



UNDERLAGSRAPPORT TILL
FUD-PROGRAM 92

Kärnkraftavfallets behandling och slutförvaring

Äspölaboratoriet

September 1992

SVENSK KÄRNBRÄNSLEHANTERING AB

BOX 5864 S-102 48 STOCKHOLM

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

UNDERLAGSRAPPORT TILL
FUD-PROGRAM 92

Kärnkraftavfallets behandling och slutförvaring

Äspölaboratoriet

September 1992

FÖRORD

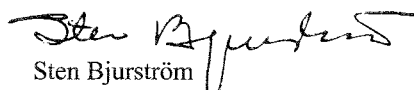
Lagen om kärnteknisk verksamhet (SFS 1984:3) föreskriver i sin 12 § att ett program skall upprättas för den allsidiga forsknings- och utvecklingsverksamhet och de övriga åtgärder som behövs för att på ett säkert sätt hantera och slutförvara det radioaktiva avfallet m m från kärnkraftverken. Skyldigheten åligger primärt ägarna till kärnkraftverken. Dessa har uppdragit åt SKB att utarbeta det föreskrivna programmet. Detta skall enligt kärnteknikförordningen (SFS 1984:14) 25 § redovisas under september månad vart tredje år.

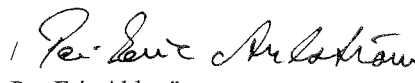
Syftet med detta 3:e program är att fullgöra ovanstående redovisningskrav.

Programmet redovisas i en huvudrapport och i tre underlagsrapporter. Programmet kallas FUD-program 92 där FUD står för Forskning, Utveckling och Demonstration. Skälet till namnförändringen jämfört med tidigare FoU-program är att betona att verksamhetens tyngdpunkt förskjuts mot att demonstrera olika delar av valt försvarssystem i och med arbetena vid Äspölaboratoriet och de planer som redovisas i detta program. Huvudrapporten beskriver programmet i sin helhet. Denna underlagsrapport ger en mer detaljerad redovisning av arbetena vid Äspölaboratoriet. Övriga underlagsrapporter behandlar de insatser som sker och som planeras för att lokalisera ett djupförvar och icke Äspö-anknutna FoU-arbeten under perioden 1993-1998.

Stockholm i september 1992.

SVENSK KÄRNBRÄNSLEHANTERING AB


Sten Bjurström
VD


Per-Eric Ahlström
Forskningschef

INNEHÅLL

1	INLEDNING	7
1.1	BAKGRUND	7
1.2	ÄSPÖLABORATORIET OCH LOKALISERING AV DJUPFÖRVARET FÖR DEMONSTRATIONSDEPONERING	7
2	MÅL	9
2.1	GENERELLA MOTIV	9
2.2	HUVUDMÅL	10
2.3	ETAPPMÅL	10
2.4	KOMMENTARER TILL MÅLEN	11
3	ÄSPÖLABORATORIET OCH TILLSTÅNDSÄRENDEN	15
4	ÄSPÖLABORATORIETS FORSKNINGSPROGRAM	17
5	FÖRUNDESRÖKNINGSSKEDETS RESULTAT	19
5.1	PROGRAM	19
5.2	GENOMFÖRANDE	19
5.3	ÖVERSIKTLIGA FÖRUNDESRÖKNINGSRESULTAT	21
5.4	RESULTAT FRÅN FÖRUNDESRÖKNINGSSKEDET I FÖRHÅLLANDE TILL ETAPPMÅLEN	23
5.4.1	Delresultat med hänsyn till Etappmål 1 – Verifiera förundersökningsmetoder	23
5.4.2	Delresultat med hänsyn till Etappmål 3 – Pröva modeller för grundvattenströmning och radionuklidmigration	28
6	ANLÄGGNINGSSKEDET – PROGRAM OCH RESULTAT	35
6.1	TEKNISKT PROGRAM FÖR 1992–1994	35
6.1.1	Allmänt	35
6.1.2	Program för anläggningsskedet 1992–1994	36
6.2	RESULTAT FRÅN ANLÄGGNINGSSKEDET I FÖRHÅLLANDE TILL ETAPPMÅLEN	38
6.2.1	Delresultat med hänsyn till Etappmål 1 – Verifiera förundersökningsmetoder	38
6.2.2	Delresultat med hänsyn till Etappmål 2 – Fastställa detaljundersökningsmetodik	38
7	PROGRAM FÖR DRIFTSKEDET – SAMMANFATTNING	47
7.1	MÅL FÖR DRIFTSKEDET	47
7.2	EXPERIMENT- OCH DEMONSTRATIONSPROGRAM 1995-1998	47
7.3	TIDPLAN FÖR DRIFTSKEDET	49

8	GENOMFÖRANDE	51
8.1	ORGANISATION	51
8.2	RAPPORTERING	51
8.3	KVALITETSSÄKRING AV DATAHANTERING OCH ANALYS	51
8.4	INTERNATIONELL MEDVERKAN	52
8.5	INFORMATIONSVERKSAMHET	52

REFERENSER

BILAGA A

Program för undersökningar och experiment under driftskedet

BILAGA B

Lista över rapporter från Äspölaboratoriet

1 INLEDNING

1.1 BAKGRUND

De vetenskapliga undersökningarna inom SKBs forskningsprogram är ett led i arbetet med att utforma ett djupförvar och att utse och undersöka en lämplig plats.

En sammanvägning av de fakta, krav och värderingar som gjordes vid utarbetandet av FoU-program -86 /1/ ledde till förslaget om byggande av ett underjordiskt berglaboratorium. Detta förslag presenterades i nämnda forskningsprogram och fick ett mycket positivt mottagande av remissorganen.

SKB påbörjade hösten 1986 fältarbeten för lokalisering av ett underjordiskt berglaboratorium till Simpevarpsområdet i Oskarshamns kommun. I slutet av 1988 fattade SKB ett principbeslut om lokalisering av anläggningen till södra Äspö ca 2 km norr om Oskarshamnsverket. Efter myndighetsprövning lät SKB under hösten 1990 inleda utsprängningen av tillfartstunneln till Äspölaboratoriet. Tunneln planeras bli drygt 3400 m lång och nå ett djup av ca 460 m. I samband med tunneldrivningen, som nu (september 1992) befinner sig på ett djup av drygt 200 m under markytan, har ett flertal undersökningar genomförts.

Denna underlagsrapport till SKBs FUD-program 92 bygger på de tidigare underlagsrapporterna för Äspölaboratoriet inom FoU-programmen -86 och -89 /2/. Rapporten ger en generell bakgrund, en målbeskrivning samt en presentation av projektets hittills erhållna resultat och kommande genomförande. I förhållande till de tidigare underlagsrapporterna ägnas här mer utrymme åt experimentplaneringen och den framtida demonstrationsverksamheten.

1.2 ÄSPÖLABORATORIET OCH LOKALISERING AV DJUPFÖRVARET FÖR DEMONSTRATIONSDEPONERING

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 många sk typområden. Dessa platsundersökningar sammanfattas i en underlagsrapport till detta FUD-program 92 (Lokalisering av ett djupförvar). Vidare har omfattande arbeten utförts vid Stripa gruva inom ramen för det internationella Stripa-projektet. Speciella forskningsprojekt inriktade på egenskaperna hos sprickzoner har likaså genomförts bl a vid typområdet Finnsjön och inom det sk Lansjärvsprojektet. För en redovisning av resultaten från dessa arbeten hänvisas 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 djupförvar. Lokaliseringen behöver därför inte i första hand eller enbart styras av de geologiska förhållandena.

Arbetet fram till dess att allt kärnavfall i Sverige finns deponerat i ett slutet djupförvar planeras bli utfört i två huvudfaser: Demonstrationsdeponering och slutförvaring. Totalt sträcker sig arbetet över en period på mer än 60 år. Beslutet att ta steget till slutförvaring tas inte förrän efter genomförd demonstrationsdeponering, utvärdering av resultaten och övervägande av andra alternativ. Dessa beslut ligger i tiden efter år 2010.

Lokaliseringsprocessen ställer olika krav på underlag i olika skeden. En väl karakteriserad bergvolym vid Äspölaboratoriet ger möjligheter att pröva tillämpning och pröva begränsningar för olika teorier och modeller i olika skalor. Likaså kan olika förvarsdelar demonstreras och provas under realistiska förhållanden i berg.

I ett tidigt skede krävs i första hand förmåga att på basis av förundersökningar påvisa att platsen kan erbjuda bergvolym med låg vattenomsättning, gynnsamma kemiska förutsättningar och mekanisk stabilitet. Allteftersom beslutsprocessen fortgår och allteftersom prognosmodellerna och säkerhetsanalyserna detaljeras kommer specifika krav att ställas på mer detaljerad information. Med hjälp av verkligt underbyggda och platsspecifika data från Äspölaboratoriet ges möjligheten att genomföra och utvärdera dessa prognosmodeller och säkerhetsanalyser inför de undersökningar som kommer att genomföras för djupförvaret.

Äspölaboratoriet är samordnat med lokaliseringsprocessen. För att möta lokaliseringsprogrammets krav har till exempel vissa etappmål formulerats för laboratoriet, se vidare avsnitt 2.3. Dessa etappmål är styrande för struktureringen av FUD-programmet för Äspölaboratoriet.

2 MÅL

2.1 GENERELLA MOTIV

Hittills genomförda undersökningar av tänkbara försvarsplatser – s k typområden – 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 djupförvar. Anläggandet av Äspölaboratoriet ger utmärkta möjligheter till en sådan verifikation.

De detaljerade undersökningar av en kandidatplats som planeras under senare delen av 1990-talet kommer att innehålla undersökningar av berget från schakt och tunnlar på försvarsnivå. Dessa detaljerade platsundersökningar omfattar de fältundersökningar och analyser, som skall ge den slutliga bekräftelsen på att en vald plats är lämplig för djupförvaring 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 uppfyller kraven i kärntekniklagen (KTL), samt naturresurslagen (NRL). 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. Prov på ett tidigare ostört område, vid Äspölaboratoriet, ger ytterligare möjligheter att utveckla och finslipa metoderna innan de s a s används ”på riktigt”.

Ett centralt och samtidigt besvärligt problem i analysen av djupförvarets 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. 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 hopknytningsförsök har gjorts inom ramen för fas 3 av Stripaprojektet. Inför lokaliseringen av djupförvaret behöver liknande hopknytningar ske i större skala för att stärka det experimentella underlaget för den långsiktiga säkerhetsanalysen. Ett sådant storskaligt prov genomförs nu vid Äspölaboratoriet.

Bergvolymen närmast en avfallskapsel, närområdet, har stor betydelse för att hindra borttransport av radionuklider och således bör forskning inriktas på att öka förståelsen av processer i närområdet. Detta kan ske genom experimentell verksamhet och i full skala i Äspölaboratoriet.

När man har valt en principutformning för djupförvaret behöver man prova de olika delar som ingår i detta system. Speciellt viktigt är att pröva och demonstrera växelverkan mellan tekniska barriärer och berg i en så realistisk miljö som möjligt, dvs hänsyn skall kunna tas till berggrundens heterogenitet. I första hand blir det fråga om långtidsförsök och demonstrationsförsök i fullstor eller representativ skala. Även ”förstörande” prov kan bli aktuella. Detta är ytterligare ett motiv för anläggandet av Äspölaboratoriet.

Inför byggandet av djupförvaret 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 dokumenterad kvalitet för att tillgodose säkerhetskraven. Ett prognosarbete om berggrunden kommer med andra ord att pågå parallellt med förvarets utbyggnad. Inom ramen för Äspölaboratoriet kan denna samordning provas och utvärderas under realistiska förhållanden.

Vid SKB pågår även studier av de radiologiska konsekvenserna i biosfären om barriärfunktionerna i förvaret av någon anledning ej ger tillräcklig säkerhet. Om utsläpp skulle ske inom storleksordningen av några tusental år, t ex pga en tidig kapselskada, är förvarsplatsens lokala ekosystem väsentligt för följderna av nuklidspredningen. Äspölaboratoriet erbjuder möjligheter till att genomföra plats-specifika ytära modellstudier där hänsyn tas till olika nuklidens aktivitetsfördelning i mark och vatten.

Mot bakgrund av ovanstående motiv har SKB startat anläggandet av Äspölaboratoriet. Laboratoriet ger en möjlighet till forskning och utveckling i en realistisk och ostörd bergmiljö ned till djup som planeras för det framtida djupförvaret. Äspölaboratoriet utgör således ett viktigt komplement till det övriga arbete som bedrivs inom SKBs forskningsprogram.

Kraven på forskningens kvalitet är mycket hög och en övergripande ambition bör vara att Äspölaboratoriet utvecklas till ett internationellt ledande centrum för forskning och utveckling rörande anläggning av djupförvar för högaktivt avfall i kristallin berggrund.

2.2 HUVUDMÅL

FoU-verksamheten i Äspölaboratoriet har följande huvudmål:

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

Det sista målet är generellt för SKBs hela forskningsprogram.

2.3 ETAPPMÅL

För att uppfylla lokaliseringsprogrammets övergripande tidplan har följande etappmål ställts upp för verksamheten vid Äspölaboratoriet.

Inför lokaliseringen av demonstrationsförvaret för använt bränsle, i mitten av 1990-talet, skall man med verksamheten vid Äspölaboratoriet:

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

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

Som underlag för en bra optimering av djupförvarssystemet och för en säkerhetsanalys inför lokaliseringsansökan behöver man:

3 Prova modeller för grundvattenströmning och radionuklidmigration

- vidareutveckla och i stor skala på förvarsdjup pröva metoder och modeller för bestämning av grundvattenflöde och radionuklidmigration.

Inför byggandet av djupförvaret för demonstrationsdeponering, som planeras bli påbörja i början av nästa sekel, 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 utformning, byggande, utförande och drift av djupförvar, samt

5 Prova viktiga delar i förvarssystemet

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

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.

2.4 KOMMENTARER TILL MÅLEN

Huvudmålen för Äspölaboratoriet är att vidareutveckla och/eller pröva tre olika slag av färdigheter inför byggandet av ett djupförvar

- teknik att karakterisera berg,
- teknik att anpassa ett förvar till bergets lokala egenskaper,
- 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 Äspölaboratoriet anknyter i ett tidigt skede till förmågan att på basis av förundersökningar kunna tolka grundvattnets strömning och kemi på möjligt förvarsdjup.

Verifiera förundersökningsmetoder

(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.

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

Undersökning av berget är en successiv process, där bedömningar av berggrunden kan ske i flera steg. Utlåtanden kan lämnas redan efter geologiska kartstudier. Preliminära modeller av berggrunden kan upprättas och därefter kompletteras i efterföljande undersökningssteg. I Äspölaboratoriet 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 berg rörelser. Anläggningsskalan, ca 1 km², är relevant för att utforma förvaret i förhållande till befintliga sprickzoner och för att anvisa lämpliga bergvoly-

mer 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 tunnlar 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 tunnlar 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 djupförvaret. 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 djupförvaret. Varje utbyggnadsetapp föregås av förundersökningar med tillämpning av i princip samma teknik och metoder som vid förundersökningar från markytan. I anläggningsskedet är det således av än större vikt att dessa metoder är väl prövade och verifierade.

