger så är tunneldrivningen nere på ca 350 meters nivå under 1992. Efter upp till 6 månaders uppehåll fortsätter så drivningen enligt ovanstående antaganden och har nått ner till ca 500 meters nivå under 1993.
- Schakt (ventilation, el, nödutrymning etc) ger ytterligare en förbindelse mellan bottennivån och markytan. Schakt får en tvärsnittsarea på ca 10 m<sup>2</sup>.
- Under den andra byggnadsetappen tas tunnlar ut för allmänna anordningar och för de utrymmen som behövs för att genomföra blockskaliga spår-försök, radionuklidmigrationsförsök och redoxförsök. Undersökningarna antas i huvudsak genomföras på ca 500 meters nivå, dvs en enda nivå. Inbegripet tidsåtgången för iordningställandet av schakt och övriga anordningar nödvändiga för driften av laboratoriet så antas byggnadsskedet vara avslutat under 1994.

500 m-nivån är ännu inte detaljutformad. I en ytterligare byggnadsetapp omkring 1998 förutses att anordningar för resterande försök färdigställs.

En SKB TR-rapport som skall redovisa utvärderingen av den prediktion som upprättats för berget ner till 350 m djup planeras till 1992. Vidare skall det framgå hur datainsamlingsmetodik eventuellt ska förändras inför byggnadsetapp 2. Före 1993 redovisas dessutom en TR-rapport med prediktion för berget under nivån 350 m. I denna rapport skall även redovisas hur metoderna för utvärdering eventuellt skall förändras.

## B 2 GEOLOGISKA UNDERSÖKNINGAR

### B 2.1 Bakgrund och nuvarande kunskapsläge

Den snabbt tilltagande utbyggnaden av berganläggningar världen över har medfört en utveckling av framförallt geofysiska mätmetoder för undersökning och beskrivning av bergmassans egenskaper. De förundersökningar som normalt utförs i samband med projektering av tunnlar och berggrum är oftast begränsade till att relativt översiktligt lokalisera eventuella större svaghetszoner av betydelse för stabilitet och vattenföring i en anläggning. Dessa undersökningar ger mer sällan underlag för en allmän karakterisering av hela den orörda bergmassan. Av naturliga skäl utförs normalt ingen utvärdering av använda förundersökningsmetoder och utförda prediktioner i samband med utbyggnad av kommersiella berganläggningar. I ett fåtal forskningsprojekt redovisas resultat från slutsatser av

prediktioner vilka då genomgående är baserade på ett begränsat förundersökningsunderlag.

Viktigt är också att undersökningarna är begränsade till ett fåtal av de frågor som är aktuella för ett säkert slutförvar. Dessutom är de förundersökningsmetoder som utvecklats till övervägande del anpassade till en beskrivning av de relativt ytliga delarna av berggrunden (100—200 m) där flertalet berganläggningar byggs. Många av erfarenheterna från icke kristallin berggrund utanför Skandinavien är dessutom inte direkt överförbara till förhållandena i svensk kristallin berggrund.

Man kan sammanfattningsvis konstatera att ett flertal såväl geologiska som geofysiska metoder finns tillgängliga som hjälp för beskrivning av bergmassans sammansättning och struktur. De olika metodernas relevans såväl generellt som i den lokala geologiska miljön är emellertid ofullständigt dokumenterade. Speciellt gäller detta förhållanden på större djup i kristallin berggrund.

Nuvarande geologiska kunskapsläge beträffande Äspö baseras på ett omfattande förundersökningsprogram som utförts i två avslutade etapper och där den tredje pågår (1989), se bilaga A.

### B 2.2 Mål

De övergripande målen för den geologiska dokumentationen under byggnadsskedet kan sammanfattas enligt nedan.

- Utvärdera i vilken mån den använda förundersökningsmetodik har givit en riktig beskrivning av den rumsliga fördelningen av bergarter, större och mindre sprickzoner samt bergmassans sprickgeometri och — mineral i olika geologisk miljö och för olika djup.
- Fastställa olika undersökningsmetoders relevans vad gäller bergarter, strukturer, stabilitet och vattenföring med hänsyn till geologisk miljö och djupläge.
- Upprätta en god prognos för den geologiska miljön som påträffas under den andra byggnadsetappen och under utbyggnaden av driftnivån.
- Utveckla och pröva metodik för detaljerade geologiska undersökningar på kandidatplatser för slutförvar.

De geologiska undersökningarna under byggnadsskedet är starkt kopplade till berglaboratoriets etappmål "Verifiera förundersökningsmetoder" och "Fastställa detaljundersökningsmetodik".

Undersökningarna är av grundläggande betydelse för att pröva, utveckla och demonstrera de metoder och den teknik som behövs för de detaljerade platsundersökningarna. Speciellt gäller detta:

- prövning av olika geofysiska metoders relevans på olika djup i kristallin berggrund,
- prövning av metodik för att upprätta förväntningsmodeller av bergpolymer i olika skalor med påföljande validering,
- prövning av tillförlitligheten hos förväntningsmodellerna.

Dessutom är undersökningarna av grundläggande betydelse för planering av försök som genomförs under driftskedet.

### B 2.3 Utförande

Geologisk dokumentation av tunnlar, schakt och utförda borrhningar kommer att ske successivt i samband med anläggningens utbyggnad. Detta förutsätter en smidig samordning mellan bergdrivning och dokumentation. Strävan kommer att vara att kartera de data som är mest väsentliga i stoffen efter varje salva. För att göra detta moment så snabbt som möjligt karteras endast litologiska gränser och större strukturer. Dessa mäts in och koordinatsätts för att möjliggöra direktinlagring i dator. Fotodokumentation av stoffen kommer att genomföras efter varje salva. Kompletterande kartering görs vid senare tillfällen (helger, semestrar) när driften inte lägger hinder i vägen. Tunnelkarteringen sker med fältdator (Geomac eller liknande). All information lagras i dator på plats på Äspö för behandling i CAD-system. Lagringen i databas ska möjliggöra ett enkelt uttag av information som kan anpassas i form, format och snitt. Denna presentationsform är en nödvändig förutsättning för en effektiv utvärdering. Utvärdering av data förutsättes ske i takt med drivning och dokumentation. Detta är nödvändigt för att rapportering skall kunna ske etappvis i anslutning till de relativt korta uppehållen i tunneldrivningen efter varje etapp. Schakt dokumenteras innan montage sker.

Ovanstående gäller i första hand för Etapp 1, dvs för undersökningarna ner till ca 350 meters nivå. Erfarenheterna från denna första etapp sammanställs fortlöpande under utförandet och kan därför komma att påverka programmet under undersökningarnas gång. För undersökningarna i etapp 2 (ner till ca 500 meters nivå) gäller generellt att detaljeringsgraden i beskrivningen av de geologiska förhållandena i närområdet skall öka allteftersom avståndet till 500 m nivån minskar. Eftersom de resultat som erhålles från undersökningarna ner till 350 meters nivå i stor utsträckning styr uppläggningsplaneringen av den fortsatta verksamheten bedöms det inte nödvändigt att nu närmare i detalj precisera denna.

### B 2.4 Prediktioner

De geologiska förväntningsmodellerna görs i huvudsak med avseende på litologi och strukturer.

En beskrivning av vilka egenskaper hos berget som skall predikteras "kvalitativt eller kvantitativt" ingår i den sk "Valideringsrapporten" som kommer att publiceras som en Progress Report. Prediktioner görs i följande etapper.

- Innan drivningen av tunneln påbörjas upprättas prediktion för hela den aktuella bergvolymen.
- Innan etapp 2 påbörjas uppdateras prediktionen för bergvolymen under ca 350-meters nivå.
- Innan utsprängning av försöksområdet påbörjas uppdateras prediktionen ytterligare för driftnivån på ca 500-meters djup.

Prediktioner görs i olika blockskalor för olika geologiska miljöer. Strävan skall vara att definiera olika litologiska enheter (procentuell fördelning av olika bergartstyper längs tunneln, eller anvisade volymer) samt att beskriva bergmassans struktur avseende orientering och karaktär. Hit hör bergartskontakter, sprickfrekvens, sprickzoner och bergkvalitet. Bergartskontakter predikteras med avseende på antal och karaktär. Vad gäller karaktär beskrivs fogens täthet, uppkrossnings- och omvandlingsgrad, orientering och vattenföring. Sprickfrekvens omfattar sprickgrupper, -karaktär, -orientering, -mineral, samt längd. Sprickzonsbeskrivning omfattar bredd, längdutsträckning, karaktär, kontakter, lerinnehåll och eventuellt också vattenföring. Bergkvalitet beskrivs med någon bergklassificeringsmetod.

### B 2.5 Utvärdering

Utvärdering kommer att ske i nära anslutning till dokumentationen. Alla data från tunnelkartering och borrhningar samt eventuella geofysiska undersökningar sammanställs i beskrivande modeller som jämförs med tidigare upprättade förväntningsmodeller. Till stor del blir utvärderingen kvalitativ men strävan är att i största utsträckning använda kvantitativa parametrar.

### B 2.6 Rapportering

Sammanställning av erhållna resultat, jämförelser med och uppdatering av förväntningsmodellerna samt eventuella förslag till förändrad undersökningsmetodik kommer att presenteras vid uppehållen i tunneldrivningen vid ca 350 meters djup samt innan utsprängningen av 500 meters nivån. Rapporteringen integreras med de geohydrologiska och geohydrokemiska undersökningarna så att en så fullständig bild som möjligt erhålles av berggrundens karaktär och egenskaper.

### B 2.7 Anläggningsarbeten

Speciella anläggningsarbeten bedöms inte vara nödvändiga för den geologiska dokumentationen. Kompletterande undersökningar utföres från sidotunnlar och nischer som sprängs ut för andra ändamål.

### B 2.8 Förberedande FoU

Av stor vikt är att den metodik som skall användas för dokumentationen är väl utprovad när verksamheten startar. Eftersom kartering planeras ske enligt ett delvis nytt system bör en provningsperiod eftersträvas i en tunnel under utbyggnad. Erfarenheter från gruvindustrin bör också utnyttjas.

Förberedande FoU inleds med att en objektplan upprättas som i detalj beskriver vad som ska dokumenteras i berglaboratoriet, hur databasen ska utformas,



vilka praktiska metoder för datainsamling under jord som ska prövas, hur data ska presenteras m m samt ett förslag till pilotstudie för att pröva hela kedjan från datainsamling till redovisning av insamlade data.

Under hösten 1989 genomförs en pilotstudie i en berganläggning under utbyggnad som skall redovisas under våren 1990. Detta prov omfattar följande delmoment.

- Praktiska moment vid själva karteringen som t ex. koordinatinmätning, användning av fältdator m m.
- Lagring av information. Digitalisering av data. CAD-ritning.
- Presentation av data i en form som möjliggör och förenklar utvärderingen (CAD-program).

Inom ramen för pilotstudien definieras hur vattenläckage skall karteras. Pilotstudien bildar bas för de detaljerade instruktioner och den utbildning som inleddes sommaren 1990.

## **B 3 GEOHYDROLOGISKA UNDERSÖKNINGAR**

### **B 3.1 Bakgrund och nuvarande kunskapsläge**

Under förundersökningsskedet har en mängd geohydrologiska data samlats in från yt- och borrhålsundersökningar på Äspö med omgivning. Avsikten med dessa undersökningar har varit att bestämma de nuvarande geohydrologiska förhållandena på Äspö samt att i förväntningsmodeller i olika skalor beskriva berglaboratoriets inverkan på dessa förhållanden.

Förundersökningarna har bl a gett besked om läget för och geometrin hos litologiska och strukturella enheter i det undersökta området. Ett stort antal hydrauliska mätningar i och mellan borrhål har utförts för att bl a bestämma läge, riktning, utbredning och konduktivitet hos goda grundvattenledare i berggrunden. Grundvattennivå- och grundvattentryckmätningar har genomförts på Äspö och på Ävrö och Laxemar. Dessa mätningar kommer att fortsätta under byggnadsskedet. Ytterligare hydrologiska data har erhållits från en meteorologisk station i Simpevarp. Dessutom har resultaten från de grundvattenkemiska undersökningarna gett underlag för den geohydrologiska karakteriseringen av området. Vidare har ett långtidspumpförsök utförts på Äspö (sommaren 1989) för att simulera berglaboratoriets inverkan på de geohydrologiska förhållandena. Innan pumpningen prognoseras förändringar i tryck och flöde i en förväntningsmodell.

De genomförda undersökningarna har visat att det på Äspö finns gynnsamma geohydrologiska förutsättningar för att anlägga ett berglaboratorium av vilka följande kan nämnas.

- Ett homogent bergblock med få väldefinierade grundvattenledande strukturer finns på södra Äspö där nedfarten till laboratoriet kan byggas.

- Inom nära avstånd till ovanstående finns tillgång till en regional skjuvzon och områden med mycket homogen Smålandsgranit.
- Områden under havsytan finns tillgängliga i omedelbar anslutning till Äspö.