Fastställa detaljundersökningar

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

Pröva modeller för grundvattenströmning och radionuklidmigration

(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. Äspölaboratoriet 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.

Demonstrera bygg- och hanteringsmetoder

(Etappmål 4)

Ett djupförvar består av ett stort antal delar som sinsemellan är lika. Ett KBS-3-förvar t ex består av några tusen kapslar som var och en omges av högkompakterad bentonit i ett deponeringshål. De olika komponenterna (bränsle, kapsel, lera, berg) samverkar för att åstadkomma ett säkert förvar. Andra viktiga komponenter är t ex tätningspluggar för schakt, borrhål eller tunnlar, injekteringskärmar för avledning 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 utanläggningsskede. Innan förvarsutbyggnad sker är det också möjligt att demonstrera olika metoder för att göra tunnlar och deponeringshål, t ex borrhining/sprängning eller fullborrning. I laboratoriet ges även möjligheten att testa vilka mätningar och analyser som skall ske 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 djupförvarssystemet.

Pröva viktiga delar i förvarssystemet

(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 ÄSPÖLABORATORIET OCH TILLSTÅNDSÄRENDEN

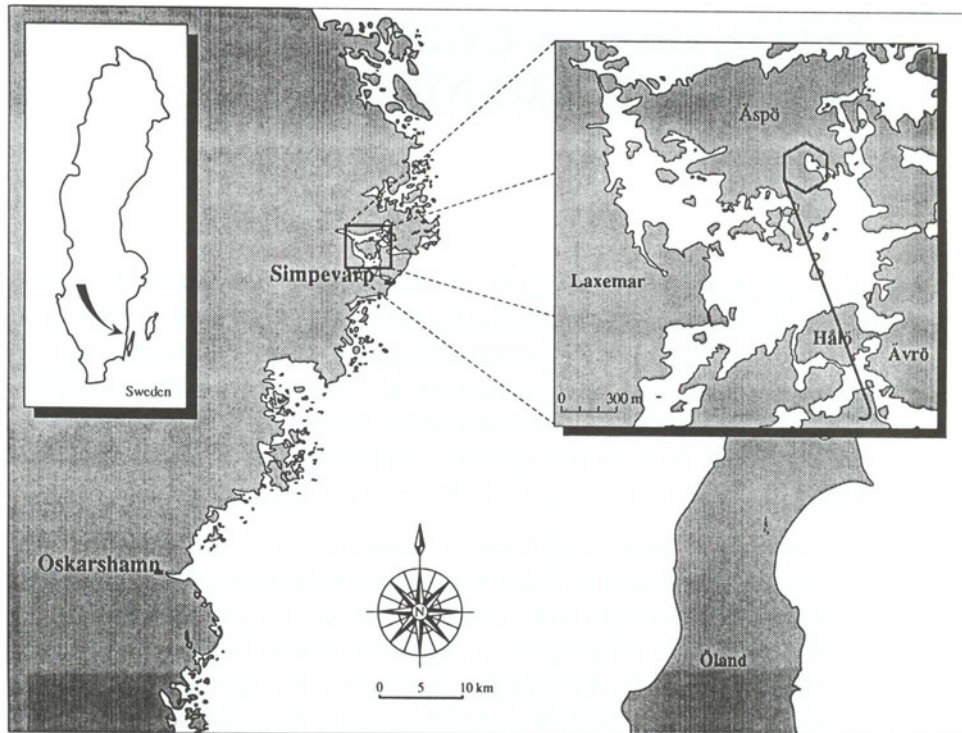
I FoU-program -86 konstaterades att ett berglaboratorium borde lokaliseras till en ort där man har befintlig service och annan för forskningsarbetet nödvändig infrastruktur. I första hand borde något av kärnkraftslägena, lämpligen Simpevarp i Oskarshamns kommun, undersökas. Undersökningar på och från markytan i Simpevarpsområdet inleddes under hösten 1986 och har sedan fortsatt till 1990. På grundval av erhållna resultat fattade SKB ett principbeslut om lokalisering av Äspölaboratoriet till södra Äspö – se Figur 3-1 och Figur 3-2. Motiven för denna plats var bl a att

- kravet på ostörda förhållanden i berggrunden och grundvattnet kan tillgodoses. Genom placeringen 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 stationering av forskare, möten m m.

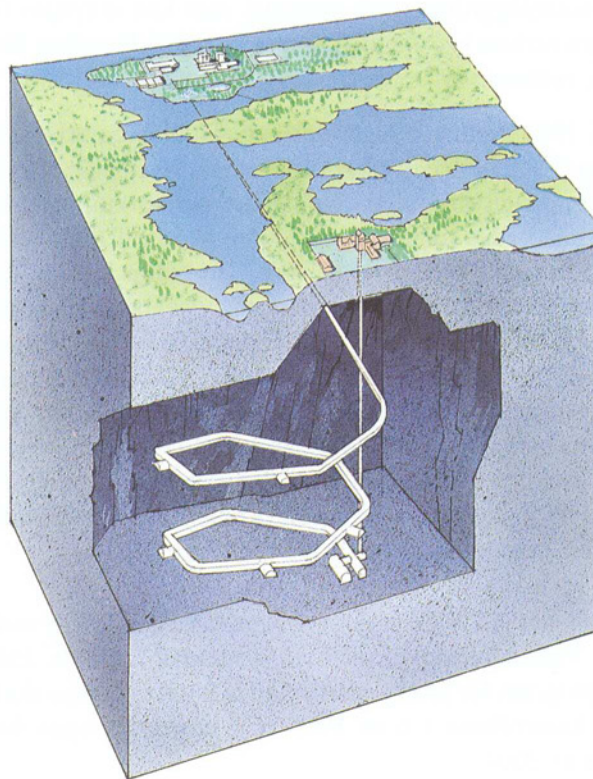
I augusti 1989 beslutade regeringen att Äspölaboratoriet skulle prövas enligt Naturresurslagen (NRL) och den 19 april 1990 erhöles tillstånd av regeringen för etableringen av verksamheten till Äspö. Tillståndet var förknippat med vissa villkor. Av yttre miljöskäl ändrades tunnelpåslaget från Äspö till Simpevarpshalvön vilket inneburit en ca 1,5 km lång tillfartsramp under Borholmsfjärden fram till Äspö. En samrådsgrupp med företrädare för länsstyrelsen, Oskarshamns kommun, Oskarshamnsverket (OKG) och SKB bildades för att behandla vissa miljöfrågor. Denna grupp har under perioden 1990–1991 bl a löst användningen och avyttringen av de sprängstensmassor som uppkommer. Byggnadslov för tunnelpåslaget och etableringen vid Simpevarp erhöles av kommunen i juni 1990. För aktiviteterna på Äspö (Äspö by och berganläggningen) krävdes godkännande av ny detaljplan enligt Plan- och Byggnadslagen (PBL). Detaljplanen har prövats och godkänts av kommunen, länsstyrelsen liksom av regeringen, vilken gav sitt tillstånd i oktober 1990.

Verksamheten vid Äspö regleras enligt vattenlagen och vattendom erhöles efter prövning av Vattendomstolen i Växjö i september 1990. Ett viktigt villkor är att ett kontrollprogram för grundvattenstånd och vattenanalys skall genomföras. Fastighetsbrunnar kontrolleras t o m 1995 och projektets egna borrhål kontrolleras t o m utgången av 2004.

Avslutningsvis kan nämnas att själva platsen för Äspölaboratoriet inte är aktuell för lokalisering av demonstrationsförvaret. Om man emellertid finner lämpliga geologiska förhållanden i närheten så kan detta bli en av de kandidatplatser som detaljundersöks inför lokaliseringen av förvaret.



Figur 3-1. Simpevarpsområdet med omgivningar.



Figur 3-2. Åspölaboratoriets tillfartsramp har sin början på Simpevarpshalvön. Via två spiralvarv når rampen ca 460 m djup.

4 ÄSPÖLABORATORIETS FORSKNINGSPROGRAM

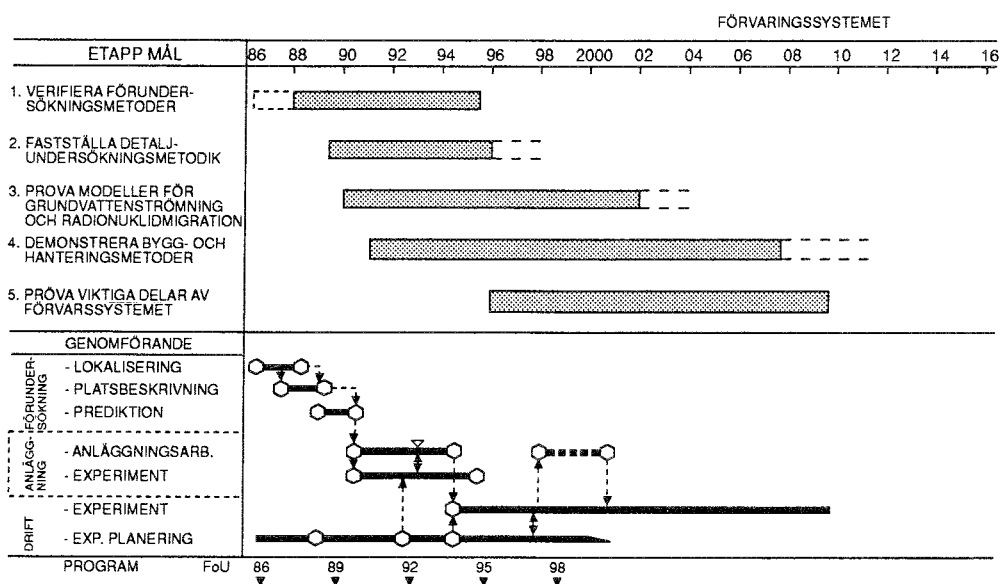
Äspölaboratoriets program har indelats i tre skeden, dvs ett förundersökningsskede, ett anläggningskede och ett driftskede.

I likhet med SKBs övriga forskningsprogram, är det vitalt att detaljer i programmet stegvis växer fram efterhand som fältdata, resultat, modeller och erfarenheter tillkommer. I Figur 4-1 presenteras gällande huvudtidplan.

I **förundersökningsskedet** lokaliserades laboratoriet. De naturliga förhållanden i berggrunden analyserades och beskrevs. Parallellt med förundersökningarna har projektets anläggnings- och driftskede planerats.

Under **anläggningskedet** 1990–1994 skall flera undersökningar och försök parallellt med byggnadsverksamheten genomföras.

Driftskedet inleds 1995. I föreliggande underlagsrapport anges inriktningen på de undersökningar och försök som genomförs under driftskedet. Det slutliga programmet för driftskedet anpassas till resultat från andra projekt och till erfarenheter från anläggningskedet.



Figur 4-1. Huvudtidplan för förundersöknings-, anläggnings- och driftskede, september 1992.

5 FÖRUNDERSÖKNINGSSKEDETS RESULTAT

5.1 PROGRAM

Förundersökningsprogrammet för Äspölaboratoriet har genomförts under perioden 1986 – 1990 med följande syften, vilka angivits i FoU-program -86 och med en fördjupad beskrivning i FoU-program -89.

- Upprätta det geovetenskapliga underlag som behövs för att bedöma om det är möjligt att lokalisera ett underjordiskt berglaboratorium kring Simpevarp och då täcka behovet av detaljerade undersökningar för validering.
- Upprätta det underlag som erfordras för berglaboratoriets preliminära anläggningslayout.
- Upprätta program för schaktsänkning/tunneldrivning och mätningar.
- Upprätta en prognos för de geohydrologiska och geokemiska förändringar som inträffar i samband med att berglaboratoriet byggs.

Förundersökningsskedet har varit indelat i tre etapper

- lokaliseringsetappen,
- platsbeskrivningsetappen och
- prediktionsetappen.

5.2 GENOMFÖRANDE

Det rubricerade skedet har bedrivits som ett projekt med projektledare och ämnesansvariga för geologi, bergmekanik, geohydrologi, vattenkemi, instrument och fältarbeten.

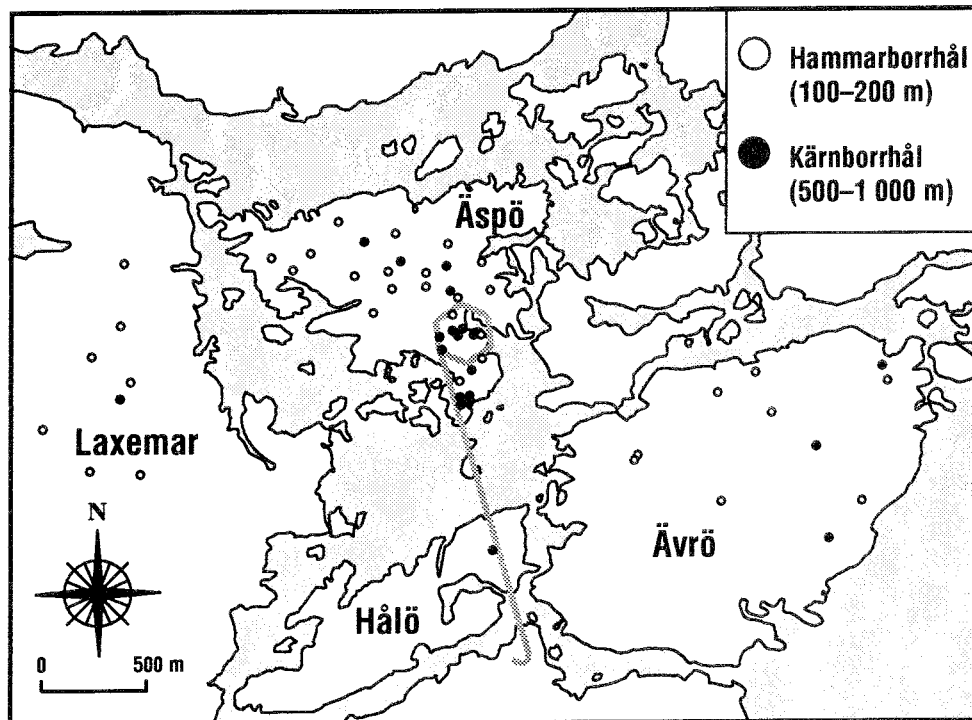
Lokaliseringsetappen påbörjades med en regional undersökning som omfattade ett flertal olika flyggeofysiska metoder (magnetometriska, radiometriska, slingram samt VLF-teknik). På öarna Ävrö, Äspö och i Laxemar-området kompletterades därefter de flyggeofysiska undersökningarna med gravimetrisk mätning och markgeofysik i form av magnetometri och VLF-mätning. Lineament i Simpevarps-området tolkades från olika digitala terrängmodeller och berggrunden karterades i skala 1:10000 runt Simpevarp och i skala 1:50000 i ett regionalt område. Sprickkartering och tektoniska studier genomfördes med huvudsakligt syfte att beskriva sprickgeometrier samt att karakterisera de huvudsakliga tektoniska zonerna i regionen. Regionala data från SGUs brunnarsarkiv analyserades. Geohydrologiskt underlag från kärnkraftsverkens och CLABs anläggande ställdes samman. En inventering av grundvattenkemin inom Kalmar län utfördes med hjälp av SGUs brunnarsarkiv och då för ytligt grundvatten. Ett antal hål hammarborrades för att få information om bergartstyp och vattengenomsläpplighet i de ytligare delarna av berggrunden. På Äspö borrades inledningsvis tolv hammarborrhål, på Ävrö fyra hål och i Laxemar-området utfördes sju hål.

Platsbeskrivningsetappen har omfattat borrhingsverksamhet på Äspö, Ävrö och inom Laxemar-området vid flera tillfällen. En preliminär geologisk och hydrogeologisk och vattenkemisk modell för Äspö upprättades på grundval av tre kärnborrhål. Ett referenshål kärnborrades inom Laxemar. Äspö berggrundkarterades i skala 1:2000 och mycket detaljerade bergartsbestämningar genomfördes längs rensopade ca 3 m breda hållstråk som hade sträckning över hela ön. En detaljerad strukturgeologisk

analys gjordes med hjälp av en nyproducerad topografisk karta i skala 1:4000. En omfattande sprickkartering genomfördes på hållarna utmed de upprensade stråken. Sprickdata analyserades med avseende på bl a strykning, stupning, densitet, längdfördelning och medelavstånd mellan sprickgrupper. Den lokala tektoniska bilden tolkades utifrån magnetometri och geoelektrik över hela Äspö och markradarmätningar kompletterade resultaten på södra delen av ön. Hydrogeologiska undersökningar utfördes med hjälp av långvariga pumptester (interferenstester), spinnermätningar, injektionstester och "air-lift tester" i borrhålen varvid de huvudsakliga hydrauliska ledarna i berget identifierades. Randvillkor i det hydrogeologiska modellarbetet erhöles genom lokala hydrologiska studier. De vattenkemiska förhållandena mot djupet klargjordes med provtagning och analys från vattenförande avsnitt i borrhålen KAS 02, 03, 04 på Äspö och från borrhålet KLX 01 i Laxemar-området.

Prediktionsetappen hade som huvudsakligt syfte att utvärdera och sammanställa alla data till prognoser över vad som förväntas i berget när man successivt spränger sig nedåt på Äspö. Baserat på de lokala undersökningarna valdes södra Äspö som lämpligaste lokalisering för laboratoriet. Under denna etapp kompletterades även undersökningarna med hammarhål, kärnborrhål till 500 m djup och pumptester. Vidare genomfördes omfattande borrhålsgeofysiska mätningar, bergspänningsmätningar och refraktionsseismik. Eftersom tunnelpåslaget flyttades till Simpevarpshalvön kärnborrades ett i det närmaste horisontellt, över 700 m långt undersökningshål (KBH 02) parallellt med tillfartsrampen. Totalt sett har tjugo hammarborrhål och fjorton kärnborrhål utförts från ytan på Äspö, se Figur 5-1, under förundersökningskedet.

Förundersökningsprogrammet avslutades med ett kombinerat pumptest och spårämnesförsök då vattentrogna kortlivade radioaktiva spårelement användes för att studera konnektivitet mellan vattenförande zoner och för att få mått på bergets flödesporositet.



Figur 5-1. Borrhålsprogrammet har varit omfattande på Äspö. Totalt har från markytan utförts 20 hammarborrhål och 14 kärnborrhål.

5.3 ÖVERSIKTLIGA FÖRUNDERINGSRESULTAT

Resultaten från **lokaliseringsetappen** har redovisats i SKB Teknisk Rapport TR 88-16. Sammanfattningsvis visar bergbeskrivningen i regional skala att Simpevarps-området huvudsakligen består av granitisk berggrund (smålandsgranit) med inslag av basiska bergarter, grönstenar. Informationen från de geologiska och geofysiska undersökningarna visar en tektonisk bild av Simpevarps-området som domineras av ett nästan ortogonalt system av sprickor och sprickzoner i N-S respektive E-W riktning. Vid sidan av detta system finns zoner och spricksystem i riktning NW och NE som också bildar ett nästan ortogonalt system. Det finns troligen också flacka, subhorisontella strukturer.

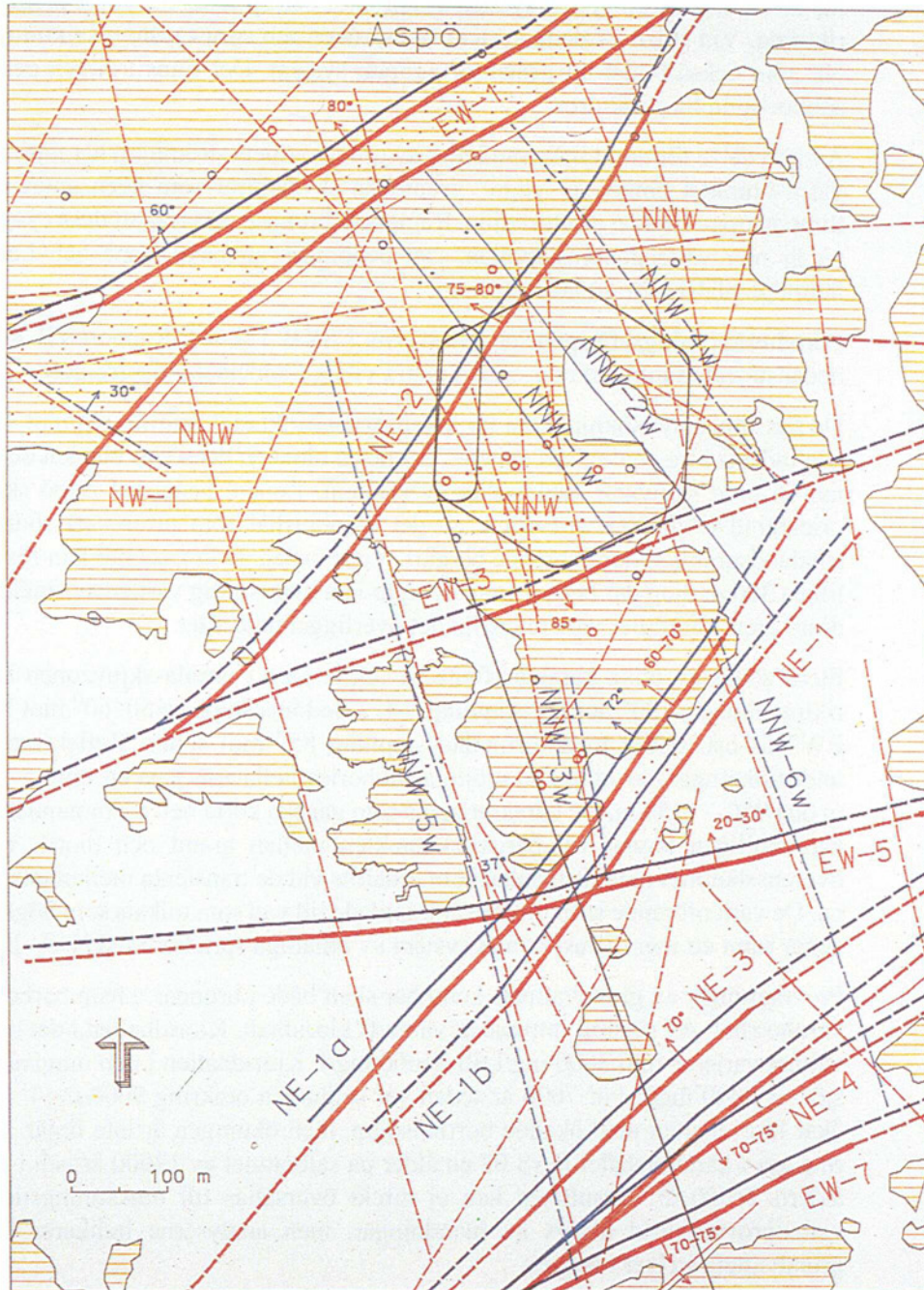
Av betydelse för numeriska modeller av grundvattnets strömning har varit att Simpevarps-området omges av yngre, granitiska sk diapirer som även antas underlagra Simpevarps-området på stort djup. Regionala brunndata visar att dessa yngre bergarter är mer vattengenomsläppliga. Det bedömdes att både Äspö och Laxemar var lämpliga platser för ett laboratorium.

Platsbeskrivningsetappen har redovisats i SKB Teknisk Rapport TR 89-16. I det nedanstående sammanfattas enbart några viktiga undersökningsresultat.

De fortsatta undersökningarna för lokalisering inriktades framför allt mot Äspö. Äspö kan indelas i tre geologiska enheter, det norra blocket, det södra blocket och däremellan en bred skjuvzon med inslag av mylonit. Zonen, benämnd Äspö skjuvzon, är orienterad ONO-NO. Att döma av det kärnbråhål 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, diorit, som förefaller vara tätare än det överliggande berget.

Flera zoner av olika karaktär finns på Äspö. Den centrala skjuvzonen har NO-lig riktning med ca 80° nordlig stupning, NE 1 bedöms stupa ca 50–60° mot NV. Zonen EW3 är öst-västlig med förmodad stupning 85° mot söder. 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 mellanhålmätningarna. De vattenförande strukturerna är kopplade till vad som tolkats som högkonduktiva zoner samt ett mer diffust uttalat system av uthålliga sprickor med NNV-lig riktning.

Provtagningar av grundvattnets kemi har skett både i brunnar, i hammarbråhål och i kärnbråhål. Av särskilt intresse är vattnets kloridhalt. Kloridhalten i det salta grundvattnet 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 bråhålen ökar kloridhalten med ökande bråhålsdjup, men ökningen är inte linjär. C-14 datering ger i kärnbråhålet KAS 02 en ålder på saltvattnet av 13000 år och i KAS 03 är åldern 21000 år. Resultaten kan ej direkt översättas till omsättningstid eftersom vattenprover alltid utgörs av blandningar, men analyserna indikerar långsamma grundvattenrörelser i berget.



Figur 5-2. Sprickzoner och vattenförande strukturer på södra Äspö baserade på resultat från prediktionsetappen. Efter SKB TR 91-22.

Sammanfattningsvis valdes på grundval av förundersökningarna södra Äspö för lokalisering av berglaboratoriet. Bland skälen för denna lokalisering kan nämnas:

- Ett relativt homogent bergblock med få väldefinierade grundvattenledande strukturer finns på södra Äspö.
- 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, vilka ger relativt väldefinierade hydrauliska randvillkor.

Förundersökningsskedet avslutades i och med **prediktionsetappen**, se Figur 5-2. Denna etapp har resulterat i en sammanställning av fyra Tekniska Rapporter 91-20, 21, 22, 23. Den första rapporten summerar samtliga undersökningar som gjorts i förundersökningsskedet. Den andra rapporten beskriver samtliga fältmetoder och instrument som inbegripits. Den tredje rapporten behandlar utvärderingen av alla undersökningar och hur dessa ledde fram till integrerade s k konceptuella modeller över Äspö. De konceptuella modellerna omfattar de olika ämnesområdena och beskriver Äspö i olika skalor, i anläggningskala (500 m), i blockskala (50 m) samt i detaljskala (5 m). I utvärderingsrapporten beskrivs likaså den numeriska grundvattenflödesmodell som använts för att göra prognoser av Äspölaboratoriets hydrauliska effekter i bergmassan. Beskrivningen tar upp val av randvillkor, ingående parametrar samt kalibreringsinsatser.

Den fjärde rapporten är en systematisk, ämnesvis uppställning av de prognoser som successivt förväntas när man spränger sig ned till 500 m djup. Denna s k prediktionsrapport är alltså upprättad med hjälp av de konceptuella och numeriska modellerna och innehåller förväntade resultat i de olika ovan nämnda skalorna.

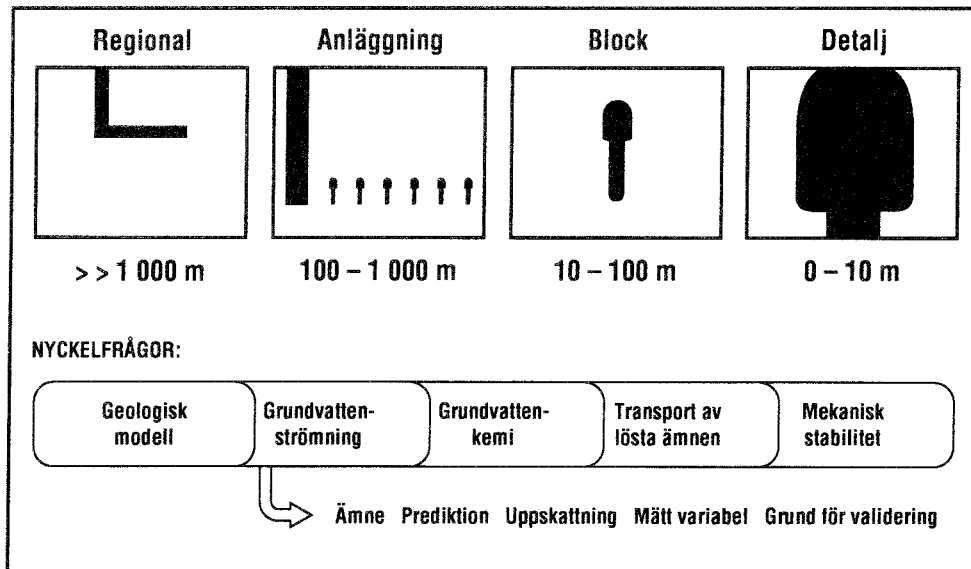
5.4 RESULTAT FRÅN FÖRUNDESRÖKNINGSSKEDET I FÖRHÅLLANDE TILL ETAPPMÅLEN

I detta kapitel presenteras några viktiga resultat och utvecklingsinsatser under förundersökningsskedet med hänsyn till de för Äspölaboratoriet uppställda etappmålen. För detta projektskede berörs huvudsakligen etappmålen 1 och 3, dvs insatser med inriktning på att verifiera förundersökningsmetoder samt att pröva modeller för grundvattenströmning och transport av lösta ämnen.

5.4.1 Delresultat med hänsyn till Etappmål 1 – Verifiera förundersökningsmetoder

Valideringsprocessen

Under förundersökningsskedet har förståelsen för de geologiska, bergmekaniska, geohydrologiska, vattenkemiska och geokemiska förhållandena utvärderats som integrerade delar. Berggrundens egenskaper har analyserats successivt och beskrivits med modeller. Modellerna har både varit kvalitativa och kvantitativa och redovisats i olika skalor, se Figur 5-3.



Figur 5-3. I Äspöprojektet integreras olika ämnesdiscipliner och undersökningar. Analyser, modelleringar sker i olika geometriska skalor.