### **B 3.2 Mål**

De övergripande målen för de geohydrologiska undersökningarna under byggnadsskedet kan sammanfattas som att:

- utvärdera i vilken mån den använda förundersökningsmetodiken har givit en riktig beskrivning av den naturliga grundvattensituationen i olika geologiska miljöer och för olika djup,
- dokumentera de geohydrologiska förhållandena i bergvolymen från tunnlar och berggrum i olika skalor samt ge geohydrologiska driftsprognoser för utsprängningsarbetet,
- iterativt med dokumentationen validera de i skilda skalor uppställda modellerna av berglaboratoriets inverkan på de stationära geohydrologiska förhållandena,
- med de nya data som fortlöpande erhålles under byggnadsskedet stegvis detaljera och förbättra prognoserna över de geohydrologiska förhållandena på de djupare nivåerna,
- validera de uppdaterade förväntningsmodellerna av de geohydrologiska förhållandena på de djupare nivåerna inklusive driftnivån,
- utveckla metoder för detaljerade geohydrologiska undersökningar på kandidatplatser.

För att nå dessa mål fordras liksom tidigare att undersökningar genomförs i fält, att erhållna data analyseras och bearbetas integrerat med de geologiska och hydrogeokemiska undersökningarna, samt att resultaten sätts samman i kvalitativa och kvantitativa modeller. Undersökningarna har en naturlig och avgörande betydelse för bergbeskrivningen av såväl fjärrområde som närområde. Arbetet skall exempelvis ge besked om var i tunnlar och schakt grundvatteninflödet förväntas bli onormalt högt och där tättningsinsatser fordras för att begränsa inflödet till en godtagbar nivå. Vidare skall den sk störda zonen kring tunnlar och schakt och dess hydrauliska egenskaper beskrivas både kvalitativt och kvantitativt. Slutligen skall undersökningarna ge besked om möjligheten att i förväg anpassa de planerade undersökningarna under driftskedet till lämplig och erforderlig bergkvalitet.

Undersökningarna är starkt kopplade till berglaboratoriets etappmål "Verifiera förundersökningsmetoder" och "Fastställa detaljundersökningsmetodik".

### **B 3.3 Utförande**

Nedan beskrivs de viktigaste momenten som ingår i geohydrologiprogrammet under byggnadsskedet. Denna stomme kommer att bearbetas vidare så att ett fullständigt program är fastlagt före byggstart. Under byggnadsskedet så får man också räkna med att modifieringar i programmet kommer att ske på grund av erhållna resultat.

Ett fortlöpande geohydrologiskt observationsprogram för kontinuerlig registrering av bl a grundvattennivå och grundvattentryck i borrhål på Äspö startade i och med 1988 års undersökningar. Detta drivs vidare under byggnadsskedet. För att följa påverkan från uttaget av berglaboratoriet kan det bli nödvändigt att komplettera med ytterligare borrhåringar från markytan. Liksom under förundersökningarna är det viktigt att ha ett referensområde med ett relativt fast program och ett program för området kring laboratoriet som revideras regelbundet med hänsyn till arbetets fortskridande.

Under utsprängningsarbetet kommer dokumentation av bergarter, sprickighet, förstärkningar m m att utföras. I denna dokumentation införs även registrering av vatteninflöden till kvantitet och läge. Inflödet till tunneln mäts med mätvallar placerade med ca 100—150 meters intervall längs tunnelnedfarten. Mätvallarna kommer att vara så konstruerade att vatteninflödet mellan två vallar kan mätas och provtas. Detta förutsätter att en genomgående rörledning läggs i tunnelnedfarten.

Ett handlingsprogram för hur de geohydrologiska observationerna skall utföras vid injekteringar och omfattande förstärkningsarbeten kommer att upprättas. I programmet definieras även gränser för när injektering ska ske. Det skall även innehålla riktlinjer för när sidotunnlar skall anordnas.

Från tunnelsidorna i anslutning till fronten hammarborras sonderingshål på var 15:e meter. Längden på hålen bör vara ca 20 meter. I hålen, som riktas snett framåt, utföres tryckupbyggnadstester och om så erfordras, manschettmätningar. Dessa pilotundersök-

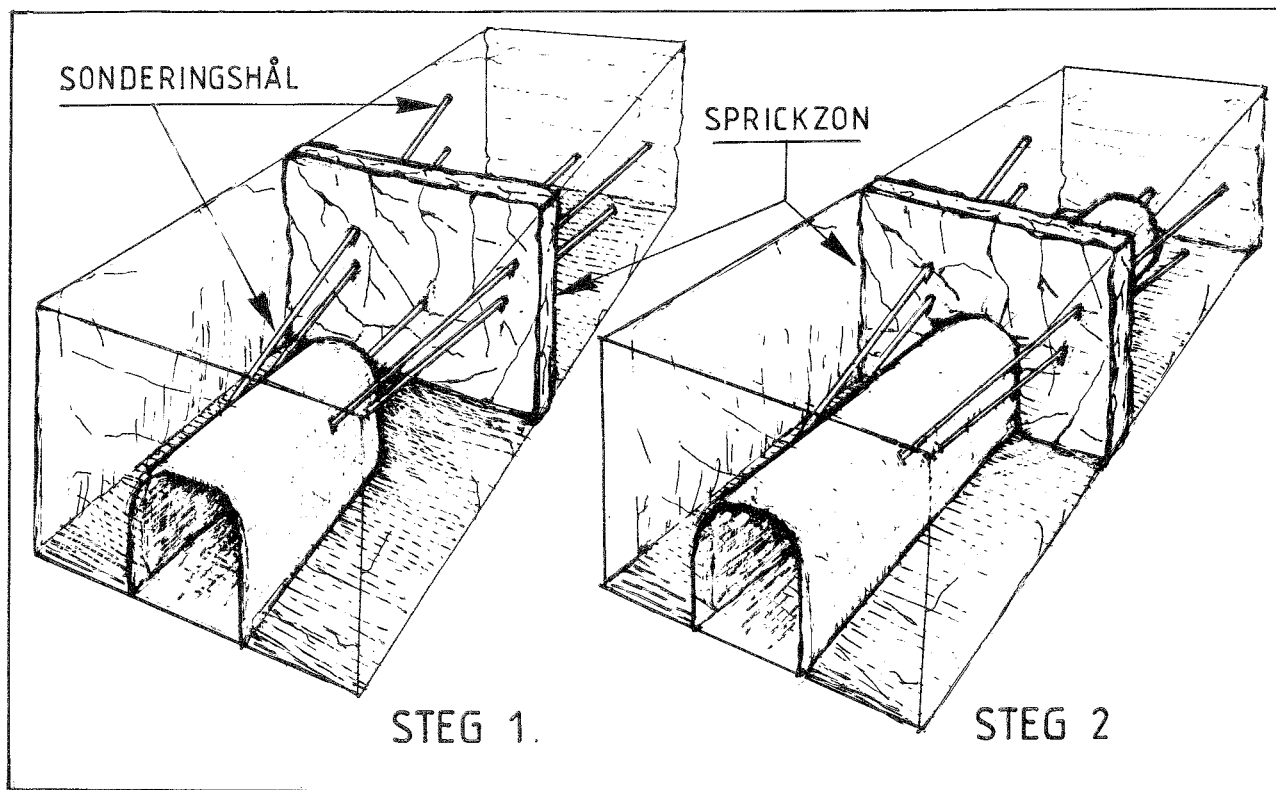
ningar utnyttjas, dels för att tillsammans med dokumenterade data från tunneln ge driftprognoser och dels för att komplettera databasen med geohydrologiska data tagna under jord. Borrhålen kommer dessutom att användas för vattenprovtagning, se avsnitt B4.

Förutom de sonderingshål, som regelbundet borras vid tunnelfronten, kommer man att komplettera observationsnätet under jord för att karakterisera och mäta trycket i konduktiva zoner mm. För detta ändamål bedöms att totalt ca 10 st 30 meter långa hammarborrhål utrustade med flermanschettssystem kommer att erfordras längs tunnelsträckningen.

För att undersöka, beskriva och modellera konduktiva zoner utan att störa och störas av byggprocessen planeras att ca 8 st sidotunnlar tas ut från tunnelnedfarten. En sidotunnel sprängs ut om berg påträffas som kräver stora insatser av tätning och injektering. Läget för sidotunnlarna kan inte bestämmas nu, men i den slutliga förväntningsmodellen som presenteras innan byggnadsskedet startar, kommer ungefärliga lägen att anges för sidotunnlarna ner till 350 meters nivå. I det följande beskrivs kortfattat byggnads- och undersökningsförloppet i sidotunnlarna.

Sidotunnlarna antages ha en längd av ca 40 meter och en tvärsnittsarea av ca 20 m<sup>2</sup>. Tunnlarna bör som regel drivas utanför nedfarten i en lutning av ca 2% uppåt. Vid mynningen av sidotunneln anordnas en mätvall och vattnet från mätvallen avleds till rörledningen i nedfartstunneln.

I likhet med nedfartstunneln så drivs sidotunnlarna fram med hammarborrade sonderingshål tills avståndet till den tvärande zonen är ca 20 meter. Vid stufen drivs 5 st hål genom zonen, se Figur B-2. I dessa utförs



Figur B-2. Planerade sonderingshål i sidotunnlarna genom den tvärande sprickzonen.

hydrauliska tester. Därefter drivs tunneln genom zonen. För subhorisontella zoner är principen liknande, men då görs en kort stig genom zonen.

Undersökningarna i sidotunnlarna syftar dels till att karakterisera förekommande konduktiva zoner, dels till att ge underlag för att karakterisera den störda zonen kring tunneln.

Geohydrologisk kartering och dokumentation utförs både i nedfarts- och sidotunnlar och läckage till en sidotunnel registreras vid mätvallen. Vidare utförs tryckuppbyggnadstester i sonderingshål. I de fem hålen, som hammarborrats genom en zon, utförs tryckuppbyggnadstester kombinerade med interferensmätningar på övriga borrhål, samt en flödestest på samtliga borrhål i gruppen. Data utvärderas för att karakterisera zonen innan resterande tunnelsträcka sprängs ut.

Efter slutlig utsprängning dokumenteras zonen geohydrologiskt, flödet registreras vid mätvallen och trycken mäts i kvarvarande borrhål för att ge underlag för att karakterisera den störda zonen kring tunneln.

I likhet med de geologiska undersökningarna så gäller ovanstående beskrivning i första hand för undersökningarna ner till ca 350 meters nivå. Enligt tidigare sammanställs erfarenheterna från denna första etapp fortlöpande under utförandet och kan därför komma att påverka programmet under undersökningarnas gång. För undersökningarna i etapp 2 (ner till ca 500 meters nivå) gäller generellt att detaljeringsgraden i beskrivningen av de geohydrologiska förhållandena i närområdet skall öka allteftersom avståndet till huvudnivån minskar. Undersökningarna i etapp 2 kommer därför att utökas med en tätare dokumentation (fler borrhål) och kompletteras med geofysiska och hydrauliska mellanhålmätningar. Eftersom resultat som erhålles från undersökningarna ner till 350 meters nivå i stor utsträckning styr uppläggningsplaneringen av de fortsatta geohydrologiska undersökningarna bedöms det därför inte vara nödvändigt att i nuläget precisera dessa.

### **B 3.4 Prediktioner**

En platsspecifik geohydrologisk modell över laboratoriet och dess närområde under olika stadier av utbyggnaden kommer att upprättas under förundersökningsskedet i enlighet med den "Valideringsrapport" som är under arbete. Modellen kommer att kalibreras mot uppmätta grundvattennivåer, hydrauliska tester i och mellan borrhål samt mot grundvattenkemi. Modellen ställs upp med den geometri för laboratoriet som följer av projekteringshandlingarna. För inflödesberäkningarna antas att en störd zon finns kring nedfartstunneln, som kan ges olika egenskaper i olika beräkningar. Vidare predikteras inflöde och avsänkning för olika stadier av nedfartsutbyggnaden.

### **B 3.5 Utvärdering**

De data som erhålles från fältundersökningarna utvärderas samordnat med de geologiska och hydrogeokemiska undersökningarna. Av speciell vikt är att under-

sökningarnas relevans för de geohydrologiska modellarbetet undersöks och utvärderas.

Genom att de hydrauliska egenskaperna i området blir kända kan ovan nämnda observationsserier kopplas kvalitativt och kvantitativt till grundvattenbildning, grundvattenavbördning, kontakt med havet etc. Detta är förhållanden som direkt ger anvisningar om randvillkor för de olika modellerna över området. En fortlöpande analys och utvärderingsaktivitet kommer därför att vara nödvändig under hela undersökningssperioden.

Vid start av byggnadsetapp 2 kommer teknik att finnas som tillåter fortlöpande datahantering av det interferensförsök som tunneldrivningen innebär. Dessa data används speciellt för karakterisering av tunnelns närområde.

### **B 3.6 Rapportering**

I likhet med presentationen av de geologiska undersökningarna så sker rapporteringen samordnat med övriga ämnesområden. Sammanställning av erhållna data, utvärdering och jämförelse med förväntningsmodellerna sker efter avslutandet av de olika etapperna (ner till ca 350 respektive ca 500 meters nivå och uttaget av försöksområdena). Dessutom kommer undersökningsstrategi och undersökningsmetoder att uppdateras liksom förväntningsmodellerna innan respektive etapp påbörjas.