Utifrån förundersökningarna sammanställdes således prediktioner berggrunden vid Äspö och då utmed hela tunnelsträckningen. Valideringen, dvs bekräftelsen av uppställda konceptuella och numeriska modeller, definieras enligt IAEA /3/ som en process varvid modellprediktioner jämförs med oberoende fältobservationer och experimentella mätningar. En modell kan inte betraktas som validerad innan tillräckliga mätningar har genomförts som ger en acceptabel nivå av prediktiv precision.

Valideringsprocessen för Äspölaboratoriet har bearbetats inom projektet tillsammans med projektets vetenskapliga referensgrupp. Rapporten PR 25-90-14 beskriver processen som innehåller tre väsentliga element

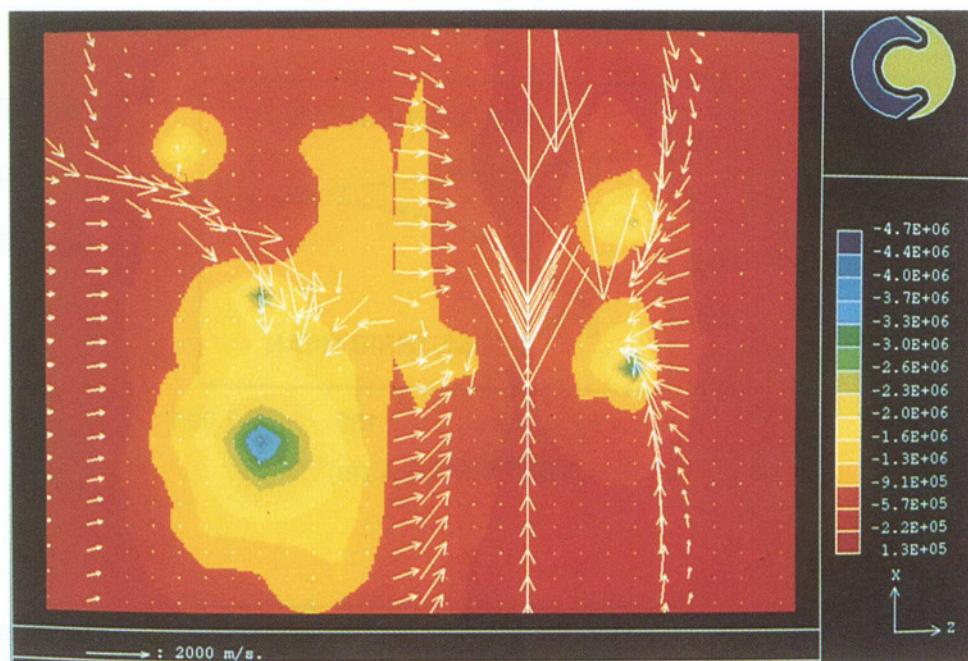
- en systematisk jämförelse mellan prediktion och utfall,
- en noggrann analys av underliggande strukturer och processer,
- en (subjektiv) bedömning om prediktionen är tillräckligt bra.

Valideringsprocessen är ytterst ett verktyg för att värdera precisionen i förundersökningarna och att bedöma olika undersökningsmetoders möjligheter och begränsningar. Denna kunskap är vägledande för att upprätta ett balanserat förundersökningsprogram för de framtida kandidatplatserna.

I avsikt att erhålla en systematisk validering har sammanställts en separat prediktionsrapport, TR 91-23, där förväntade resultat för olika geometriska skalor presenteras per ämnesområde. I Figur 5-4 visas ett exempel på en hydrogeologisk prediktion i anläggningsskala (500 m) för tunnel- avsnittet 3064–3854 m.

Skalberoendet vid bestämning av hydraulisk konduktivitet

Mätvärden av hydraulisk konduktivitet i berg är approximativt lognormalfördelade. På senare år har noterats att för dessa fördelningar är ej medelvärden och varianser likartade i olika skalor.



Figur 5-4. Exempel på prediktion av tryck- och flödesfördelning i ett vertikalt snitt genom Äspö. Det hydrauliska trycket uttryckt i Pa visas numeriskt i legenden. De blå och gröna runda markeringarna representerar tunnellägen i det vertikala snittet.

De hydrauliska mätningarna av konduktivitet på Äspö (enhålstesterna) har skett med olika avstånd mellan manschetterna. Det har därvid varit möjligt att studera hur konduktiviteten och dess standardavvikelse varierar med hänsyn till bergartstyp och till mätskala. Resultaten visar att standardavvikelsen avtar med ökande manschettavstånd, dvs beror av skala. De aritmetiska medelvärdena för konduktiviten minskar och de geometriska medelvärdena ökar i relation till testskalen, se Figur 5-5.

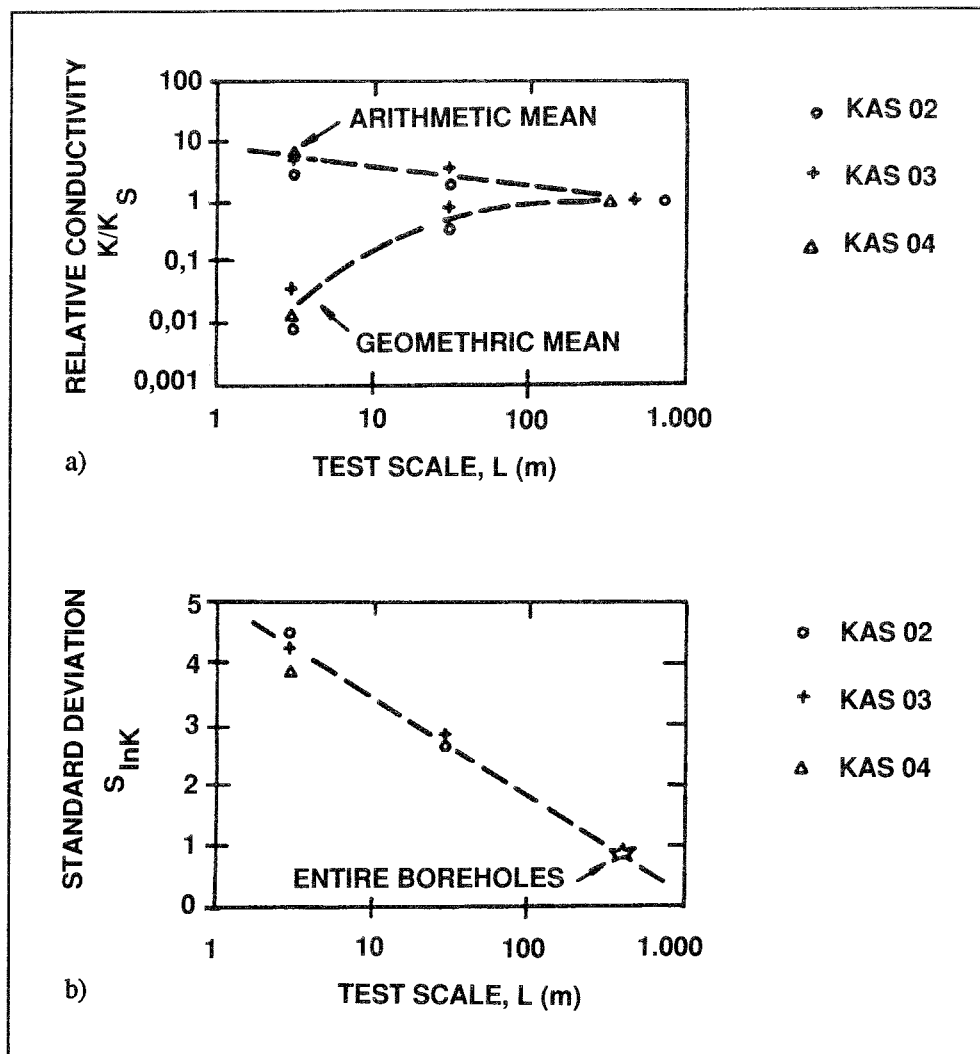
Undersökningsmetoder från ytan.

Som tidigare framgått har ett stort antal geofysiska och geologiska undersökningsmetoder från markytan tillämpats under förundersökningsskedet, se TR 91-20. I det nedanstående presenteras enbart några få metoder som speciellt utvecklats för och använts inom Äspö-projektet.

Inom ramen för den regionala tektoniska värderingen genomfördes lineamentstudier. Tolkningarna gjordes med hjälp av höjddatabasen vid Statens Lantmäteriverk (LMV). Höjddata föreligger med en upplösning av 50 m i ett ortogonalt system. Databasen bearbetades i ett bildbehandlingssystem, EBBA II, och fyra olika digitala terrängmodeller framställdes: skuggningsbild, residual elevationsbild, kanttexturbild och linjetexturbild. I dessa bilder tolkades sedan linjära strukturer för Äspö med omgivning.

I avsikt att erhålla en mycket detaljerad bild av de berggrundsgeologiska förhållandena på markytan rensades jordtäcket bort i ca 1,5 km långa och 3–5 m breda diken på Äspö. Berggrundsytan blottades med tryckluft och högtrycksspolning. Utöver geologisk kartering utfördes ett omfattande sprickkarteringsarbete. Sprickkarteringen har legat till grund för grundvattenhydraulisk modellering med diskret nätverksmetodik.

Geofysiska digitala data har bearbetats med GIS-teknik (Geografiskt Informations System). Denna datorbaserade teknik underlättar visualisering och samtolkning av olika geofysiska resultat och deras informationsskikt.

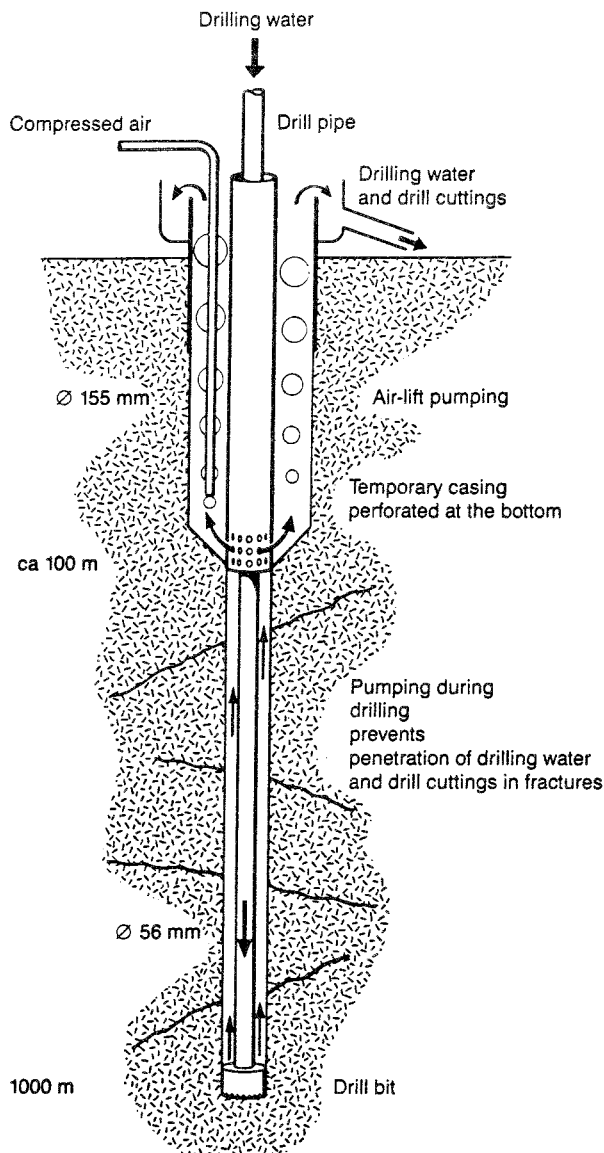


Figur 5-5. a) Relativa hydrauliska konduktiviteter i olika försöksskalor.
 b) Standardavvikelser för logaritmiska konduktivitetsfördelningar i olika försöksskalor.

Teleskopborrning

För att reducera utflödet av borrhväska till berggrundens spricksystem och därmed minska den hydrokemiska störningen under förundersökningarna har en ny borrhsteknik introducerats i Äspöprojektet. Denna s k teleskopborrningsteknik är en vidareutveckling av konventionell kärnborrning. Tekniken möjliggör även utökade undersökningsinsatser och mätningar i borrhål med liten diameter, se Figur 5-6.

Under kärnborrningen på nivåer djupare än 100 m skapas en viss avsänkning i hålet med hjälp av tryckluft. Detta förhindrar utflöde av borrhväska till den geologiska formationen. Efter avslutad borrhnsverksamhet har de översta 100 m av borrhålet en diameter av 155 mm medan resterande del av hålet har en diameter av 56 mm. Borrhålets utformning möjliggör sedan att dränkbara pumpar kan installeras i den övre delen. På så vis underlättas provpumpningar och interferenstester med vattenuttag från specificerade avmanschetterade nivåer.



Figur 5-6. Principen för teleskopborrningsteknik

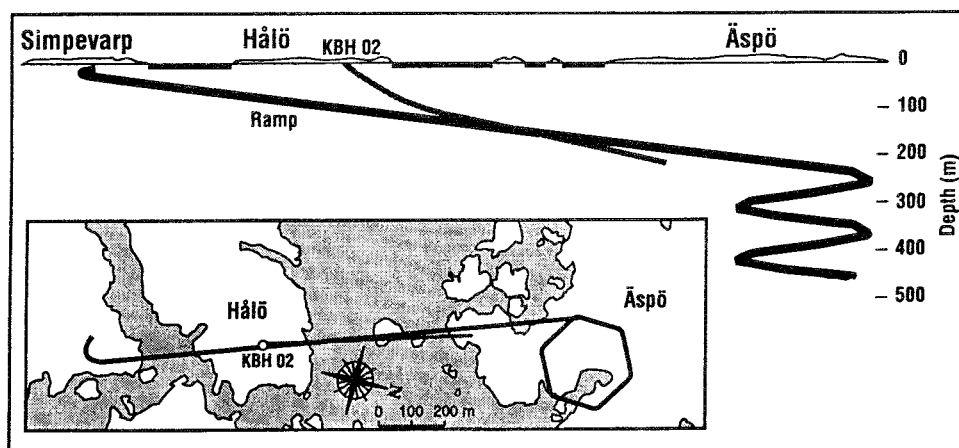
Riktningstyrd borrning

För att undersöka bergvolymen längs den planerade tunneln under Borholmsfjärden söder om Äspö, användes en ny borrarbete med möjlighet till styrning av borkronan. Borrålet (KBH 02) ansattes på Hålö och efter att ha nått tunnelnivån styrdes borkningen mot Äspö utmed den kommande tunnelsträckningen, se Figur 5-7.

Borrhålsundersökningar

Undersökningsprogrammet för borrhålen i Äspölaboratoriets förundersökningsskede har varit mycket omfattande med kärnkartering, petrofysiska undersökningar, geofysiska loggningar, bergspänningsmätningar, geohydrologiska tester och grundvattenkemiska analyser. Figurerna 5-8 och 5-9 visar sammanställningar över de metoder som använts i kärnborrhålen och hammarborrhålen.

Förutom ovanstående enhålsundersökningar har ett antal tester med inriktning på olika borrhåls ömsesidiga påverkan genomförts. De metoder som då tillämpats är då



Figur 5-7. Borrhålet KBH 02 borrades för att undersöka förhållandena utmed tillfartstunneln till Äspö.

bl a, kortare provpumpningar i form av interferenstester, långtidspumpningar och spårämnesförsök.

En speciellt värdefull teknik som vidareutvecklats av SKB och tillämpats i Äspölaboratoriet för att spåra vattenförande borrhålsavsnitt har varit användningen av sk ”flow-meter logging”. Utrustningen som mäter det sammanlagda inflödet längs ett borrhål i samband med pumpning kartlägger de vattenförande sprickornas läge med god noggrannhet. Två typer av utrustningar har använts i projektet. Den ena mäter flödet via en propeller. I den andra utrustningen påverkar vattenflödets storlek en akustisk vågs transporttid (dopplereffekten). Mätprincipen framgår i Figur 5-10 och ett exempel på mätresultat visas i Figur 5-11.

Långtidsuppföljning av grundvattenförhållanden

Redan under förundersökningsskedet installerades mätsystem för långtidsuppföljning av grundvattentryck och grundvattenkemi. Bl a är ett multimanschettssystem utvecklat av SKB och anpassat till kärnborrhål. Systemet, som beskrivs i SKB TR 91-21, är utformat så att det kan göra mätningar av grundvattennivå, vattenprovtagning, vattnets elektriska ledningsförmåga och utspädning. Vidare kan spår försök genomföras med utrustningen som har möjligheten att göra tryckmätningar i upp till nio sektioner i ett och samma borrhål.

5.4.2 Delresultat med hänsyn till Etappmål 3 – Pröva modeller för grundvattenströmning och radionuklidmigration

Grundvattenmodellering

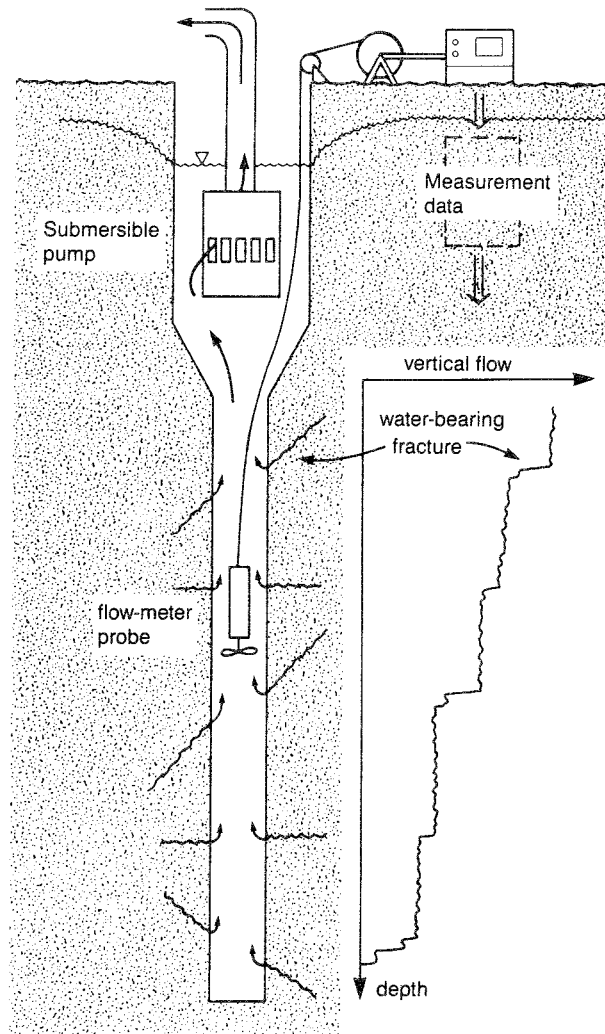
En generellt sett väsentlig uppgift med de hydrogeologiska undersökningarna är att testa förmågan att göra förutsägelser om det grundvattenflöde som efter avslutad deponering och pluggning kommer att omge förvaret och dess kapslar. Likaså är det viktigt att kunna förutse vilka flöden som uppträder till de öppna tunnelsystemen under anläggningsarbetet av ett djupförvar. Olika modellansatser har prövats vid Äspölaboratoriet. På grund av bergets heterogenitet och de olika randvillkor som uppträder vid anläggningen kan ej analytiska lösningar utan numeriska modeller tillämpas. Den modellkod som använts för att göra prediktionerna vid Äspö är huvudsakligen PHOENICS /4/.

	CORED BOREHOLES KAS02-KAS14														KBH 02	KLX 01
	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14			
LENGTH (M)/DIP	924/85	1002/85	481/60	550/85	602/60	604/59	601/60	450/60	99/60	249/89	380/89	406/82	212/60	706/45	702/85	
CORE LOGGING																
Lithology	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●	●	●	●	●	
Thin section analyses	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●	●	●	●	●	
Chemical rock analyses	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●	●	●	●	●	
Fracture mapping - RQD	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●	●	●	●	●	
Fracture mineral analyses	●	●	●	●	●	●	●	●						●	●	
TV-orientation/Televiewer*	●	●	●	●	●	●	●	●						●	●	
PETROPHYSICS																
Density - Porosity	●															●
Magn. suscep. - Remanence	●															●
Resistivity - IP	●															●
U,Th,K	●															●
GEOPHYSICAL LOGGING																
Borehole deviation	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●	●	●			●
Caliper - Magnetic suscept.	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●	●	●			●
Sonic	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●	●	●			●
Natural gamma	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●	●	●			●
Density - Neutron	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●	●	●			●
Resistivity-Spontaneous potent.	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●	●	●			●
Temperature	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●	●	●			●
Borehole fluid resistivity	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●	●	●			●
Radar	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●	●	●			●
ROCK STRESS MEASUREMENT																
Hydraulic fracturing	●	●														
Overcoring				●												
Lab. tests	●	●														
GEOHYDROLOGY																
Airlift test, intervals	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●	●	●	●	●	●
Injection test, 3m interval	●	●	●	●	●	●	●	●								●
Injection test, 30m interval	●	●														●
Spinner(flow meter logging)	●	●	●		●	●	●	●		●	●	●	●			●
Pumping test	●	●	●	●	●	●	●	●								●
Pumping interference test	●	●			●	●	●	●		●	●	●	●	●	●	
Dilution test, intervals	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●	●	●	●	●	
Observation, packer settings	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●	●	●	●	●	
Fluid conductivity	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●	●	●	●	●	
Circulation sections	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●	●	●	●	●	
GROUNDWATER CHEMISTRY																
Complete chemical character.	●	●	●													●
Sampling during pumping test	●	●														
Sampling during drilling	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●	●	●	●	●	●
Fracture mineral statistics	●	●	●	●	●	●	●	●								●
Fracture mineral chemistry	●				●											●

Figur 5-8. Genomförda undersökningar i kärnborrhålen. Efter SKB TR 91-20.

	PERCUSSION BOREHOLES HAS01-HAS20																			
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
LENGTH (M)/DIP	100/61	93/55	100/58	200/61	100/58	100/88	100/62	125/58	125/59	125/61	125/89	125/60	100/63	100/88	120/60	120/60	120/60	150/62	150/57	150/60
DRILLING DATA																				
Drill cutting analyses	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●
Thin section analyses																				
Drilling rate	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Fracture identification	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
GEOPHYSICAL LOGGING																				
Borehole deviation	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Density				●									●	●				●	●	●
Magnetic suscept.	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●			●	●	●
Sonic				●									●	●				●	●	●
Natural gamma	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●			●	●	●
Resistivity	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●			●	●	●
Temperature	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●			●	●	●
Borehole fluid resistivity	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●				●	●	●
Radar		●	●																	
GEOHYDROLOGY																				
Airlift test, intervals	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Injection test, 3m interval																				
Injection test, 30m interval																				
Spinner (flow meter logging)																				
Pumping test	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Pumping interference test													●							●
Dilution, test intervals																				
Observation packer settings																				
Fluid conductivity																				
Circulation sections																				
GROUNDWATER CHEMISTRY																				
Complete chemical character.																				
Sampling during pumping test																				
Sampling during drilling		●	●		●	●	●													
Fracture mineral statistics																				
Fracture mineral chemistry																				

Figur 5-9. Genomförda undersökningar i hammarborrhålen.
Efter SKB TR 91-20.

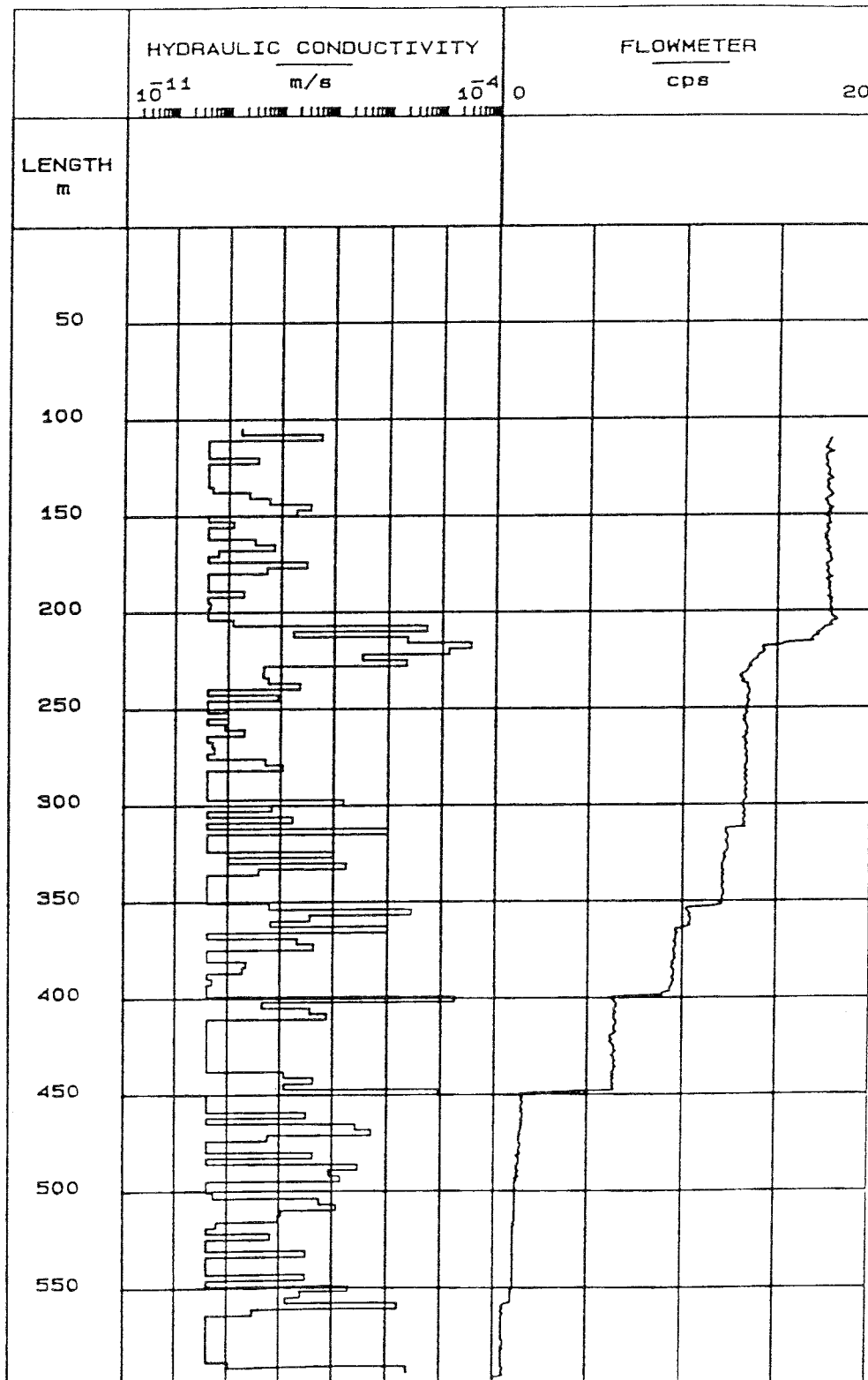


Figur 5-10. Mätprincipen vid "flow-meter logging" under samtidig pumpning.

Karakteriseringen och modelleringen av Äspös komplexa vattenförande system har följt två huvudlinjer. De större strukturerna, typ konduktiva sprickzoner har identifierats och modellerats deterministiskt. Geologiska, geofysiska och hydrologiska metoder har använts för att undersöka zonernas geometri och för att ange hydrauliska egenskaper hos zonerna. Den konceptuella modellen och motsvarande numeriska modell kalibrerades därefter mot interferenstester, omgivande grundvattentryck och salinitet för vattnet. När det gäller det berg som finns mellan zonerna, har de hanterats som ett stokastiskt kontinuum. Lognormalfördelning har förutsatts och medianvärdet och standardavvikelse har anpassats ("skalats") med hänsyn till cellstorlek i modellen.

Antalet celler i den tredimensionella modellen över Äspö uppgår till ca 100 000. Det innebär en cellstorlek av 20 m i bergvolymen vid själva laboratoriet. Vid tunnelväggen är cellstorleken 2 m.

I horisontalplanet täcker modellen en yta av 1920x1500 m med ett vertikalt djup av 1290 m.



Figur 5-11. Exempel på mätresultat från "flow-meter logging" i borrhålet KAS 06. Det sammanlagda inflödesvärdet från flödesloggningen visas tillsammans med de hydrauliska konduktiviteter från 3 m:s mätningssnitt.

Infiltrationskapaciteten vid markytan, övre randen, har genom modellkalibrering bedömts till 3 mm/år. De strandnära våtmarkerna antas i modellen ha nivåer lika med Östersjöns. Inget flöde sker genom den undre modellranden. Trycket utmed modellsidorna är hydrostatiskt. Saliniteten är 0,7% vid havsytan för att öka linjärt mot djupet utmed modellsidorna till 1,8% vid modellens undre begränsning.