### **B 3.7 Anläggningsarbeten**

Förutom ovan nämnda sidotunnlar och borrhål fordras mätvallar var 100—150 meter i nedfartstunneln samt vid mynningen av sidotunnlarna. Allt arbete bör genomföras av tunnelentreprenören.

### **B 3.8 Förberedande arbeten**

Ett principförslag för de geohydrologiska arbetena under byggnadsskedet skall upprättas följt av ett detaljprogram i juli 1990. En organisationsplan för fältarbetena skall vara klart i januari 1990 medan detaljinstruktionen för fältorganisationen skall vara klar i juli 1990. Här ingår även instruktioner för hur de geohydrologiska observationerna skall utföras vid injektoringar och omfattande förstärkningsarbeten.

## **B 4 GRUNDVATTENKEMISKA UNDERSÖKNINGAR**

### **B 4.1 Bakgrund och nuvarande kunskapsläge**

Under förundersökningsskedet görs undersökningar som syftar till att klarlägga de grundvattenkemiska förhållandena i berggrunden. Detta arbete utförs i etapper som växlar mellan mätning, utvärdering och prediktering, där de samlade resultaten används för att

prediktera förhållandena och de förändringar som förväntas under byggskedet. Eftersom grundvattnet är rörligt kommer en dränering av schakt och tunnlar att åstadkomma en kraftig omsättning av grundvattnet. Således kommer de förändringar som sker i vattensammansättningen att återspegla de hydrogeologiska förhållandena.

## B 4.2 Mål

Målet för de grundvattenkemiska undersökningarna under byggnadsskedet är att studera förändringar i vattensammansättningen och att relatera dessa mot de prediktioner som gjorts i förundersökningsskedet. Undersökningarna innefattar därför momenten att:

- följa förändringar i gränsen mellan salt och sött vatten,
- studera transport av upplösta ämnen i en stor volym av berget,
- ge underlag för validering av grundvattenströmning och transportmodeller i realistisk skala,
- följa förändringar i redoxförhållandena hos grundvattnet,
- följa förändringar i den kemiska sammansättningen hos sprickmineral och fastställa redoxkinetiken hos systemet grundvatten-sprickmineral,
- utveckla och pröva metoder för detaljerade grundvattenkemiska undersökningar på kandidatplatser.

Undersökningarna är starkt kopplade till berglaboratoriets etappmål "Verifiera förundersökningsmetoder" och "Fastställa detaljundersökningsmetodik".

Strategin för den använda metoden för vattenprovtagning, provtagningsintervall och analys kommer att utvärderas och uppdateras under arbetets gång och därigenom ge värdefull information om hur de vattenkemiska undersökningarna skall genomföras i framtida platsundersökningar. De vattenkemiska förändringarna som registreras under byggnadsskedet kan visa sig vara antingen stora eller små och det ligger i sakens natur att dessa relateras till de rådande geologiska och hydrogeologiska förhållandena. I den mån en dylik koppling är enkel och resultaten överensstämmer med förväntningsmodellen kan metoden användas för validering av förundersökningsprognosen, i annat fall endast för att karakterisera grundvattenflödet i det undersökta området. Resultaten av kemivalideringen kommer att finnas tillgängliga i god tid före de detaljerade platsundersökningarna av kandidatplatserna påbörjas.

## B 4.3 Utförande

Arbetet pågår parallellt med drivningen av nedfartstunneln och färdigställandet av driftnivån. Det omfattar studier av förändringar i vattnets kemiska sammansättning (naturliga spårämnen) samt tillförda vattentrogna spårämnen i omkringliggande borrhål och i borrhål från tunnel och genom inläckage till anläggningen. De naturliga spårämnena skall företrädesvis kunna beskriva vattnets flödesvägar i det översta par-

tiet av berget medan de tillsatta spårämnena skall klargöra flödesvägarna i det djupare liggande berget.

För att studera flödesvägarna i det ytnära berget (ca 100 m) kommer sötvattenkudden på Äspö att användas. Pga tryckavsänkningar som sker i tunneln kommer sötvatten att rinna ner och nå tunneln i de punkter där förbindelsen uppåt är god. För att studera flödesvägarna i det djupa berget kommer spårämnen att injekteras i konduktiva zoner via de tidigare från ytan borrade kärnborrhålen. Varje injektionspunkt får ett eget spårämne och uppskattningsvis kommer 4 st borrhål att förses med var sin injekteringsnivå. Injiceringen kan göras kontinuerligt under hela byggskedet eller tillföras i pulser med konstant tidsintervall.

Provtagning av grundvatten kommer att ske:

- i hammarborrhål som borrar in i berget från nedfartstunneln (sonderingshålen beskrivna i avsnitt B 3.4),
- i punkter där vatten läcker in till tunneln i väggar och tak,
- i dräneringsdiken,
- i sprickzoner som skärs av tunneln.

Provtagningen i borrhålen syftar till att klargöra förändringar i vattnets kemiska sammansättning. Dessutom kommer eventuella spolvattenrester från borrhålen av de djupa kärnborrhålen och tillsatta spårämnena att detekteras.

I det ytnära berget förväntas snabba förändringar varför det är viktigt att snabbt komma igång med provtagningarna i tunnelnedfarten. På 500 m nivå kommer ytterligare ett tiotal hål att borrar för samma ändamål. Borrhålen som skall provtas förses med en manschett, slang och tryckgivare och vattenprov tas ut via en ventil. Provtagningsfrekvensen kommer att bestämmas utgående från resultaten av de tidigast provtagna hålen.

Vatten som läcker in i distinkta punkter i tunneln kommer att samlas upp i trattar. Storleksordningen 150 trattar behövs. Små läckor som inte kan tas i trattar leds ner i dräneringsdiken. Proven kommer att analyseras m a p salthalt och tillsatta spårämnen.

Sprickzoner som skärs av nedfartstunneln är potentiellt troligaste ställena att återfinna spårämnen. Av byggnadstekniska och säkerhetsmässiga skäl kommer det att vara näst intill omöjligt att undersöka och provtaga dessa tvärande zoner i nedfartstunneln. Genom att spränga ut sidotunnlar som passerar genom zonerna på olika nivåer är det dock möjligt att studera dessa i detalj.

Noggranna undersökningar m h a plastsdynken eller motsvarande genomförs för att studera flödesfördelningen. Det stora antalet inströmningspunkter gör att man får en relativt bra statistik på variationen i karaktär hos zonerna. Vattenprov som tas ut i varje avgränsad kanal analyseras m a p naturlig sammansättning och tillsatta spårämnen. Eventuell inverkan av injektionsmaterial påvisas. Flödet i den nedre delen av sidotunnlarna registreras i tre grunda kärnborrhål i tunnelsulan och hålen provtages också för en fullständig grundvattenkemisk karakterisering. Omfattningen på denna karakterisering är jämförbar med de borrhålundersökningar som görs från markytan. Därefter ge-

nomförs en kontinuerlig kontroll av vattensammansättningen. Denna har samma omfattning som provningen av de hammarborrade hålen i nedfartstunneln. Motsvarande gäller även för det vatten som samlas upp i plastskynkena.

Prov som tas i sprickzoner, i trattar och i borrhål analyseras förutom vad tidigare nämnts också m a p tritium i de fall då salthalten i vattnet sjunkit sedan föregående provtagning.

Borrhämnor från hålen i sidotunnlarnas sula tas till vara och analyseras i ett senare skede under förutsättning att oxiderande vatten erhålles. I första hand utförs mineralogiska undersökningarna på sprickmineralen. Detta ger en bild av hur snabbt syret reagerar med de redoxkänsliga mineralen på sprickyrtorna, dvs kinetiken hos redoxreaktionerna.

I enlighet med de geologiska och geohydrologiska undersökningarna gäller det beskrivna utförandet i första hand ner till 350 meters nivå. Erfarenheterna av undersökningsmetodikerna och erhållna resultat får därefter styra uppläggningsen av det fortsatta programmet.

#### **B 4.4 Prediktioner**

Prediktionerna vad gäller grundvattenkemin kommer att omfatta följande punkter.

- Kemisk sammansättning och dess förändring av grundvattnet i kringliggande borrhål och i vatten som läcker in till tunneln;
  - som funktion av litologin,
  - som funktion av hydrologin.
- Genomträngning (när och var) av tillsatta färgspårämnen.
- Detektion av oxiderande vatten.

#### **B 4.5 Utvärdering**

Utvärderingen innefattar en jämförelse mellan prediktion och erhållna resultat. Förväntningsmodellerna anger intervall inom vilka erhållna data förväntas ligga. Den slutliga utvärderingen mynnar ut i en modell som beskriver den nuvarande och framtida grundvattenkemiska situationen inom området.

#### **B 4.6 Rapportering**

Rapportering sker samordnat med de geologiska och geohydrologiska undersökningarna efter varje etapp (vid 350 respektive 500-metersnivå) samt efter färdigställandet av 500-metersnivån.

#### **B 4.7 Anläggningsarbeten**

De hammarborrade hålen i nedfartstunneln borras lämpligen av tunnelentreprenören efter anvisning av personal ur platsorganisationen. Utrustningen och aktiviteterna i och vid hålen fordrar inga speciellt uttagna nischer.

Analysen av vattenprover görs delvis på platsen i nå-

gon av kemivagnarna. Sidotunnlarna måste därför ha en fri höjd av minimum 3,5 meter och en minimibredd av ca 5 meter. Undersökningen av redoxförhållandena fordrar 3 vertikala kärnborrhål i sidotunnlarnas sula. Hålen skall ha en diameter av 76 millimeter och vara 1—2 meter djupa.

#### **B 4.8 Förberedande arbeten**

En metod för detaljerad provtagning av vattenförande sprickzoner i tunnlar kommer att tas fram och testas. Detaljerade instruktioner upprättas och utbildning sker sommaren 1990.

### **B 5 INSTRUMENT**

#### **B 5.1 Bakgrund**

För insamling av relevanta data för den karakterisering av geologiska, geohydrologiska och grundvattenkemiska förhållanden som kommer att genomföras under berglaboratoriets byggnadsskede krävs lämpliga instrument så att denna datainsamling kan ske på ett effektivt sätt och med hög noggrannhet. Under föregående etapper av projektet har instrument använts som tidigare använts i samband med platsundersökningar såväl som instrument som utvecklats speciellt för detta projekt.

Medan undersökningarna i de föregående etapperna utförts från markyta eller borrhål kommer under byggnadsskedet undersökningar huvudsakligen att utföras i tunnlar samt i borrhål från dessa. Många av de mätmetoder och instrument som används vid undersökningar från markyta och borrhål är även användbara vid undersökningar i tunnlar. Datainsamlingen i tunnlar kommer att genomföras under ofta besvärliga och hårt tidsstyrda förhållanden och i samband med eller under korta uppehåll under bergbyggnadsarbetena. Detta ställer speciella krav på såväl personal som instrument.

Det nuvarande kunskapsläget inom undersökningar från underjordskonstruktioner är baserat dels på de samlade erfarenheterna inom svenskt bergbyggande och dels mera direkt från de projekt som SKB drivit eller deltagit i, såsom CLAB, SFR, Stripa och Hylte.

Under byggnadsskedet kommer stora mängder av data att samlas in, inte bara från tunneln utan också från de redan befintliga borrhålen. De störningar som tunnelbyggandet förorsakar i de naturliga hydrologiska och vattenkemiska förhållandena måste noga följas upp. Detta sker effektivast genom utnyttjande av automatiska insamlingssystem som är speciellt framtagna och utprovade för ändamålet.

#### **B 5.2 Mål**

Det övergripande målet för ämnesområdet instrument är att tillse att lämpliga instrument för insamling av geologiska, geohydrologiska och grundvattenkemiska parametrar finns tillgängliga och att denna datainsamling kan genomföras med erforderlig precision och

noggrannhet. För att nå detta mål kan i vissa fall befintliga instrument användas, i andra fall krävs att dessa instrument anpassas eller modifieras eller att nya instrument utvecklas. För den delen av datainsamlingen som genomförs med fasta installationer erfordras att stora mängder sådana utrustningar införskaffas.

De erfarenheter som erhålls avseende de använda instrumentens funktion, precision, noggrannhet, driftsäkerhet, miljötålighet etc är av fundamental betydelse för fastställande av den teknik som behövs för de detaljerade platsundersökningarna.

### **B 5.3 Beskrivning av instrumentbehov**

#### **Instrument för geologiska undersökningar**

Vid borrning kan registrering av sk borrhålsparametrar såsom borrhålsdjup, spolvattentryck etc ge värdefulla bidrag vid tolkningsarbetet. Denna registrering kan avsevärt effektiviseras genom användning av automatiskt registrerande utrustning som monteras på borrhålsborren.

Att all inmätning i tunneln sker med hög precision är av avgörande betydelse för såväl tunnelkonstruktionen som sådana som för dokumentationsinsatserna i tunneln. Andra hjälpmedel för kartering och lägesbestämning är fotodokumentation med kamera, stereofotogrammetri eller videofilmning. Vilket som är det mest användbara systemet för projektets ändamål kommer att utredas. För den geologiska karteringen bör hjälpmedel såsom handburna fältdatorer användas, med programvara som möjliggör överföring till CAD.