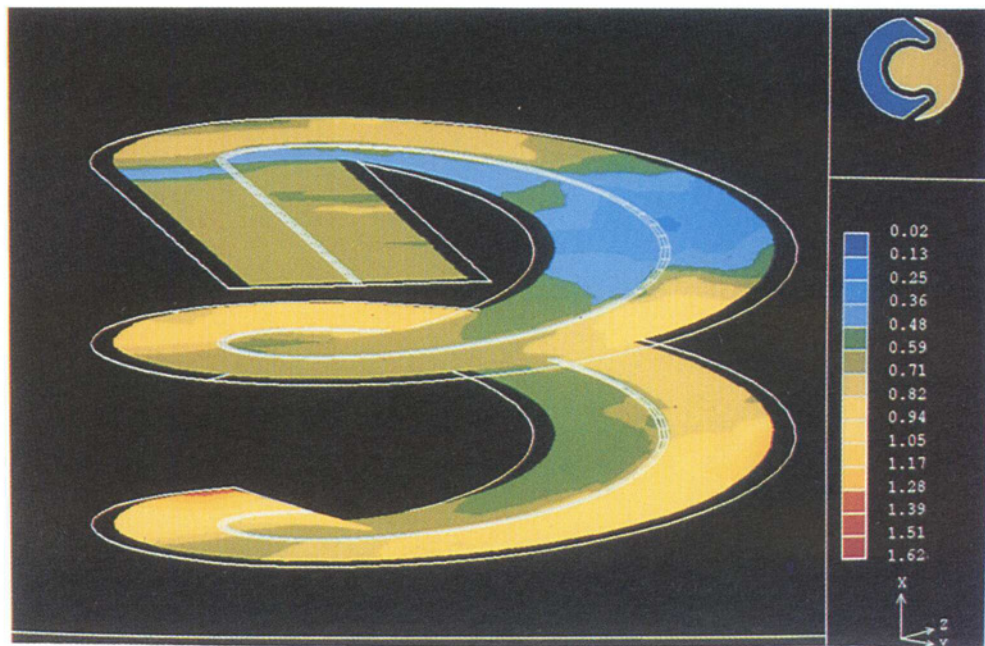
PHOENICS-koden har använts för att kalibrera modellen mot de hydrauliska testerna och för att göra prognoser av hur den omgivande grundvattensituationen kommer att förändras på grund av utsprängningen av laboratoriets tunnelsystem. Inflödet till och trycket runt tunneln har kalkylerats liksom saliniteten för det inläckande vattnet, se Figur 5-12.

Spårämnesförsöket, LPT 2, med modellering

Vid slutet av förundersökningsskedet genomfördes ett storskaligt spårämnesförsök i samband med en långtidspumpning, LPT 2, i borrhålet KAS 06. Uranin samt tre kortlivade radioaktiva isotoper (In-114, I-131, Re-186) injicerades till spricksystem i borrhål runt uttagshålet. Tre av spårämnena, från KAS12, KAS08 och KAS05, kunde senare detekteras. Experimentet kombinerades med ett stort antal utspädningsmätningar för att bestämma grundvattenflödet i borrhålsavsnitt.

Numeriska simuleringar, utan hänsyn till dispersion, hade genomförts innan experimentet med den ovan beskrivna modellen. För flödesporositeter i storleksordningen $5 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^{-3}$, visar modellen god överensstämmelse med verkligheten när det gäller transporttiderna hos spårämnena. Förutom transporttiderna modellerades tryckresponser av pumpningen. Avsänkningarna visar också god överensstämmelse mellan modellen och pumpförsöket. Försöket slutrapporteras hösten 1992.

Denna typ av undersökning är väsentlig för att i framtiden utveckla generella modellstrukturer. Utifrån experimentet har värdefull information erhållits om sprickzonerna på Äspö.



Figur 5-12. Bedömd salinitet hos inläckande grundvatten till tunneln efter utsprängning till fullt djup (stationära skedet).

6 ANLÄGGNINGSSKEDET – PROGRAM OCH RESULTAT

Anläggningsarbetena för Äspölaboratoriet påbörjades 1 oktober 1990. Den drygt 3400 m långa tillfartsrampen med en tvärsnittsytta av ca 25 m² sprängs ut till ett djup av ca 460 m. I september 1992 hade drivningen nått knappt 1600 m till ett djup av drygt 200 m under markytan.

6.1 TEKNISKT PROGRAM FÖR 1992–1994

6.1.1 Allmänt

Programmet som gäller för innevarande anläggningsskede presenterades i sina huvuddrag redan i FoU-program -89 .

Eftersom egenskaperna hos berggrunden närmast deponeringsplatsen och deponeringstunnlar har relativt sett störst betydelse för säkerheten av ett djupförvar, så är det väsentligt att detaljeringsgraden av undersökningarna under anläggningsskedet ökas efterhand. De insatser som sker på de kommande experimentnivåerna blir därför mer detaljerade än i början av tunneldrivningen. Under drivningen av tunnelnedfarten delas undersökningarna in i två etapper enligt nedan.

Etapp 1 Drivning av tunnelnedfarten till ca 330 meters nivå, vilket motsvarar en tunnellängd av ca 2500 m.

Denna datamängd bedöms vara tillräcklig för att till stora delar kunna pröva den konceptuella modellen för Äspö, se SKB TR 91-22, och motsvarande prediktioner SKB TR 91-23. Den bedöms också vara tillräcklig för att göra den utvärdering av undersökningsmetoder vilka bör användas i lokaliseringsprogrammet.

Under denna fas slutförs också drivningen av hiss-och ventilationsschakt till markytan.

Etapp 2 Drivning av tunneln ned till ca 460 meters nivå, vilket motsvarar en total tunnellängd av drygt 3400 m.

Under tunneldrivningen från ca 330 m ner till ca 460 m sker basdokumentationen av berggrunden som tidigare men den kommer att delvis ges ett annat syfte. Utbyggnaden av Äspölaboratoriet på dessa nivåer kommer att i första hand utnyttjas för att pröva metodik för successiv karakterisering och successiv utformning.

Filosofin ”design-as-you-go” har lång tradition inom undermarksbyggande. Denna tradition innebär: a) undersökning av berget, b) utformning, c) byggande och dokumentation, d) utvärdering med korrigerande åtgärder rörande undersökning, utformning eller dokumentation.

Efter slutförd tunneldrivning redovisas en ”slutlig” konceptuell modell av berggrunden på Äspö. Denna jämförs med de modeller som upprättats under förundersökningarna på Äspö, se SKB TR 91–23.

Anläggningsstapen innefattar även viss utsprängning av utrymmen för några av de försök som genomförs under driftskedet samt fortsatt drivning av hiss- och ventilationschakt ner till ca 460 meters nivå.

Om senare undersökningar inom ramen för det allmänna forskningsprogrammet skulle visa att förvaret bör förläggas djupare än ca 500 m så kan en utbyggnad till större djup bli aktuell, upp till 700 m.

I den redovisning som SKB lämnade i FoU-Program 89 var ett uppehåll i tunneldrivningen under ca 6 mån inplanerat mellan etapp 1 och etapp 2.

De pågående arbetena genomförs dock mer flexibelt än den ursprungliga planeringen. I stället för att göra en större redovisning/utvärdering, sker i stället fler mindre redovisningar.

SKBs önskemål att vidareutveckla och demonstrera metoder för aktiv design nödvändiggör att undersökningar och projektering går mera hand i hand. Den aktiva designen medför att resultatrapporteringen måste ske mer flexibelt än redovisningen av prediktionerna från förundersökningsskedet. En del av den datainsamling och metodikutvärdering som varit inplanerad att genomföras under uppehållet mellan etapp 1 och etapp 2 tidigareläggs.

Upphållet mellan etapp 1 och etapp 2 kan därmed utgå.

6.1.2 Program för anläggningsskedet 1992–1994

FUD-verksamheten i anläggningsskedet genomförs för att kunna uppfylla etappmålen 1,2,3 i Äspöprojektet. I det nedanstående presenteras ett antal delprojekt för åren 1992–1994 i förhållande till dessa etappmål.

Etappmål 1 – Verifiera av förundersökningsmetoder

Validering av konceptuella modeller – Den nuvarande strukturen datainsamling – jämförelse med prediktion – utvärdering – granskning i referensgruppen (Scientific Advisory Committee) bibehålls. Med hänsyn till de resultat och erfarenheter som erhållits under anläggningsskedet, bedöms det vara möjligt att i huvudsak slutföra valideringsarbetet med de data som erhålls till djupet ca 330 m. Utifrån kompletterande dokumentation i tunnelavsnittet till 460 m nivå redovisas ”slutliga” konceptuella modeller för berggrunden på Äspö.

Utvärdering av förundersökningsmetoder – Ett stort antal undersökningsmetoder och instrument har använts i förundersökningsskedet vid Äspö. Metodernas användbarhet och tillförlitlighet skall värderas inför lokaliseringen av demonstrationsförvaret. SKB delar de synpunkter som under arbetets gång framförts bl a av SKN och SKI att metodutvärderingen är ett väsentligt arbete för projektet. Värderingen bör besvara frågor om bl a metodernas upplösning, tolkbarhet och nytta.

Etappmål 2 – Fastställa detaljundersökningsmetodik

Dokumentation och datainsamling – Den vid platskontoret stationerade dokumentationsgruppen fortsätter sitt arbete med dokumentation och datainsamling vad gäller bl a geologi, bergmekanik, geohydrologi och vattenkemi.

Passage av svaghetszoner – Vid pågående tunneldrivning har redan insatser genomförts för att pröva metodik för att exakt lokalisera svaghetszoner, för att karakterisera zonerna i samband med zonpassagen och för att genomföra kontrollerad injektering. Genomfört arbete kommer att slutredovisas under 1993. I redovisningen kommer det

att ingå förslag till kompletterande byggnadsteknisk utveckling och då särskilt rörande tätningsteknik.

Bergvolymbeskrivning–Lokalisering av anläggning – Det kristallina berget utgör ett heterogent material. Vissa partier är starkt uppkrossade. Filosofin för förvarsutbyggnad är att successivt anpassa förvarets geometriska utformning, så att bergets dåliga partier undviks.

Södra Äspö begränsas av flera mäktiga svaghetszoner. Det finns risk att den mäktiga svaghetszonen NE-1, söder om Äspö skär in i anläggningen. Med hänsyn till byggnadstekniska besvärligheter m m bör denna zon undvikas. Kompletterande undersökningar inleddes hösten 1992 för att mer exakt lokalisera bl a denna zon. På basis av undersökningsresultaten kommer tunneln mellan 330 m till 460 m att anpassas till det byggnadstekniskt bättre berget. Undersökningarna inriktas mot geologiska och bergmekaniska förhållanden. Arbetet stöddes med visuella hjälpmedel (CAD). Efter genomförda undersöknings- och anläggningsarbeten sker utvärdering och utarbetande av rekommendationer.

Bergvolymbeskrivning–Lokalisering av experimentområden – De experiment som ska genomföras under driftskedet lokaliseras preliminärt under 1993. Kompletterande undersökningar sker under anläggningstiden för att slutligt lokalisera experimenten. Undersökningarna av bergvolymen för experimenten sker med den filosofi som använts för att verifiera förundersökningarna.

Bergvolymbeskrivning–Lokalisering av lämpliga närområden för kapslar – Fasta kriterier finns för närvarande inte för utplacering av kapslar. Emellertid kan redan nu några generella drag redovisas. Lämplig bergmiljö är att närområdet är mekaniskt stabilt, att den kemiska miljön är reducerande samt att vattenomsättningen är låg.

Förundersökningar för ett förvar syftar bl a till att bestämma lämplig plats för ett förvarsområde. I de därpå följande detaljerade undersökningarna ska det bekräftas att det finns en förvarsvolym tillgänglig. I samband med utbyggnaden av förvaret kan olämpliga kapselpositioner successivt förkastas. Metodik för detta kommer att prövas vid Äspölaboratoriet.

Ett första skede omfattar att för en given bergvolym på Äspö uppskatta antalet lämpliga kapselpositioner i denna bergvolym som uppfyller krav på mekanisk stabilitet, kemiskt reducerande miljö och låg vattenomsättning. Den låga vattenomsättningen är säkerhetshöjande, men är även bra ur praktisk synpunkt.

Byggbarhetsanalys – Erfarenheter från projektering och utförande av anläggningen kommer att sammanställas och rapporteras. Metodik för s k byggbarhetsanalys kommer att prövas. Undersökningsdata ska på ett systematiskt sätt användas för att beskriva hur anläggningsarbetena tekniskt ska planeras och genomföras. Analysen ska också utmynna i systematiska bedömningar av arbetsmängd (förstärkningsmängd) och tidsåtgång.

Ettapptomål 3 – Pröva modeller för grundvattenströmning och radionuklidmigration

Internationell arbetsgrupp för modellering – Parallellt med anläggningsskedet kommer en arbetsgrupp (Task Force) med deltagare från Äspöprojektets internationella representanter att påbörja modellering med olika beräkningskoder.

Redoxförsök – Ett redoxexperiment initierades under 1991 i en sidotunnel vid sektionen 510 m i tillfartsrampen. Syftet med försöket är att bestämma redoxkinetiken när syrerikt vatten tränger igenom berggrundens spricksystem som ursprungligen är

reducerande. Försöket skall fortsätta under resterande anläggningsskede och delvis under driftskedet.

6.2 RESULTAT FRÅN ANLÄGGNINGSSKEDET I FÖRHÅLLANDE TILL ETAPPMÅLEN

I detta kapitel presenteras några viktiga resultat och utvecklingsinsatser under anläggningsskedet med hänsyn till de för Äspölaboratoriet uppställda etappmålen. För detta projektskede berörs huvudsakligen etappmålen 1, 2 och 4.

6.2.1 Delresultat med hänsyn till Etappmål 1 – Verifiera förundersökningsmetoder

Validering av geologin i del av tillfartstunneln

Utfallet av prediktionerna utvärderas i etapper. Prediktionerna i tunneln gäller avsnittet från och med 700 m indrift. En preliminär prognos genomfördes emellertid för sektionen 0 – 700 m.

Prognos kontra utfall har redovisats i PR 25-92-02 och kommenterats i PR 25-92-06. För denna tunnelsektion under Borholmsfjärden var det utifrån förundersökningarna enbart möjligt att göra geologiska prognoser. Utfallet när det gäller bergartsfördelning och sprickmönster visar enligt referensgruppens bedömning en bra överensstämmelse mellan ytkarteringar och tunnelobservationer, se Figurerna 6-1 och 6-2.

6.2.2 Delresultat med hänsyn till Etappmål 2 – Fastställa detaljundersökningsmetodik

Dokumentation och datainsamling

En av platskontorets viktigaste uppgifter är att ombesörja dokumentation och datainsamling. Datainsamling sker i huvudsak genom

- övervakning av grundvattentryck och salthalt i ca 140 punkter i omgivande borrhål,
- daglig dokumentation i tunneln i anslutning till varje sprängning,
- undersökningshål var 20 m längs med tunneln,
- specialundersökningar för att besvara specifika frågor.

För anläggningsskedet har en separat manual, PR 25-91-10 tagits fram som definierar datainsamlingen. En dokumentationsgrupp ombesörjer insamlingen efter varje sprängning. För varje 150 m indrift presenteras översikter och då ämnesvis. Figur 6-3 visar ett exempel på bergmekanisk information. Liknande presentationer görs fortlöpande även för geohydrologiska, vattenkemiska och geologiska iakttagelser, se Figur 6-4 respektive 6-5.

Mätning av grundvattentryck och -flöden sker on-line med hjälp av ett automatiserat centralt datainsamlingssystem för Äspölaboratoriet (HMS, Hydro Monitoring System). Mätningarna sitter på olika nivåer i borrhål på Äspö samt utmed tunneln. Avsänkningseffekter pga tunnelarbeten kan därmed omedelbart kartläggas. Likaså följs långtidstrender i det hydrologiska kretsloppet vid Äspö. Figur 6-6 visar en schematisk bild av mätsystemet.

Växelvekan undersökning/anläggning

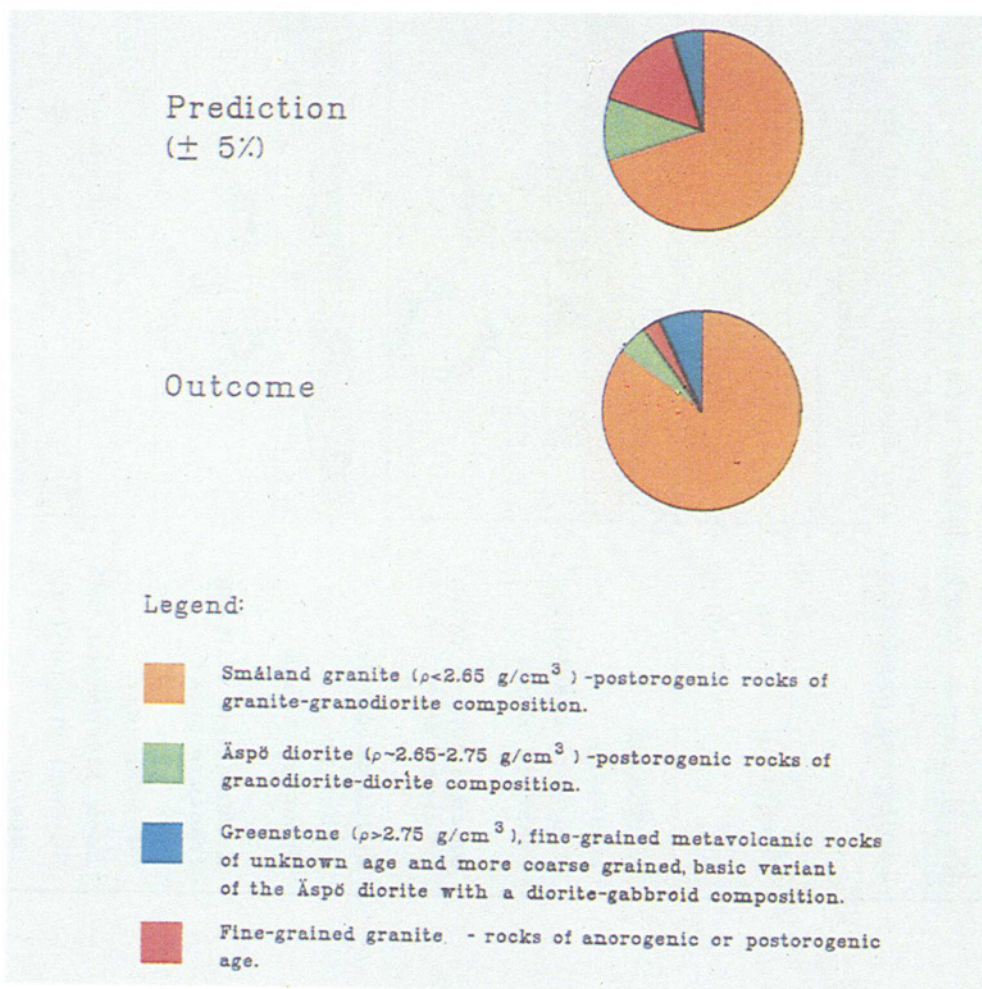
Bergarbetena för Äspölaboratoriet sker med normalt borrhings/sprängningsförfarande. De rutiner för samordning mellan bygge och undersökningar som utvecklats fungerar väl. Under byggets gång sker också växelverkan mellan undersökningsresultaten och anläggningsutformningen (design-as-you-go). Geodata från de löpande undersökningarna används för att kontrollera lägen av hiss-, ventilationsschakt, anslutningar vid hissens stannplan, läge på spiralen m m. Detta samspel mellan undersökningar och projektering kommer att vara en viktig del vid utbyggnad av ett djupförvar.

Sprängskador vid tunnelvägg

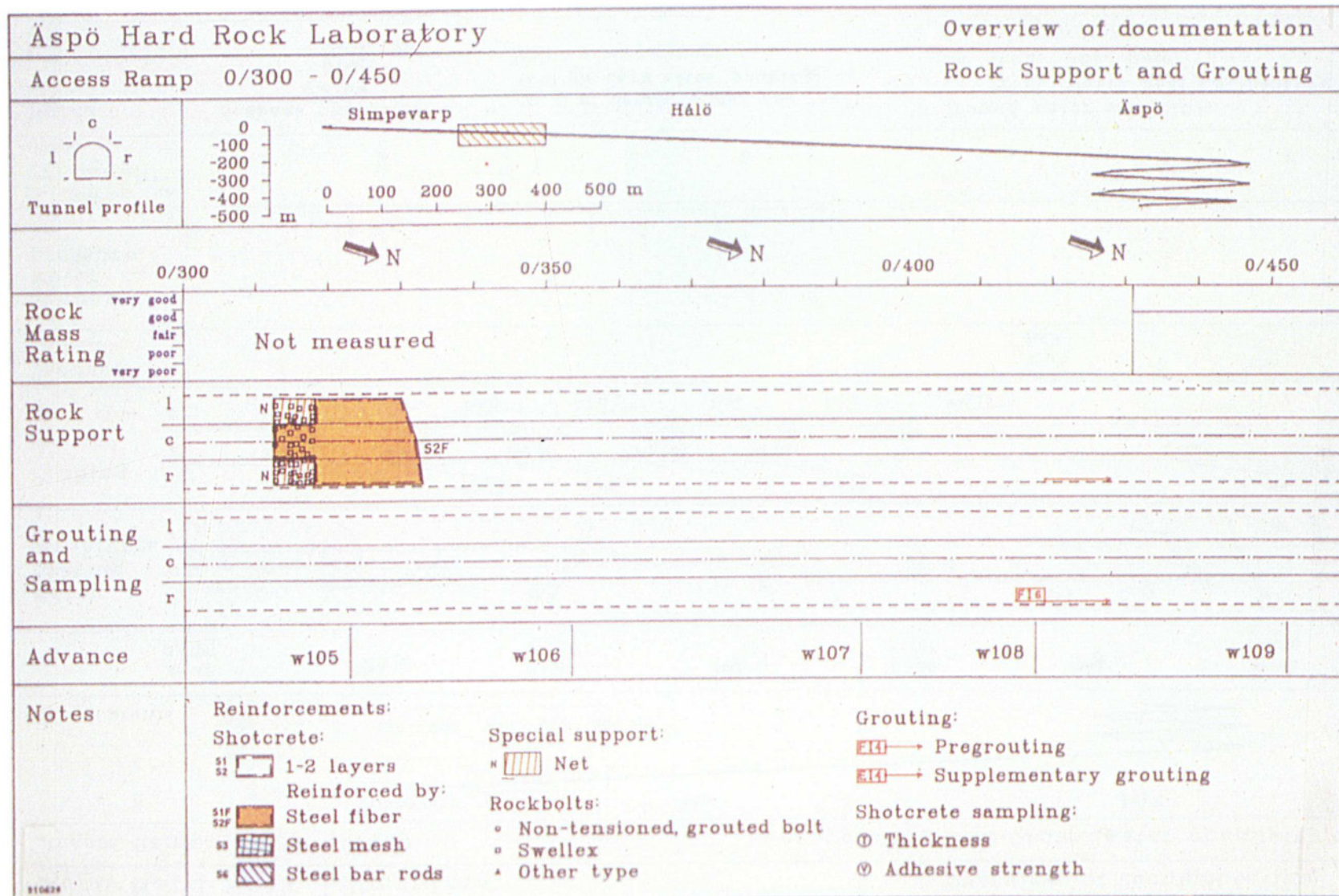
I sin granskning av Äspölaboratoriets förundersökningsskede framförde SKN att skadezonen i samband med utsprängning borde studeras relativt ingående. Den ”störda zonen” är intressant för vidare studier och det arbete som genomfördes begränsades att gälla sprängskador i kvarstående berg. Tre olika sprängningsförfaranden prövades i tunneln, se Figur 6-7.

Viktiga slutsatser från undersökningarna är

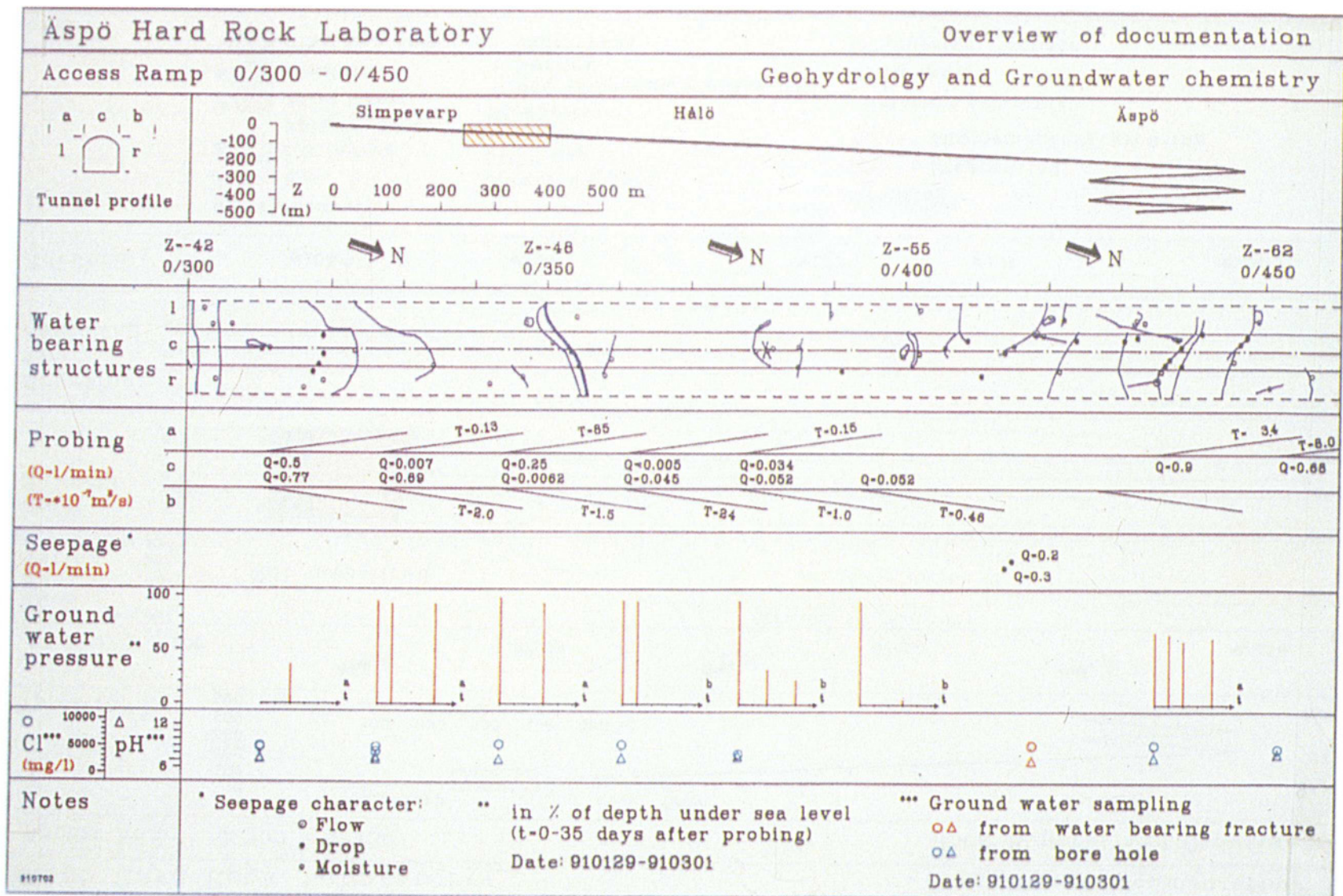
- det går att uppmäta sprängskador,
- borrhingsprecisionen och lokala geologiska förhållanden kan ha lika stor betydelse som laddningen av konturhålen i tunneln för skadezonens utbredning,
- vid praktisk sprängning uppnås en skadezon av 0.3 – 0.5 m i väggar och tak och 1 – 1.5 m i tunnelsulan.



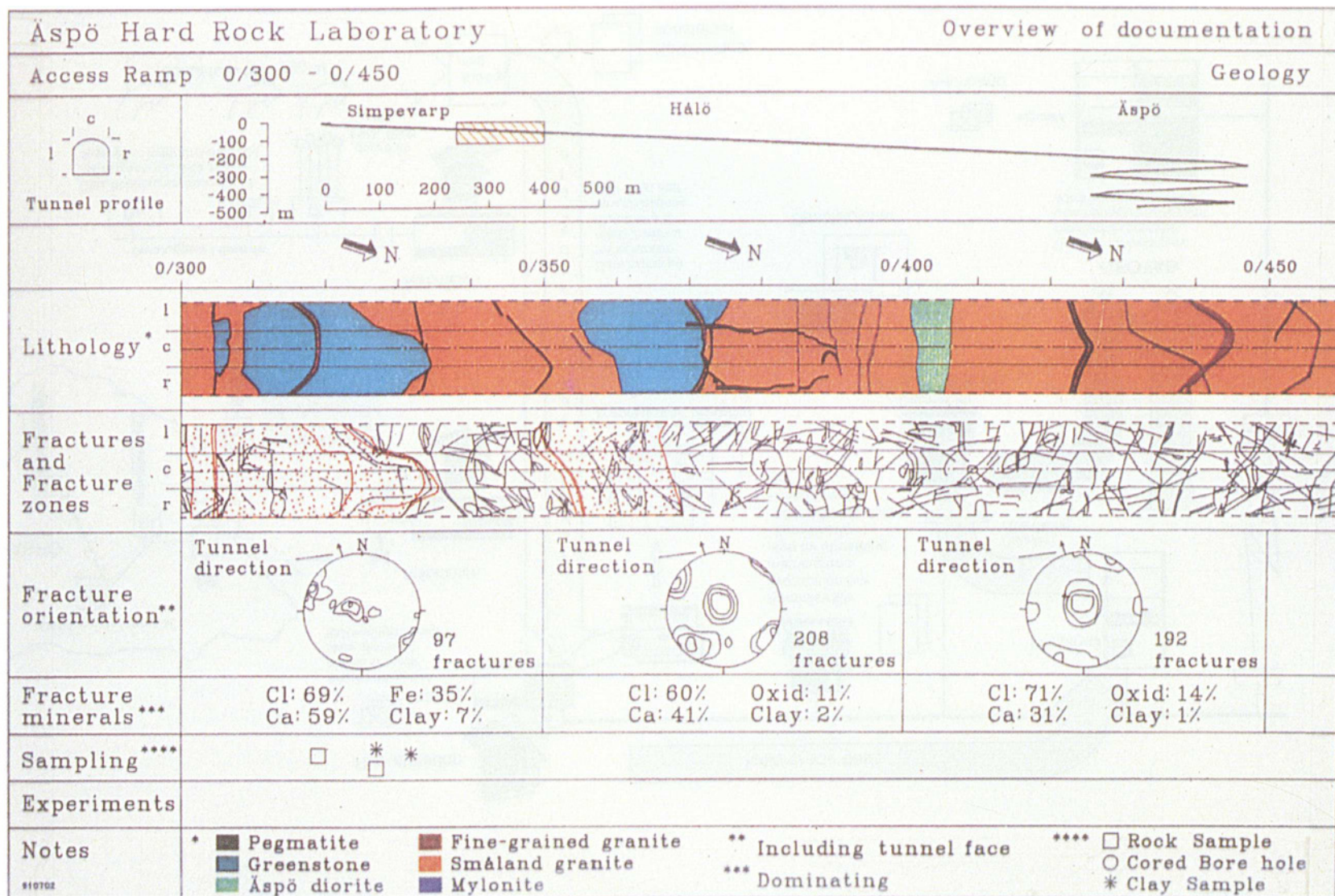
Figur 6-2. Bergartsfördelning i sektion 0–700 m i tillfarstunneln.