För geofysiska mätningar i de korta pilothålen bör en lätthanterlig loggningsutrustning tas fram med vilken några valda metoder kan mätas samtidigt. För optimalt utnyttjande av radarmetoder kommer antenner som är speciellt avsedda för mätningar i tunnlar att utvecklas. Radar skall då dels kunna användas för prognos av avsnitt framför tunnelns front och dels för dokumentation. De utförs antingen som tunnelmätningar, borrhålsmätningar eller kombinerade tunnel-borrhålsmätningar.

#### **Instrument för geohydrologiska undersökningar**

För den geohydrologiska dokumentationen omfattar datainsamlingen huvudsakligen mätning av flöde och

tryck. Den klart dominerande störningen av de hydrologiska förhållandena är tunnelbyggandet i sig själv. Utöver denna störning skapas mindre störningar när borrhål borrar och flödestester görs i dessa. Dessa störningar orsakar en trycksänkning i omgivande bergvolym och utbredningen av denna trycksänkning speglar de geohydrologiska förhållandena och måste mätas. Detta görs genom att registrera tryck i ett stort antal borrhål, såväl de som i tidigare etapper borrats från markytan och dels sådana som borrar i tunneln. Denna tryckregistrering förutsätter installation av en eller flera manschetter i borrhålen samt automatisk datainsamling med tryckgivare och dataloggar. Mätssystemet måste vara så utformat att det klarar miljön som råder under pågående sprängningsarbeten samtidigt som erforderliga precisionskrav uppfylls. Mättnoggrannheten måste kontinuerligt kontrolleras genom att ett kalibreringssystem byggs in, troligen genom referenstryckledning. Varje datalogger ansluts via datakommunikation med en huvuddator på marknivå för central databearbetning. För mätning av flöden upprättas dels mätvallar i sektioner längs tunneln för registrering av till tunneln inströmmande vatten. Specifika flödespunkter mäts separat och eventuellt bör fukttransport genom ventilationsluften också mätas. Lämpliga system för denna typ av datainsamling tas fram, liksom flödesmätare för registrering av flöde ur borrhål.

#### **Instrument för grundvattenkemiska undersökningar**

För grundvattenkemiska undersökningar krävs dels utrustning för provtagning av vatten och dels för analys av vattenprover. Provtagning av vatten kräver i de flesta sammanhang ingen särskild utrustning vad det gäller borrhål i tunnlar. För befintliga borrhål från markytan vilka är försedda med manschetteringsutrustning och tryckregistreringssystem måste dock en särskild provtagare tas fram. Detsamma gäller även för borrhål i "tätt" berg i tunneln där provtagning och analys av "stagnant vatten" planeras. För analys av vattenprover används huvudsakligen ett av SKBs befintliga fältlaboratorier. Specialprover sänds till andra analyslaboratorier.

För de spårprov som skall göras med tillsatta spårämnen kommer dessa att doseras i de sektioner i borrhålen från markytan som redan under tidigare skeden förberetts med utrustning för detta ändamål.

# C PRELIMINÄRT PROGRAM FÖR UNDERSÖKNINGAR OCH FÖRSÖK UNDER DRIFTSKEDET

## C 1 ALLMÄNT

Undersökningarna under driftskedet antas i huvudsak genomföras på ca 500 meters nivå. Allteftersom ytterligare data erhålles från undersökningarna under byggnadsskedet uppdateras förväntningsmodellerna över 500-metersnivån och den preliminära utformningen av tunnlar för de föreslagna försöken revideras. Den slutliga utformningen grundas på detaljerad karakterisering av berggrunden under den senare delen av byggnadsskedet. Varje försök på 500-metersnivån föregås av en noggrann karakterisering av berggrunden kring den eller de orter där försöken genomförs. Syftet med dessa förundersökningar är dels att validera tidigare upprättade förväntningsmodeller dels att fastställa de randvillkor som gäller för försöken och som senare kommer att fordras för utvärdering.

Utformningen av de nedan beskrivna försöken under driftskedet skall betraktas som preliminär och kommer att revideras allteftersom erfarenheterna ökar under tiden fram till genomförandet.

Programmet för driftskedet kommer efterhand att kompletteras beroende på bl a slutligt val av förvarssystem. Skulle senare överväganden leda till att man väljer ett väsentligt större slutförvaringsdjup än 500 m kommer ytterligare kompletteringar att ske.

## C 2 STORSKALIGA SPÅRFÖRSÖK

### C 2.1 Bakgrund och nuvarande kunskapsläge

Det klart dominerande grundvattenflödet i berggrunden sker i en mycket begränsad del bestående av sprickor och sprickzoner. Tidigare studier har visat att karaktären och egenskaperna hos dessa ofta varierar mellan skilda geografiska områden, mellan olika bergarter och tidvis även inom en och samma bergart på en och samma plats. Det är därför viktigt att genomföra spår-försök i olika skalor och på skilda platser för att öka den allmänna kunskapen om grundvattenflöden och flödesvägar i en sprucken bergmassa. Förutom att i sig vara en metod för att beskriva geohydrologiska förhållanden i berggrunden så är också genomförandet av spår-försök ett sätt på vilket validering kan ske av förväntningsmodeller av dessa geohydrologiska förhållanden och då speciellt transport av lösta ämnen i berget.

Spår-försök för att undersöka transport av upplösta ämnen i berg har utförts i Studsvik, Finnsjön och Stripa. Kunskaperna på detta område har därigenom ökat betydligt och på senare tid lett fram till en noggrannare bild av grundvattenströmningen i berg. Det gäller framförallt fördelningen av vattenflödet i spric-

kor och flödesmönstret i dessa sprickor. Olika beräkningsmodeller för att beskriva detta prövas för närvarande.

Spår-försök i enskilda sprickor har utförts och pågår i Stripa. Större partier lågkonduktivt berg av förvarskvalitet har också undersökts med spår-försöksteknik. I Stripa användes i det sk 3D-försöket en tunnel som infångningsyta för att studera fördelningen av vattenflöde och transportvägar medan man i diffusivitet-försök pressade ut spårämnen i mycket lågkonduktiva partier av berget för att utröna diffusionsegenskaperna i ostört berg.

Spår-försök i sprickzoner med betydligt högre konduktivitet än omgivande berg har genomförts i Studsvik och Finnsjön. Injektion och provtagning av spårämnen har genomförts via borrhål från markytan.

De hydrauliska undersökningar, spår-försök och även radarmätningar som gjorts, tyder på att mönstret för flödesfördelningen i lågkonduktivt berg och förutsättningarna att karakterisera detta är platsspecifikt. Detta gäller i ännu högre grad sprickzoner, som har visat sig ha olika vattenledande egenskaper på olika platser trots likartade geometriska förhållanden.

För att studera de platsspecifika flödesvägar som råder i berggrunden kring berglaboratoriet kommer spår-försök i skilda skalor att genomföras. Som beskrivits i Bilaga A och B startar storskaliga spår-försök redan i det stationära skedet före byggstart och pågår under hela det transienta byggnadsskedet. Resultaten från dessa utgör en grund för planeringen av spår-försök under driftskedet.

### C 2.2 Mål

Målet med de storskaliga spår-försöken under driftskedet är att:

- studera transport av upplösta ämnen i en stor volym av berget,
- ge underlag för validering av modeller för grundvattenströmning och transport i en realistisk skala.

Arbetet har stor betydelse för berglaboratoriets huvudmål "Pröva kvalitet och användbarhet av metoder för bergkarakterisering" samt "Ta fram underlag och data för säkerhetsanalys".

De storskaliga spår-försöken har främst betydelse för etappmålet "Pröva modeller för grundvattenströmning och transport av lösta ämnen". Tillsammans med de spår-försök som görs under byggnadsskedet, med de blockskaliga spår-försöken, med hydrauliska tester och interferenstester, samt med liknande undersökningar på andra platser (Stripa, Finnsjön) kommer de erhållna data att ge en bred databas över grundvattenflöden och flödesvägar i olika skalor och under olika förhållanden. Denna databas skall användas för att pröva, kalibrera och i möjlig omfattning validera modeller för

grundvattenströmning i sprickigt berg. Modellerna skall framförallt användas i analysen av den långsiktiga säkerheten hos slutförvaret, vilken skall utgöra underlag för en lokaliseringsansökan. De skall också kunna nyttjas för optimering av slutförvaret. Databasen kommer ytterligare att kunna kompletteras med data från detaljundersökningar på de(n) föreslagna slutförvarsplatsen(-erna).

### C 2.3 Utförande

De storskaliga spår försöken under driftskedet är en direkt fortsättning på studierna under byggnadsskedet och uppläggnings kommer därför att basera sig på resultaten från detta tidigare skede. Undersökningarna delas preliminärt in i följande etapper:

- Etapp 1: Planering och prediktiv modellering av försöken.
- Etapp 2: Förberedelser — Instrumentering av injiceringsborrhål och provtagningsborrhål.
- Etapp 3: Genomförande — Injicering av spårämnen och provtagning, analys samt databearbetning. Data samlas in och lagras i samma typ av databas som för det blockskaliga spår försöket.
- Etapp 4: Utvärdering och validering.

### C 2.4 Prediktioner

Som tidigare nämnts så bildar resultaten från de geohydrologiska och grundvattenkemiska undersökningarna under byggnadsskedet underlag för predikteringen av de storskaliga spår försöken. Prediktionen bör därför kunna göras mycket detaljerad. Bl a bör genombrottskurvor, transportvägar och återvinning kunna förutses. Osäkerheten i de predikterade storheterna kommer att anges. Om möjligt ges flera olika grupper av forskare möjlighet att delta i den prediktiva modelleringen.

### C 2.5 Utvärdering

Utvärderingen kommer att ske som en jämförelse mellan prediktion och erhållna resultat där prediktionen anger nivån som förväntas.

### C 2.6 Rapportering

Rapportering sker i anslutning till de olika etapperna. Mätdata lagras i en databas av samma typ som för det blockskaliga spår försöket.

### C 2.7 Förberedande arbeten

Förberedande FoU-insatser behövs för att ta fram en katalog för användbara spårämnen och deras egenska-

per. För närvarande pågår undersökningar i syfte att klargöra vilka spårämnen som kan tänkas användas. Dessa arbeten görs inom Hylte- och Finnsjö-projekten och har direkt tillämpning för spår försök i berglaboratoriet. En resultatöverföring från Hylte och Finnsjön, kombinerat med erfarenheter från Stripa, kan ingå i en spårämneskatalog. Denna bör finnas tillgänglig så snart som möjligt för att spår försöket under byggnadsskedet skall kunna genomföras med beprövade spårämnen.

Speciell instrumentering kommer att behövas för injicering av spårämnen. Denna kan tänkas vara en modifiering av den utrustning som använts vid tidigare försök.

## C 3 BLOCKSKALIGA SPÅRFÖRSÖK

### C 3.1 Bakgrund och nuvarande kunskapsläge

Det klart dominerande grundvattenflödet i berggrunden sker i en mycket begränsad del bestående av sprickor och sprickzoner. Tidigare studier har visat att karaktären och egenskaperna hos dessa ofta varierar mellan skilda geografiska områden, mellan olika bergarter och tidvis även inom en och samma bergart på en och samma plats. Det är därför viktigt att genomföra spår försök i olika skalor och på skilda platser för att öka den allmänna kunskapen om grundvattenflöden och flödesvägar i en sprucken bergmassa. Förutom att i sig vara en metod för att beskriva geohydrologiska förhållanden i berggrunden så är också genomförandet av spår försök ett sätt på vilket validering kan ske av förväntningsmodeller av dessa geohydrologiska förhållanden och då speciellt transport av lösta ämnen i berget.

### C 3.2 Mål

Situationen i ett slutförvar med kapslar deponerade i berg med låg hydraulisk konduktivitet och med respektavstånd till närmast större vattenförande zon kommer att efterliknas i undersökningen. Resultaten från studien kommer att utvärderas och användas för att validera transportmodeller i blockskala dvs över avstånd i skalan 10—100 m.

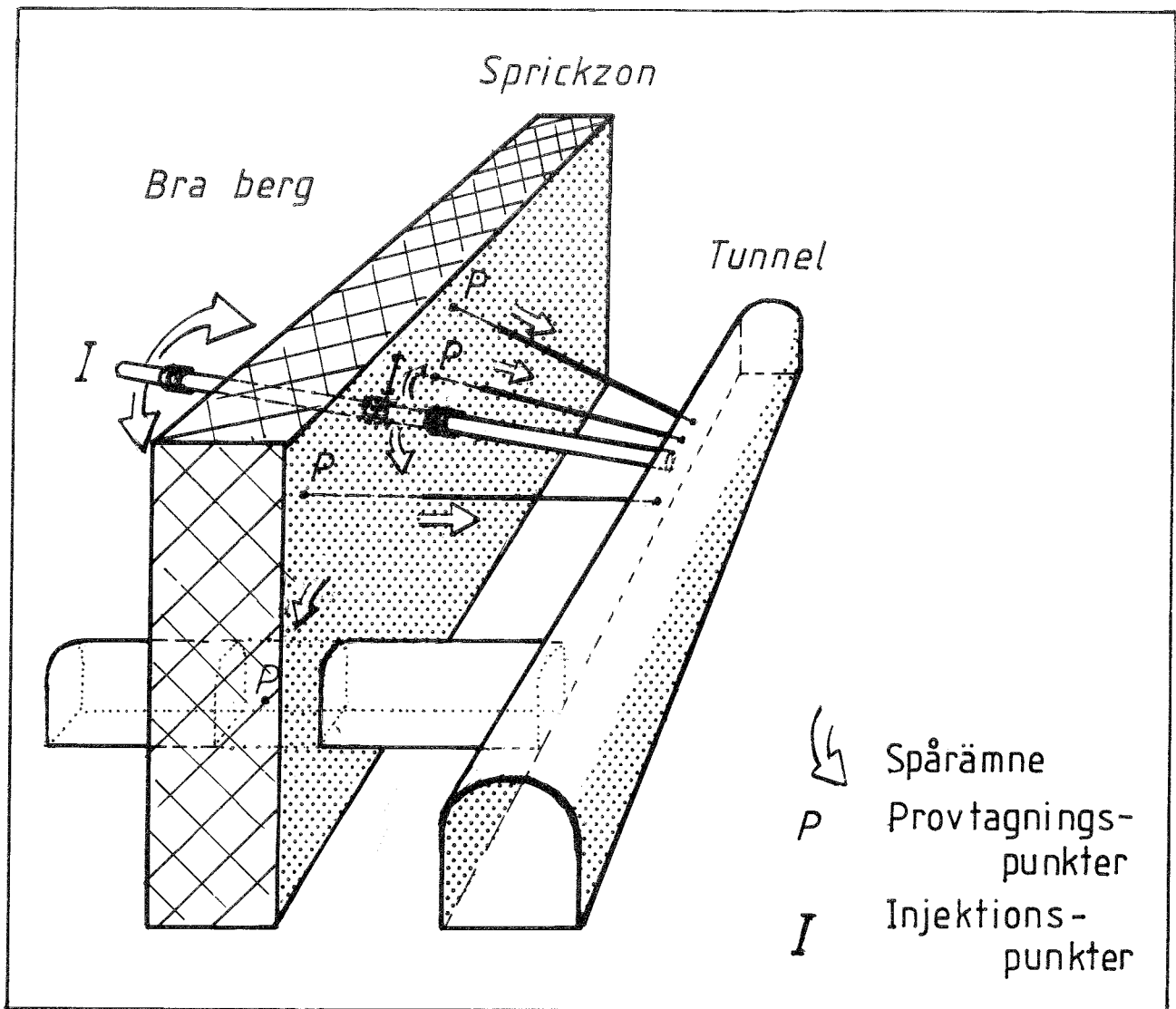
Undersökningen skall också visa på vår förmåga att karakterisera och välja ut bra partier av berget för deponering. Med hjälp av transportmodeller prövas möjligheten att prediktera migration av upplösta ämnen i ett utvalt parti lågkonduktivt berg intill en sprickzon.

Målen för undersökningen kan därför sammanfattas som att:

- studera transport av upplösta ämnen i berget över 10 — 100 m avstånd,
- validera modeller för transport i bra berg till en sprickzon,
- validera modeller för transport i en sprickzon.

Undersökningen har stor betydelse för de tre huvudmålen för berglaboratoriet.





Figur C-1. Blockskaligt spår försök — principskiss.

De blockskaliga spår försöken har främst stor betydelse för etappmålet "Pröva modeller för grundvattenströmning och transport av lösta ämnen". Denna modellering är av central betydelse för analysen av slutförvarets långsiktiga säkerhet som skall redovisas med lokaliseringsansökan.

### C 3.4 Utförande

På grundval av den geologiska och geohydrologiska karakteriseringen av 500-metersnivån väljs ett block ut (ca 50 × 50 m), som innehåller såväl bra berg som en konduktiv zon. Detta skall efterlikna förhållandet i ett slutförvar, där högaktivt avfall deponerats i berg med låg hydraulisk konduktivitet men med respektavstånd till en större vattenförande zon.

Injektion av spårämnen görs såväl i det goda berget som i sprickzonen medan provtagning endast sker i sprickzonen. Härigenom kan transporten längs såväl de sammansatta flödesvägarna som i själva zonen undersökas. Genom att injicera olika spårämnen i olika sektioner och att detektera dem i en tunnel som skär

zonen erhålls information om flödesvägar. Mönstret för utströmningen i tunnelväggarna och genombrottskurvorna predikteras så långt det är möjligt utgående från inledande karakterisering av berg och sprickzon. Eventuella snabba kanaler identifieras och beskrivs.

En principskiss av experimentet visas i Figur C-1.

Den preliminära lokaliseringen i berglaboratoriet av försöket kommer att ingå i de förväntningsmodeller som upprättas under byggnadsskedet. De geologiska och geohydrologiska undersökningarna på experimentnivån kommer att ge besked om den slutliga lokaliseringen och utformningen av försöket.

Försöken genomförs i etapper för att möjliggöra predikteringar mellan varje etapp och för att kunna modifiera utförandet.

**Etapp 1** En tunnel drivs genom en konduktiv zon och karteras geologiskt och hydrogeologiskt. De olika inflödespunkterna i tunneln separeras och mäts genom att tunneln täcks med plast som vid 3D-försöken i Stripa eller med ett liknande arrangemang.

Etapp 2 Några tiotal meter från tunneln som skär zonen, se Figur C-1, drivs ett injektionsborrhål genom zonen och vidare något tiotal meter. Hydromätningar genomförs i borrhålet och mellan injektionshålet, tunneln och valda provtagningspunkter. Utspädningsmätningar genomförs i olika delar av injektionshålet.

Etapp 3 Injektionsborrhålet tätas av med manschetter och spårämnen tillförs huvudsakligen i det goda berget och även i zonen. Genombrotten följs i tunneln och i provtagningshålen.

Bergprover från sprickzonen och från det lågkonduktiva berget sänds till laboratorium för karakterisering av sprickgeometrier, diffusionsegenskaper och sprickmineral.

Resultaten från karakteriseringen av bergvolymen och zonen rapporteras och lagras i en databas så att användare av olika modeller kan genomföra prediktiv modellering.

### C 3.4 Prediktioner

Prediktionerna knyts till de olika undersökningsetapperna. Inför den andra etappen görs en mer omfattande prediktiv modellering. Olika tänkbara modeller bör provas för att beskriva hur spårämnena kommer att vandra. Om möjligt skall flera modeller beredas för att beskriva hur spårämnena kommer att vandra. Om möjligt skall flera modeller beredas för att beskriva hur spårämnena kommer att vandra. Om möjligt skall flera modeller beredas för att beskriva hur spårämnena kommer att vandra. Om möjligt skall flera modeller beredas för att beskriva hur spårämnena kommer att vandra.

### C 3.5 Utvärdering

Resultaten jämförs med de tidigare gjorda prediktionerna. Om möjligt används jämförelsen för att diskriminera mellan de olika modellerna. Det är väsentligt att laboratorieresultatet vägs in i den slutliga modellen. Data från migrationsexperiment skall ingå för de svagt sorberande spårämnena.

### C 3.6 Rapportering

Rapporteringen av såväl de enskilda experimenten som den prediktiva modelleringen görs etappvis. Skriftliga rapporter och inlagring av data bör vara genomförd innan nästa etapp påbörjas.

### C 3.7 Anläggningsarbeten

Under byggnadsskedet bör man vara medveten om försöken och tidigt föreslå tänkbara platser. Platsen måste väljas så att störningen från anläggningen inte påver-

kar försöken. Borrhål måste borrar och en tillfartstunnel drivs in i zonen. Inga speciella byggnader krävs. Tunneln bör vara minst 20 m lång. Man bör undersöka möjligheten att fullortsborra denna. Om bergblocket ligger intill nedfartstunneln sprängs en nisch ut.

## C 4 RADIONUKLIDMIGRATION

### C 4.1 Bakgrund och nuvarande kunskapsläge

Tidigare undersökningar har visat att löslighet, sorption på sprickytor och diffusion in i bergmatrisen hindrar eller minskar spridningen av radionuklider i berggrunden. De data och de modeller som beskriver radionuklidernas kemiska egenskaper i den naturliga berggrundsmiljön baserar sig dock i huvudsak på laboratorieförsök. Följande försöksbetingelser är emellertid mycket svåra att efterlikna i laboratoriet:

- naturliga reducerande förhållanden,
- naturlig halt kolloidala partiklar,
- ostört berg, dvs berg med mikroporsystem och även större sprickor som inte tryckavlastats genom provtagning.

Samtliga dessa förhållanden är av utomordentligt stor betydelse för berget som barriär dvs de har stor inverkan på löslighet eller retention av radionuklider.

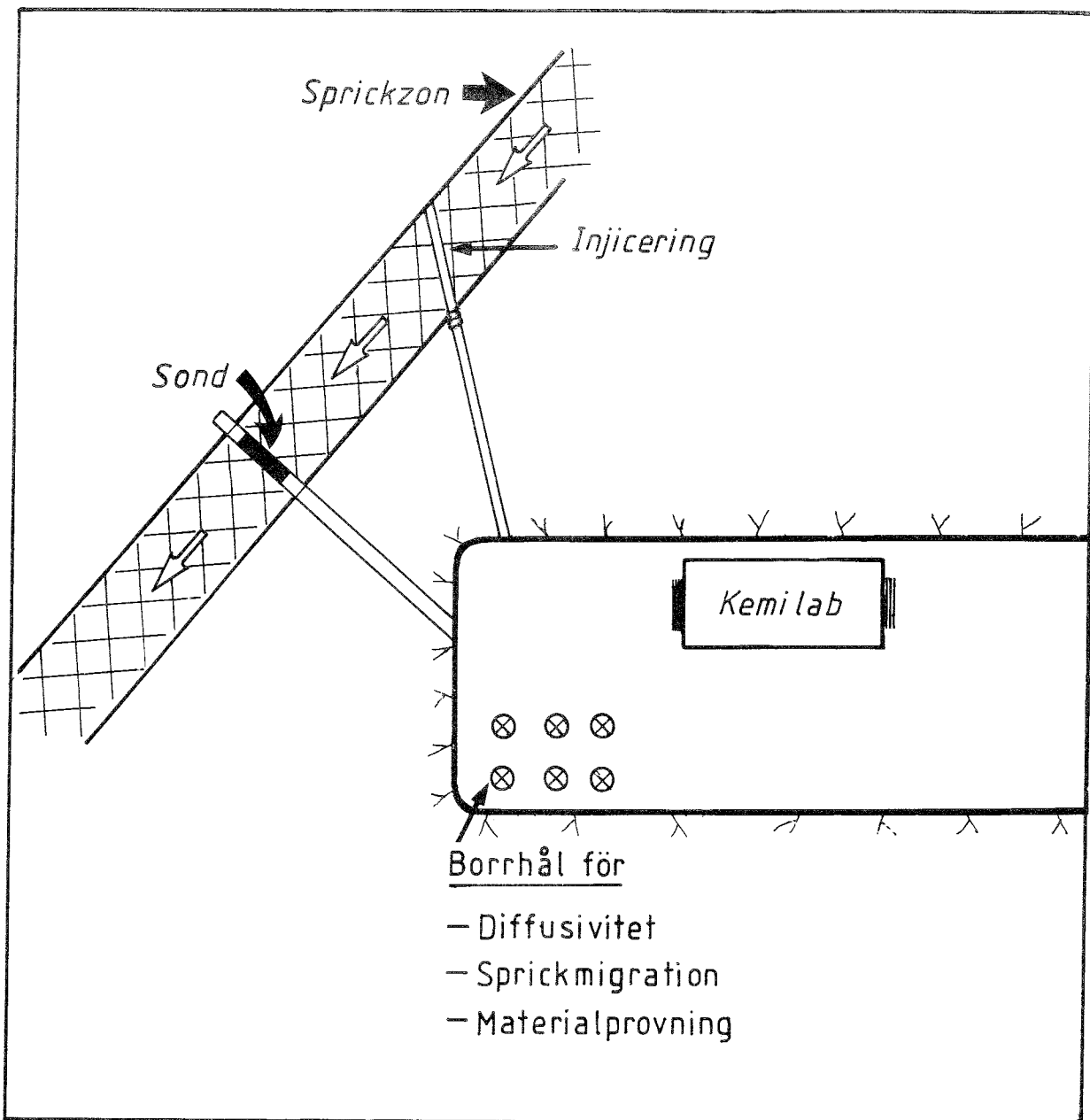
Erfarenheterna från Stripa och SFR visar också att det är värdefullt att ha en del i en underjordsanläggning med konstant tillgång till grundvatten, sprickor och sprickzoner tillgänglig för migrationsexperiment, geokemisk provtagning och materialprovning under minst fem år eller så länge anläggningen hålls öppen.

### C 4.2 Mål

Målen för undersökningarna sammanfattas på följande sätt.

- Pröva upplösning och migration av radionuklider in situ.
- Speciellt pröva inverkan av naturliga reducerande förhållanden på löslighet och sorption av radionuklider.
- Pröva grundvattnets förmåga att ta upp och transportera radionuklider med naturliga kolloider och mikrober, humusämnen och fulvosyror.
- Validera modeller och kontrollera konstanter som används för att beskriva radionuklidernas upplösning i grundvatten, sorption på mineralytar, diffusion i bergmatrisen, transport i en enskild bergspricka och radiolys.

Målen har stor betydelse för det tredje av huvudmålen för verksamheten i berglaboratoriet, nämligen att "Ta fram underlag och för säkerhetsanalys". Försöken har mycket stor betydelse som underlag för analysen av transport av upplösta ämnen i grundvatten och därmed för analysen av förvarets långsiktiga säkerhet. Denna skall redovisas med lokaliseringensökan.



Figur C-2. Radionuklidmigration — principskiss.

### C 4.3 Utförande

En del av 500-metersnivån reserveras för utförandet av undersökningen som ska kunna pågå under lång tid. En ort av ca 40 meters längd drivs in i berget till några tiotal meter från en vattenförande zon som kan ge djupt ostört grundvatten under lång tid, se Figur C-2. Av den anledningen bör en plats långt ner i berglaboratoriet väljas. Experimentområdet ska vara tillräckligt stort för att rymma ett kemilaboratorium. En kemivagn kan användas men den ska då vara något annorlunda utrustad än för enbart vattenprovtagning. Det ska gå att karakterisera vattnets redoxegenskaper, dvs redoxanalysutrustning ska finnas men det är inte nödvändigt med t ex en jonkromatograf. Däremot ska laboratoriet ha utrustning för hantering och analys av radionuklider.

En FORALAB-sond eller motsvarande utrustning används för försök inne i den vattenförande zonen. Inget vatten som passerar sonden går tillbaka till berget vilket medför att man kan använda åtminstone kortlivade radionuklider i sonden. Det skall även vara möjligt att installera en strålkälla i sonden. Grundvattnen leds även från zonen in i det underjordiska kemilaboratoriet för ytterligare experiment. Följande experiment planeras i sonden, laboratedelen och sprickzonen.

#### Experiment i sonden

Löslighet av aktinider och teknetium under naturliga reducerande förhållanden, upplösning av simulerat bränsle och inverkan av radiolys på bränsleupplösning och närområdet.

Sorption av aktinider och teknetium under naturliga reducerande förhållanden. Såväl batch- som kolonnförsök liksom migration i bergsprickor utförs inuti sonden. Bergsprickorna ingår i borrhäror dvs överborrade sprickor som sedan installerats i sonden.

#### Experiment i kemilaboratoriet

Delvis upprepning av försöken i sonden för kontroll. Analys av kolloider, mikrober, humus- och fulvosyror. Prov av dessa aggregats förmåga att ta upp och transportera radionuklider med hollow-fibre filterning, eluering av jonbytare eller annan lämplig teknik.

#### Experiment ute i sprickzonen

Ett injekteringshål borrar in i sprickzonen några meter från det provtagningsställe som används för sonden. I transportvägen från injektionsstället till provtagningspunkten görs migrationsförsök med sorberande radionuklider och medfällningsförsök med uran och aktinidanaloger. Vidare görs försök med bildning av kolloider och transport med utfällda kolloider.

Samma område, laboratorieutrustning och provtagning/injektionspunkter i sprickzoner används för de redoxförsök som beskrivs i Avsnitt C 5 "Blockskaliga redoxförsök".

#### Experiment i berget

Nedanstående försök utförs i den mån de inte under tiden klarats av i Stripa.

Indiffusion av sorberande nuklider i bergets mikroporer prövas genom att injicera sorberande inaktiva isotoper t ex inaktivt cesium och strontium tillsammans med icke sorberande spårämnen i ostörda partier i berget. Injektions- och provtagningsförfarandet är redan utvecklat i Stripa.

En vattenförande spricka väljs ut för försök med sorberande radionuklidliknande ämnen. Två hål borrar parallellt och längs sprickan på någon meters avstånd från varandra. Sorberande ämnen injiceras och de utnyttjade sorptionsytorna i sprickan, liksom inträngen i berget, kartläggs efter utbrytning av sprickan (överborring).

#### Övrigt

Samma område och kemilaboratorium kan även utnyttjas för långtidstester av material och materialkombinationer. Teknik för sådana materialtester finns utvecklad i Stripa. Exempel på material och materialkombinationer av intresse är: koppar, järn, bentonit, betong, urandioxid, betong-bentonit, järn-bentonit, urandioxid-bentonit. Målet med materialprovningen in situ är att validera modeller för korrosion och andra förändringar liksom växelverkan mellan olika material.

För att underlätta planering och genomförande utförs arbetet i etapper. Etapperna är så uppdelade att de experiment som stör den naturliga miljön är tidplanerade i de senare etapperna.

- Etapp 1 Kemilaboratoriet installeras. Grundvattnet från zonen leds till kemilaboratoriet för karakterisering och experiment.
- Etapp 2 Sonden installeras i borrhålet och experiment i sonden utförs. Vatten leds till kemilaboratoriet för övervakning av sonden, kontroll av försöken och parallella experiment. Sonden kommer att behöva tas ut och riggas om för de olika försök som skall utföras i den. Det kan visa sig nödvändigt att använda olika typer av sonder.
- Etapp 3 Ytterligare ett hål borrar så att det skär zonen några meter från första provtagningspunkten. Förbindelsen karakteriseras med hydrauliska mätningar och eventuellt radar.
- Etapp 4 Migrationsförsök utföres över det några meter korta avståndet mellan borrhålen i zonen. Sorberande nuklider eller nuklidliknande ämnen används. Medfällningsförsök utföres med uran och aktinidanaloger. Transport med kolloider och organiska komplex prövas. De experiment som berörs under rubriken "Experiment i berget" och "Övrigt" genomförs i mån av behov parallellt med eller efter etapperna ovan.

### C 4.4 Prediktioner

Resultaten från undersökningarna redovisas efter varje etapp tillsammans med en beskrivning av verksamheten i på följande etapp. Inför etapp 4 görs en prediktiv modellering av migrationsförsöken med sorberande spårämnen, medfällningsförsöken och experimenten med kolloidtransport. För detta ändamål används transportmodeller som inkluderar kemiska förhållanden och bygger på laborieförsök.

### C 4.5 Utvärdering

Försöken skall visa att de förväntade kemiska reaktionerna äger rum in situ och med den kapacitet och utbyte som laborieförsök och beräkningar förutskickar. För data som beskriver löslighet, sorption och diffusion är osäkerheterna ofta en storleksordning och förväntningar på överensstämmelse mellan försök och beräkningar måste naturligtvis rättas därefter. Att reaktioner av betydelse för säkerheten verkligen konstateras är väsentligt liksom att kunna ange en minimigräns för den kapacitet hos det naturliga kemiska systemet berg-grundvatten som finns tillgänglig för att reducera, pH-buffra och sorbera radionuklider och radiolysprodukter.

### C 4.6 Rapportering

Skriftlig rapportering genomförs innan nästa etapp påbörjas. Eftersom försök av något olika art kan äga

rum samtidigt inleds rapporterna med en sammanfattning. Redogörelserna för de enskilda experimenten bifogas som bilagor.

För att flera grupper med olika modellansatser skall kunna medverka i prediktering och utvärdering av migrationsförsöken läggs resultat från hydrauliska mätningar och data från spår-försöken in i en databas. Vattenkemiska data går in i SKBs geodatabas GEOTAB.

#### C 4.7 Anläggningsarbeten

Val av plats för försöket sker på grundval av karakteriseringen av 500-metersnivån där sprickzonens existens och karaktär har bekräftats och undersökts i de geohydrologiska studierna av området. Den preliminära lokaliseringen av försöket kommer att vara med i den detaljerade förväntningsmodell över 500-metersnivån som upprättas innan nivån sprängs ut.

Platsen måste väljas så att ostört, djupt grundvatten kan erhållas ur den valda zonen under längre tid. En placering långt ner i berglaboratoriet är att föredra.

En ort av ca 40 meters längd skall drivas. Därefter skall ett hål borras in i zonen.

Ett mobilt kemilaboratorium, utrustat för att även kunna hantera radionuklider, placeras i galleriet. Därutöver behövs inga speciella byggnader.

I ett senare skede, etapp 3, behöver minst ett ytterligare hål borras in i zonen.

#### C 4.8 Förberedande arbeten

Utrustning och lämpliga radionuklider eller radionuklidliknande ämnen måste tas fram.

Experimenten i sonden och ute i sprickzonen behöver förberedas genom laboratorieförsök. Till en del kan detta ordnas genom omprioriteringar i pågående forskningsprogram, och en inriktning mot de försök som sedan genomförs i berglaboratoriet.

I Simpevarp finns ett laboratorium i CLAB som har möjligheter att arbeta med radionuklider. Möjligheten att där utföra en del av kompletterande ovanjord-experiment kan förberedas genom att förlägga en del av den inledande verksamheten dit. Resurser för detta behöver i så fall avsättas.

De radionuklidkemiska experiment som här föreslås utförda i sonden och ute i sprickzonen har knappast alls prövats in situ tidigare. För att underlätta detaljplanering av försöken, framtagning av utrustning och radionuklider eller radionuklidliknande ämnen är det önskvärt att enkla förberedande undersökningar kan genomföras in situ redan innan kemilaboratedelen är iordningställd. Förförsöken skulle bestå av såväl utrustningstester som förberedande experiment beträffande radionuklidens redoxreaktioner, sorption och kolloidtransport.

Data och modeller för att beskriva den här typen av försök finns framme i stor utsträckning. Undantaget är modeller för kolloidtransport och modeller som kopplar kemiska reaktioner med transport. De senare utvecklas för närvarande.

## C 5 BLOCKSKALIGA REDOX-FÖRSÖK

### C 5.1 Bakgrund och nuvarande kunskapsläge

Reducerande förhållanden på förvaringsdjup är ett nödvändigt krav för lång livslängd hos en avfallskapsel. Det grundvatten som provtagits vid olika tillfällen och på olika platser inom typområdesundersökningarna är alltid reducerande och bevisar därmed bergets reducerande egenskaper. Kinetiken i redoxreaktionerna mellan berggrundens mineral och grundvattnet behöver dock belysas ytterligare. Under byggnadsskedet, då oxiderande vatten kommer ner i anläggningen, finns det möjligheter att studera dessa reaktioner. Undersökningen av effekten av det syresatta vattnet kommer att utföras i "block-skala" (några 10-tal meter) vilket möjliggör kontroll av samtliga ingående parametrar samtidigt som möjlighet ges till en bedömning av hastigheten i utbytesreaktionerna.

### C 5.2 Mål

Målet med undersökningen är att bestämma reaktionskinetiken då oxiderande vatten förvandlas till reducerande genom att korrelera flödes hastighet med mineralogiska förändringar.

Undersökningen är starkt kopplad till berglaboratoriets huvudmål "Ta fram underlag och data för säkerhetsanalys".

### C 5.3 Utförande

Försöket utförs i anslutning till undersökningen beträffande "Radionuklidmigration", se avsnitt C 4. Samma väl karakteriserade sprickzon kommer att användas för att studera hur en redoxfront vandrar. Sexvärt uran och syresatt vatten kommer att injiceras i ett borrhål, se Figur C-2. Redoxfrontens vandring och medfällningsreaktioner och kolloidbildningar kommer att studeras genom att partier av zonen borras ut.

Under försökets gång kommer successivt starkare oxidationsmedel att tillföras. Injicering av uran (VI) karbonat görs i ett inledningsskede. Detta delförsök syftar till att studera kinetiken då uranet reduceras till fyrvärt och därvid faller ut på sprickyrtorna. Försöket kommer att pågå tills halten av uran i vattnet är densamma i pumphålet (sondhålet i Figur C-2) som i injiceringshålet. Under försökets gång analyseras prov med avseende på de spårämnen som förväntas falla ut tillsammans med uranet samt de ämnen som på annat sätt deltar i redoxreaktionerna.

Avslutningsvis kommer syresatt vatten att injiceras för att jämföra redoxkinetiken hos syrereduktionen med uranreduktionens. På så sätt kan man relatera resultaten från undersökningarna under byggnadsskedet beträffande redoxförhållanden till uranreduktion i flödesvägarna.

För att de lokala variationerna skall kunna beaktas krävs att försöket genomförs på åtminstone två olika platser.

## C 5.4 Prediktioner

Försöket avser att ge data som kan användas i form av beräkningskonstanter. I och med att försöket planeras är det helt klart vilket resultat man förväntar sig. Dimensioneringen av försöket kommer således att i sig utgöra en prediktering baserad på beräknad redoxkapacitet i zonerna och förväntade reduktionshastigheter.

## C 5.5 Utvärdering

Utvärderingen görs i kemiska termer. Reaktionshastigheten för de reaktioner som identifierats skall bestämmas. Försöket får anses uppfylla målet om redoxkinetiken för de olika reaktionerna kan bestämmas.

## C 5.6 Rapportering

Resultatrapporter sammanställs för varje delstudie.

## C 5.7 Anläggningsarbeten

Försöket utföres på samma plats som undersökningen "Radionuklidmigration" och erfordrar inga ytterligare anläggningsarbeten.

## C 5.8 Förberedande arbeten

I samband med planeringen av försöket fordras laboratorieförsök med samma inriktning som fältförsöket. Delar av förberedelsearbetet sammanfaller med förberedelserna för undersökningen "Radionuklidmigration". De undersökningar som måste genomföras i laboratorium redovisas nedan.

**Reduktion av syre i kontakt med mineral.** Dessa undersökningar krävs för att man skall kunna dimensionera fältförsöket. Flödes hastighet och mineralyta är av största betydelse. Olika slag av berg måste studeras. Undersökningarna bör baseras på erfarenheter från tidigare försök som bl a gjorts på institutionen för oorganisk kemi vid KTH.

**Reduktion av sexvärt uran i kontakt med mineral.** Försökens syften är desamma som för reduktion av syre.

**Redoxbuffertkapaciteten hos berget.** Denna avgör hur många injiceringar som kan göras i zonen. Det är därför nödvändigt att känna kapaciteten som funktion av kontakttiden. Vi vet i dagsläget endast att den omedelbart tillgängliga kapaciteten är begränsad.

## C 6 METODIK FÖR FÖRVAR-UTBYGGNAD

### C 6.1 Bakgrund och nuvarande kunskapsläge

I samband med byggandet av ett slutförvar är det nödvändigt att genomföra ett antal undersökningar i syfte att fastställa om bergformationen har den kvalitet som

fordras på den naturliga barriären kring förvaret. Undersökningarna kan generellt indelas i följande steg:

- Steg 1 Undersökningar på markytan och i hål borrade från markytan.
- Steg 2 Undersökningar på bergytan längs nedfarten till förvaret (schakt eller tunnel) och i hål borrade från denna.
- Steg 3 Undersökningar på bergytan och i borrhål på förvarsnivån.

Steg 1 och 2 syftar i stort till att lokalisera förvaret i ett homogent bergparti med låg vattenföring. Steg 3 syftar i stort till att karakterisera berggrunden i förvarets omedelbara närhet.

Genomförandet av undersökningarna är beroende på valet av system för slutförvaret. Nedanstående beskrivning redovisar hur ett försök kan genomföras baserat på KBS-3-metodens geometri.

Uttrycken "fjärrområdet", "närområdet" och det "omedelbara närområdet" används ofta när säkerhetsaspekterna för ett slutförvar diskuterats. Olika definitioner för begränsningarna av dessa områden förekommer. Figur C-3 visar den allmänna begränsningen av områdena.

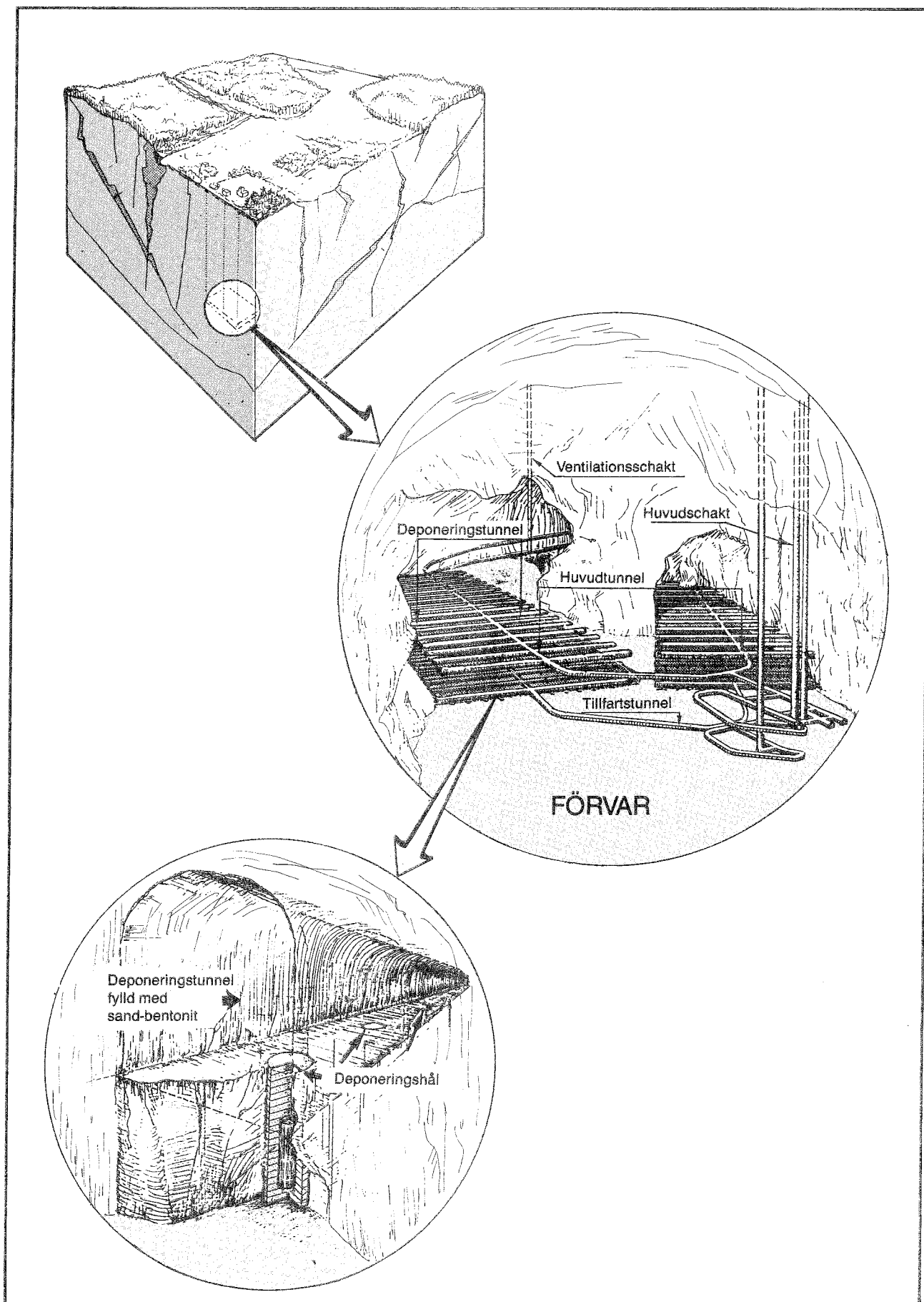
Karakteriseringen av fjärrområdet sker i huvudsak i Steg 1 enligt ovan dvs genom studier på markytan och i hål borrade från markytan. Kompletterande undersökningar görs dessutom längs nedfarten till förvaret dvs i Steg 2. Dessa undersökningar berörs inte av föreliggande förslag till undersökning under berglaboratoriets driftskede.

Enligt KBS-3 definieras närområdet som "det område kring kapseln, där förvaret och dess komponenter direkt påverkar nuklidspridningen då kapseln genombrutits. Påverkan kan vara av kemisk, hydrologisk eller mekanisk art. Närområdets utsträckning varierar i tiden och kan inte exakt anges men kan praktiskt anses sträcka sig upp till något tiotal meter från kapseln". I nedanstående forskningsförslag omfattar närområdet således även bergvolymen mellan de förekommande deponeringstunnlarna (ca 30 meter i ett enplansförvar enligt KBS-3).

Uttrycket "det omedelbara närområdet" begränsas till berggrunden i deponeringshålens omedelbara närhet. Det inkluderar även buffertmaterial som tränger in i förekommande sprickor.

En omfattande erfarenhet har erhållits från tidigare SKB-studier beträffande instrument och metoder för karakterisering av närområdet. I första hand gäller detta resultaten från forskningssamarbetet i Stripa-projektet (radar, seismik och hydrauliska mätningar etc). Även erfarenheterna från de beprövade undersökningsmetoderna inom typområdena har bidragit till att förbättra vår förmåga att karakterisera närområdet. Vidare har tunnelarbeten i Sverige och i utlandet dels lärt oss att förutsäga korsande vattenförande sprickzoner, dels lärt oss hur vi lämpligast tätar dessa mot vattenflöden in till tunneln.

Ovanstående erfarenheter till trots så saknas en fullständig demonstration av hur karakteriseringen av närområdet i ett slutförvar genomförs.



Figur C-3. Schematisk bild av fjärrområdet, närområdet och det omedelbara närområdet till deponeringshålen.

## C 6.2 Mål

Målet med undersökningen är att i naturlig skala demonstrera hur karakteriseringen av närområdet kan genomföras i ett slutförvar. Undersökningen kan delas in i följande delmål.

- Utveckla strategi för karakterisering av närområdet.
- Demonstrera i en lämpligt vald bergvolym hur karakteriseringen genomförs.
- Visa på hur flexibilitet kan uppnås, dvs anpassning av deponeringstunnlar och deponeringshål till bergets egenskaper.

Avsikten med undersökningen är vidare att karakterisera den bergvolym där undersökningen som beskrivs i avsnitt C 7 "Pilotförsök förvarssystem" kommer att genomföras. I detta försök undersöks och påvisas bl a buffertmaterialets påverkan på dels "närområdet" dels det "omedelbara närområdet".

Undersökningen är av naturliga skäl starkt kopplad till berglaboratoriets samtliga huvudmål samt till etappmålet "Demonstrera bygg- och hanteringsmetoder".

Det bör poängteras att förvarsutbyggnad innebär att bl a tunneldrivningsmetoder, metoder för håltagning av kapselpositioner, injektering och försegling kan behöva utvecklas. Dessa behov är identifierade, men planering är inte påbörjad, se vidare avsnitt C 7.

## C 6.3 Utförande

Demonstration av karakteriseringen av närområdet i ett slutförvar begränsas i det följande till deponeringstunnlarna och deponeringshålen. Arbetet startar därför från en simulerad centraltunnel med ca 300-500 meters längd. Denna tunnel kan tänkas utgöra en huvudtunnel i berglaboratoriet varifrån orter utgår för de olika experimenten under driftskedet.

Nedan ges en översiktlig beskrivning av undersökningen. En mer detaljerad studie av den möjliga geohydrologiska karakteriseringen av närområdet kring ett slutförvar pågår redan inom ramen för SKBs övriga FoU-arbete.

### Deponeringstunnlarna

Strategin för att karakterisera närområdet kring deponeringstunnlarna grundas på:

- information från tidigare undersökningar och uppställda förväntningsmodeller,
- information från pilotborrhål och mätningar i dessa,
- information från mätningar under utsprängningen av deponeringstunnlarna,
- information från kartering och registreringar efter utsprängning av tunnlar.

Fyra deponeringstunnlar, maximalt 100 meter långa, är planerade att drivas på ett inbördes avstånd av minimum 30 meter. Fyra pilothål, maximalt ca 125 meter långa, kärnböras med ca 100 meters avstånd i deponeringstunnlarnas tänkta riktning, ut från hu-

vudtunneln. (Längd av pilotborrhål och deponeringstunnlar är delvis beroende av den efterföljande undersökningen om "Pilotförsök förvarssystem" i dessa tunnlar). Läget för pilotborrhålen bestäms utgående från resultaten av karteringen av huvudtunneln och den därefter uppdaterade förväntningsmodellen av berggrundens egenskaper. Kartering av kärnor, bergspänningsmätningar, vattenanalyser, geofysiska och hydrauliska mätningar ger underlag för en ytterligare uppdatering av förväntningsmodellen.

Pilotborrhålen utrustas med flermanschettsystem placerade så att de identifierade vattenförande zonerna kan korreleras vid skapade tryckförändringar. Det är här viktigt att ingen annan aktivitet i berglaboratoriet stör de kontrollerade störningarna och därmed försvårar tolkningen av de vattenförande zonernas läge och samband.

Utgående från resultaten av de sistnämnda hydrauliska mätningarna uppdateras åter förväntningsmodellen och läget och längden av deponeringstunnlarna bestäms.

Innan deponeringstunnlarna sprängs ut injiceras spårämnen i de avmanschetterade sektionerna i pilotborrhålen.

Deponeringstunnlarna karteras efter utsprängning mycket noggrant där eventuella bergartsvariationer, sprickor och andra strukturer registreras. Till dessa data bifogas information om bergspänningar och därtill tillhörande bergmekaniska data, transmissiva zoner, hydraulisk konduktivitet samt vattensammansättning. Denna integrerade information utgör grunden för ett första utlåtande om närområdets egenskaper.

Berggrunden kring deponeringstunnlarna skall störas så lite som möjligt i samband med uttaget. Fullortsborrning bör övervägas men i första hand antas försiktig sprängning. Tester av den störda zonen kring deponeringstunnlarna orsakad av sprängning och spänningsomlagring kommer troligtvis att genomföras i berglaboratoriet. Resultaten från de pågående undersökningarna i Stripa bör dock presenteras innan ytterligare planering sker.

### Deponeringshål

Den integrerade informationen från uttaget av deponeringstunnlarna ger underlag för placeringen av deponeringshålen. Enligt KBS-3-systemet är diametern 1,5 meter och djupet 7,5 meter. Avståndet mellan hålen är 6 meter. Innan läget för dessa hål slutligen bestäms borras vertikala pilotborrhål i sulan för de tänkta lägena. Karaktären på berggrunden avgör hur många pilothål som skall borras men troligtvis kommer pilothål inte att behövas för varje deponeringshål. (Antalet deponeringshål i respektive deponeringstunnel är delvis beroende av den efterföljande undersökningen "Pilotförsök förvarssystem").

I de kärnbörade hålen genomförs radarmätningar och hydrauliska mätningar vilka kompletteras med tunnelradar för att få information om berggrunden mellan pilothålen. Dessutom tas prov för analys av vattnets sammansättning och tidigare tillförda spårämnen.

Efter bearbetning och sammanställning av erhållna data tas beslut om placeringen av deponeringshålen.



Borrningen av respektive deponeringshål föregås dock av ett pilotborrhål som testas i samma omfattning som tidigare borrade pilothål. Om godtagbara resultat erhålles borrar deponeringshålet.

Varje deponeringshål karteras, vattenprovtagas och testas därefter hydrauliskt med en speciell utrustning. De data som då erhålles utgör grund för det slutliga omdömet om respektive deponeringshål. Råder tvekan om hålets lämplighet finns fortfarande möjligheten att inte använda det för deponering.

#### **C 6.4 Prediktioner**

Prediktionerna är en direkt fortsättning på de förväntningsmodeller i olika skalor som tas fram enligt Bilaga A och B.

#### **C 6.5 Utvärdering**

Alla data från undersökningen sammanställs i beskrivande modeller och jämförs med de uppställda förväntningsmodellerna där dessa anger intervall inom vilka erhållna data förväntas ligga. Den slutliga utvärderingen mynnar ut i en modell som beskriver de nuvarande och förväntade framtida egenskaperna hos bergmassan.

#### **C 6.6 Rapportering**

Skriftlig rapportering sker innan beslut tas om läge för deponeringstunnlar respektive deponeringshål.

#### **C 6.7 Anläggningsarbeten**

Utgående från en huvudtunnel med en tvärsnittsarea på ca 25 m<sup>2</sup> fordras fyra subhorisontella kärnborrhål med en ungefärlig längd varierande mellan 50-125 meter. Vidare krävs fyra tunnlar varierande i längd mellan 30-100 meter. Tvärsnittsarean på dessa tunnlar uppskattas till ca 20 m<sup>2</sup>. De kärnborrade pilothålen i deponeringstunnlarna borrar till 10 meters djup och uppskattas till 19 st (3+3+3+10) medan deponeringshålen uppskattas till 11 st (2+2+2+5). Samtliga kärnborrhål bör ha en diameter av 56-76 mm. Deponeringshålen bör i en av deponeringstunnlarna vara i naturlig skala, dvs 1,5 meter. Den detaljerade utformningen av utrymmena sker i mitten av 90-talet. Utspärning sker i den tredje byggnadsetappen i slutet av 90-talet.

#### **C 6.8 Förberedande arbeten**

Utrustning för hydrauliska mätningar i mycket grova hål (upp till 1,5 meter i diameter) måste tas fram.

Vidare fordras ett stort antal icke-sorberande spårämnen.

Slutligen bör någon form av "kriterier" för godtagbara egenskaper — enskilda eller integrerade — diskuteras för att kunna besluta om vad som är "bra" respektive "dåligt" berg.

### **C 7 PILOTFÖRSÖK FÖRVARSSYSTEM**

Det nedan redovisade programmet bygger på att KBS-3-konceptet blir det som väljs i slutskedet. Detta har valts som exempel för att i någon detalj kunna beskriva försöken. Flertalet av de föreslagna proven är emellertid relevanta också om alternativa system av typen horisontella deponeringstunnlar, eller VDH-konceptet (Very Deep Holes) slutligen väljs. Inriktningen av försöket är att studera samverkan mellan berg och buffert.

#### **C 7.1 Bakgrund och nuvarande kunskapsläge**

De fysikaliska egenskaperna och den kemiska beständigheten hos ett flertal väldefinierade buffertmaterial kommer att vara kända i detalj vid tiden för fältförsöken i berglaboratoriet. Enkla och kopplade modeller för deras konduktivitet, diffusivitet, reologiska och termomekaniska beteende samt mineralomvandlingsbenägenhet som följd av de hydrotermala processerna i en deponeringsanläggning kommer också att vara formulerade. Detta gör att man på teoretisk grund kan prediktera värme-, vatten- gas- och jontransporten samt den mekaniska påverkan i det sammansatta systemet buffert/berg i varje skede efter förslutningen av en deponeringsanläggning. Inverkan av olika mindre sannolika scenarier skall också kunna predikteras. Dessa modeller ger möjlighet att utse lämpligaste förvarskoncept och till teknisk/ekonomisk optimering av det slutligt valda konceptet.

I laboratorium och i Stripa har de enskilda funktionerna hos buffertmaterialen kunnat prövas experimentellt. Däremot har man inte haft möjlighet att dokumentera samverkan mellan buffert och berg vid temperaturpåverkan av det slag som uppkommer i en deponeringsanläggning och vid de vattentryck och vattentrycksgradienter som uppstår i en sådan. Effekter av olika berg rörelser på buffert och kapsel i naturlig miljö med kvarstående spänningar har inte provats. Inte heller har man haft tillfälle att fullskaligt pröva de från säkerhetsanalytisk synpunkt viktiga modellerna för diffusion av korroderanter och radionuklider i närområdet. Berglaboratoriet ger emellertid goda förutsättningar härför.

#### **C 7.2 Mål**

Målet för fältforskningen rörande buffert/berg i berglaboratoriet är att genom klarläggande av samverkan mellan berg och slutgiltigt valda buffertar, under förhållanden som råder i deponeringsanläggningar, vali-

dera modellerna och demonstrera funktionen. Vidare är syftet att utveckla och pröva metoder och strategier för deras anbringande.

Delmålen kommer att påverkas bl a av de pågående arbetena bl a inom ramen för Stripa-projektet. Följande delmål kan nu specificeras.

- Provning av teknik för urval av lämpliga lägen för deponeringshål och tunnlar och tillämpning av lämpligaste teknik för borrning med hänsyn till hur borrhningen påverkar bergets funktion (Borrhningsteknik utprovas i förberedande FoU). Se även avsnitt C 6.
- Dokumentation av effekten av lovande metoder för blockering och omstyrning av grundvattenflöde i "störda zonen", dvs i tunnlar och schakts närmaste omgivning under verkliga tryckförhållanden.
- Prövning av termomekaniskt beteende hos systemet uppvärmd kapsel omgiven av högkompakterad smektitlera och berg (Mätning av sättning/hävning hos kapslar, lyftning av tunnelgolv samt påverkan på närfältets hydrauliska konduktivitet som följd av svällningstryck och temperaturpåverkan).
- Verifiering av konceptet för kritiskt gastryck vid högkompakterad smektitlera som omger stål kapsel (Mätning av gastryck, STEM på leran).
- Verifiering av reologiska modeller vid mekanisk långtidspåverkan hos lerbufferten och dess samverkan med berg och kapsel (Svällning, kompression, homogenisering, krypning, berg rörelser).
- Demonstration av teknik för fullskalig applicering i deponeringshål.
- Fullskalig tillämpning av lämplig metod för effektiv inpackning av tunnelåterfyllning och dess samverkan med omgivande berg utprovas i förberedande FoU).

Försöken har betydelse för huvudmålen "Vidareutveckla och demonstrera projektering och byggande" och "Ta fram underlag och data för säkerhetsanalys" och knyter till etappmålen "Demonstrera bygg- och hanteringsmetoder" och "Pröva viktiga delar i förvarssystemet".

### **C 7.3 Utförande, prediktioner och utvärderingar**

Programmet har indelats i åtta delprov som antyder experimentets inriktning.

#### **Delprov 1 "Karakterisering av närområdet"**

Denna aktivitet ingår som första uppgift. I aktiviteten demonstreras hur karakterisering av närområdet kan genomföras vid försvarsutbyggnad. En detaljerad beskrivning återfinns i avsnitt C 6.

#### **Delprov 2 "Åtgärdande av störda zonen"**

Identifiering och åtgärdande av konduktiva zoner av betydelse för buffertförsöken görs i samband med iordningställande av försökstunnlar. Arbetet kan bl a innebära utförande av injekteringsskärmar. I berglaboratoriet förses anordningarna med omfattande pie-

zometerutrustning för att dokumentera tätningsinsatsernas effekt under aktuella, höga vattentryck.

Före försökets genomförande predikteras effekter av åtgärderna beträffande förändring av tryck- och flödessituationen runt tunnarna. Resultaten kan utvärderas genom att tryck och flöde runt tunnarna mäts före och efter åtgärderna.

#### **Delprov 3 "Karakterisering av omedelbara närzonen, tätning"**

Karakterisering sker av omedelbara närzonen närmast kapselhål och injekteringsbehov bedöms. Därefter sker eventuell injektering. Borrning av fullstora deponeringshål och karakterisering av närzonen genomförs varefter jämförelse sker mellan prognos och verklighet med avseende på t ex spricksystem och vattenomsättning. Totalt kan det röra sig om 10 större hål som används för efterföljande undersökning.

#### **Delprov 4 "Termomekanik"**

I två av storhålen mäts sättning/hävning hos kapslar och omgivande berg i ett realistiskt uppvärmnings/avsvälningsscenario. Prediktering av det termomekaniska skeendet görs med bl a sprickgeometri runt hålen som indata. Genom mätning av temperatur, vattentryck och deformationer i berg och buffertmaterial kan resultaten utvärderas.

#### **Delprov 5 "Gaskonceptet"**

Efter vattenmättnad av bentoniten induceras gastryck vid kapselperiferin vid normaltemperatur respektive vid hög temperatur. Det kritiska gastrycket och gaspenetrationsvägarna i berget predikteras och utvärderas.

#### **Delprov 6 "Reologisk berg-buffertsamverkan"**

Möjliga händelser i deponeringshål simuleras. Dessa föregås av modellbaserade prediktioner varvid en jämförelse och validering av beräkningsmodellerna erhålles. Ett sådant scenario kan vara bergskjuvning med kvarstående höga spänningar och därav uppkomna krypningar. Ett annat scenario kan vara svällning och homogenisering av smektitleran från ett deponeringshål in i uppkomna stora bergsprickor eller öppningar. Ett tredje scenario kan vara att studera effekter av initierat extremt inhomogen smektitlera i deponeringshål.

#### **Delprov 7 "Applicering av bentonit och kapsel"**

Tekniken för att applicera uppvärmd kapsel, omgiven av högkompakterad bentonit i blockform, i deponeringshål ska demonstreras. Detta görs i full skala med det slutliga valet av geometri och material.

#### **Delprov 8 "Tunnelåterfyllning"**

I en separat ort utan deponeringshål packas återfyllning av lämpligt sammansatt typ (bergkross/ bentonit) in med hjälp av en i förberedande FoU utprovad metod. Orten förseglas med en kraftig vägg kompletterad med injekteringsskärm så att höga vattentryck kan

byggas upp. Omfattande piezometerinstallationer görs för att dokumentera tryckuppbyggnaden som förväntas vid tätningen av störda zonen. Undersökningen görs vid normaltemperatur.

Vattenströmningen i berget och buffertmassan och tryckuppbyggnaden i berget predikteras och utvärderas.

### **C 7.5 Dokumentation**

Förutom löpande delrapportering skall varje förberedande arbete och varje delprov avrapporteras vid respektive provs slut. En sammanställning av resultaten och slutsatserna och en syntes av samverkan berg/buffert görs efter hela projektets slut.

### **C 7.6 Anläggningsarbeten**

Undersökningen kräver fyra stycken orter. Två av orterna skall vara ca 50 meter och de övriga ca 25 meter långa. Dessutom krävs borrning av ca 10 deponeringshål med diametern 1.5 meter och djupet 8-10 meter. Eftersom försöken skall genomföras med infiltration av olika ämnen och trycksättning av vattenfyllda borrhål,

är behörigt avstånd till övriga försöksstationer en förutsättning. Ett underjordiskt laboratorium och en datorcentral med en sammanlagd yta av ca 5×15 meter bör anläggas i anslutning till de fyra orternas öppningar. En del slitsar och ett stort antal borrhål ingår också i de erforderliga bergarbetena.

### **C 7.7 Förberedande arbeten**

Det förberedande arbetet omfattar tre huvudmoment.

- Detaljerad planering av försöken och verifiering av programkoder. Denna kan ske först då metod för förvar har valts i mitten av 90-talet.
- Utveckling av teknik för borrning av deponeringshål enligt KBS-3-konceptet fordrar ny teknik och i samband därmed en analys av hur det primära spänningsfältet och de inducerade spänningarna i det omgivande berget påverkar sprickvidd och sprickkontinuitet.
- Utveckling av teknik för packning av tunnelåterfyllning.