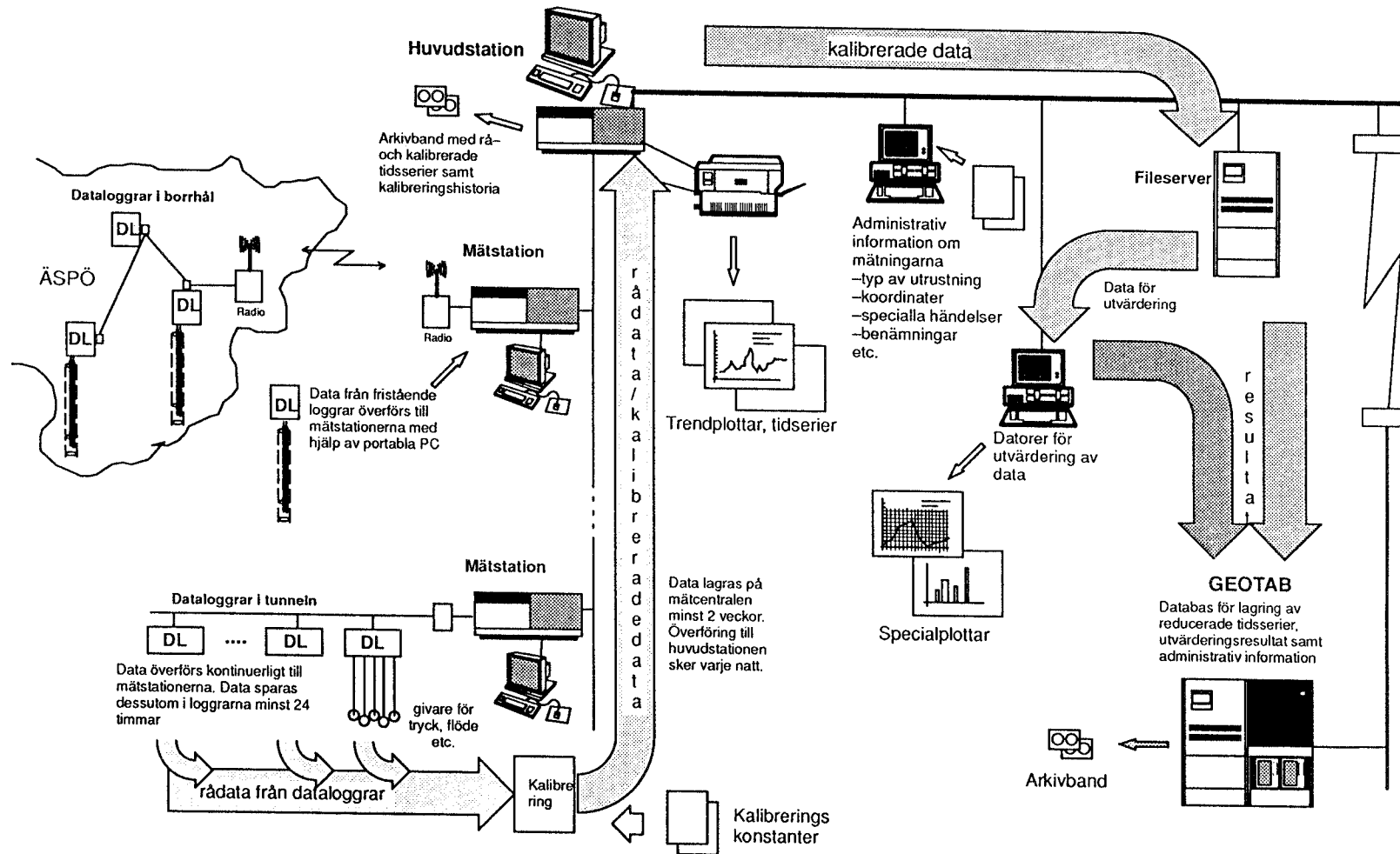
Figur 6-3. Exempel på översikt som visar bergförstärkning och injekteringsinsatser.



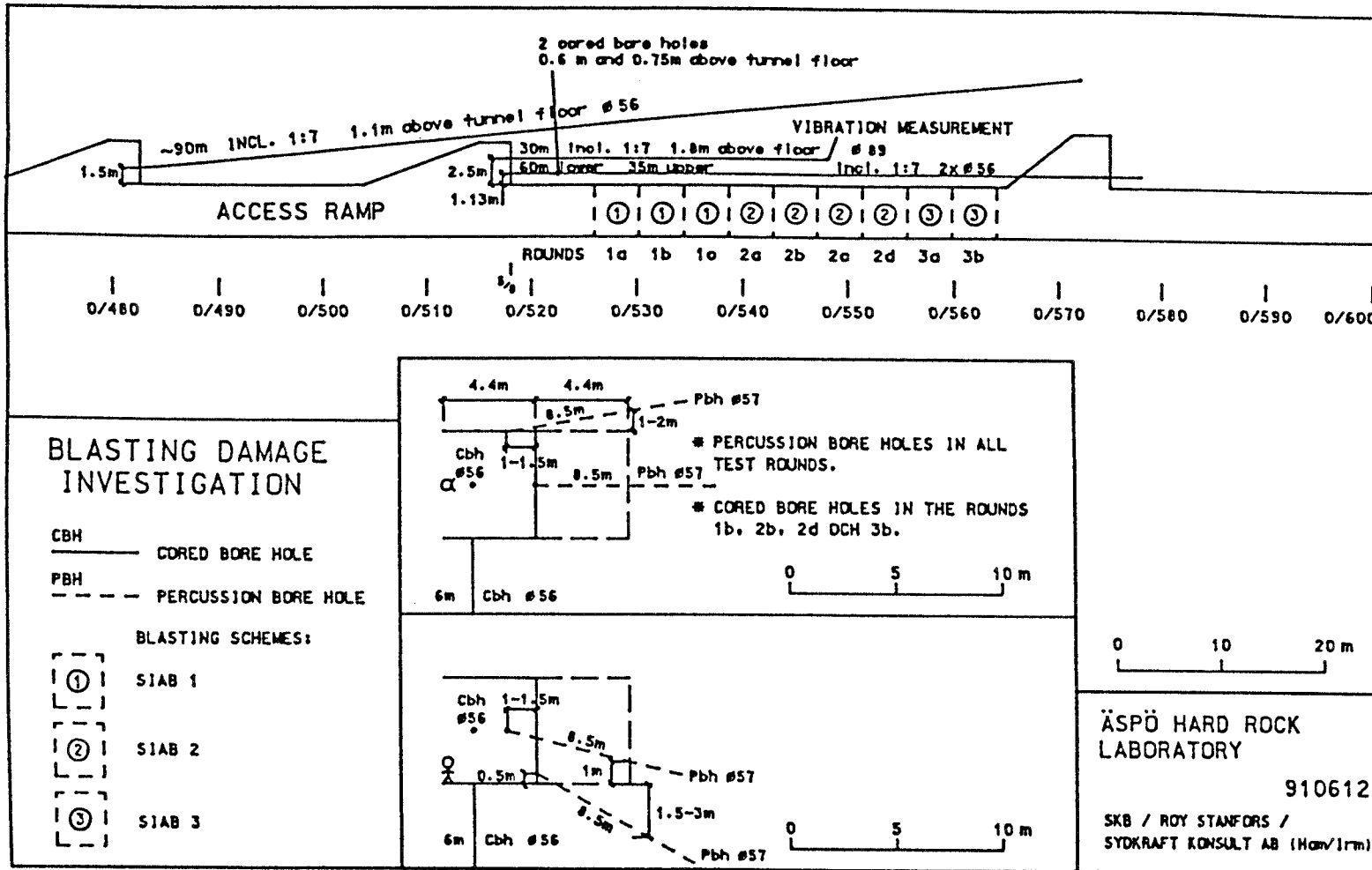
Figur 6-4. Exempel på översikt som visar geohydrologiska och grundvattenkemiska data.



Figur 6-5. Exempel på översikt som visar geologiska data.



Figur 6-6. Ett automatiskt mätsystem för grundvattentryck och -flöden har upprättats för Äspölaboratoriet.



Figur 6-7. Översikt av sprängskadeförsöket

Passage av zoner

En specialstudie har omfattat utveckling av metodik för passage av svaghetszoner och härtill hörande undersökningsinsatser.

Förundersökningarna visade att tunneln passerar en betydande svaghetszon vid södra delen av Äspö på ett djup av ca 180 m. Omfattande förberedelser skedde inför passagen av zonen så att passagen kunde ske under kontrollerade förhållanden med innehållande av ett antal delmål. Bland delmålen märks bl a exakt lokalisering av sprickzonen, karakterisering av zonen och kontrollerad förinjektering – i första hand vad gäller injekteringsmedlets spridning. Passage av zonen NE-1 skedde under våren 1992. Zonens egenskaper och läge överensstämmer i stort sett med de prediktioner som upprättats vid förundersökningarna. De stora vattenmängder och -tryck som påträffades i zonen krävde omfattande tätnings- och förstärkningsinsatser för att på ett säkert sätt passera zonen med tunneln. Arbetet är under utvärdering, men en av slutsatserna från denna zonpassage är att byggnadstekniken för att passera större vattenförande zoner på stort djup med stora vattentryck behöver utvecklas. I samband med förberedelserna för passage av zonen NE-1 har betydande metodutveckling skett bl a beträffande tätning av berg och mätmetodik. För att klara säkerheten i samband med borring och mätning av undersökningshål har t ex speciella ventilpaket utvecklats.

Åldersdatering av sprickzoners rörelser

Inom den allmänna geovetenskapliga forskningsverksamheten vid SKB har under Äspölaboratoriets byggnadsskede genomförts grundläggande studier om åldersdatering av senaste iakttagbara rörelser i sprickzoner. Ett jämförande arbete med olika metoder har analyserat prover från en sprickzonerna EW-7, NE-4 och NE-3. De metoder som ingått har varit paleomagnetisk analys, mikrostrukturell analys, elektron-spinner resistans (ESR-teknik) och olika isotoprelationer (K-Ar, Rb-Sr). För NE-4 visar ESR-tekniken den yngsta åldersdateringen vilket motsvarar att ingen rörelse skett senare än för 1–2 miljoner år sedan. Den paleomagnetiska dateringen motsvarar en förkastningsrörelse under karbon till perm (345 – 225 miljoner sedan). K-Ar dateringen visar något högre ålder /5/.

7 PROGRAM FÖR DRIFTSKEDET – SAMMANFATTNING

Efter anläggningsskedet inleds driftskedet vid Äspölaboratoriet. Driftskedet startar under 1995. Experiment- och demonstrationsverksamheten antas i huvudsak ske på 460 m-nivån. Allteftersom data erhålls från dokumentationen under anläggningsskedet uppdateras förväntningsmodellerna om bergmassan vid Äspö. Försök och prov planeras därvid alltmer i detalj till vissa experimentorter och nischer.

I Bilaga A redovisas ett mer detaljerat program med kommentarer för driftskedet. Här ges enbart en kortfattad sammanfattning.

7.1 MÅL FÖR DRIFTSKEDET

Driftskedet skall uppfylla de övergripande huvud- och etappmål som uppställts för Äspölaboratoriet. I huvudsak skall etappmålen 3,4 och 5 krav mötas under detta skede, se avsnitt 2.3.

7.2 EXPERIMENT- OCH DEMONSTRATIONSPROGRAM 1995-1998

I detta kapitel redovisas i sammanfattad form föreslagna experiment och demonstrationsaktiviteter för perioden 1995-1998. Presentationen görs i förhållande till de uppställda etappmålen.

Etappmål 3 – Pröva modeller för grundvattenströmning och radionuklidmigration

Försök i detaljskala – Sorberande spårämnen rörelser är endast möjliga att följa i liten geometrisk skala under laboratoriets livslängd. Experimentet kommer att utföras i en borrhålsgrupp, där möjlighet finns att – efter experimenten slutförts – ta ut berget för att analysera det absorberade spårämnet på sprickytor. Försöket kommer därför att utföras i sprickskala (5 m) och modellerna kommer att kalibreras mot hydrauliska tester och spårämnesförsök i borrhålsgruppen.

Försök i blockskala – Detta experiment syftar till att studera flödesfördelningen i en enskild större spricka eller en mindre sprickzon som kan förväntas genomkorsa en djupförvarstunnel. Sambandet mellan zonen och spricksystemet i det friska berget är även av intresse. I detta experiment är det möjligt att kalibrera modellerna mot radartomogram från saltinjektionstester i samma plan som grundvattenledaren. Experimentalskalan bör vara sådan att det huvudsakligen endast är möjligt att genomföra experiment med icke-sorberande eller mycket svagt sorberande spårämnen. Försöket planeras därför att utföras i blockskala, ca 50 m. Denna skala är representativ för närområdet.

Försök i anläggningsskala, regional zoner – Utkast till möjliga försök i sk anläggningsskala och regionala zoner beskrivs närmare i Bilaga A. Det är inte planerat att påbörja dessa experiment förrän i slutet av 1990-talet.

Radionuklidretention – Olika försök genomförs för att bl a pröva upplösning och retention av radionuklider in situ. En speciell kemisond, CHEMLAB-sonden, har

utvecklats för dessa experiment. Vissa experiment skall utföras på materialprover i sonden med denna placerad i en sprickzon. Grundvattnet i zonen representerar en naturlig omgivningsmiljö. Avsikten är att utnyttja den zon som karakteriseras inom experimentet, "Försök i blockskala". 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 kemiska egenskaper i den naturliga berggrundsmiljön baserar sig dock i huvudsak på laboratorieförsök. Sådana försök har emellertid svårt att efterlikna exempelvis naturliga reducerande förhållanden, naturlig halt kolloidala partiklar, naturligt innehåll av mikrober och lösta gaser. 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.

Redoxreaktioner – Ett storskaligt 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 anläggningsskedet, då oxiderande vatten kan komma ner i anläggningen studeras dessa reaktioner. Liknande undersökningar utförs i blockskala (några tiotal meter) vilket möjliggör kontroll av samtliga ingående parametrar samtidigt som möjlighet ges till en bedömning av hastigheten i utbytesreaktionerna. Det övergripande syftet med undersökningarna är att bestämma reaktionskinetiken då oxiderande vatten förvandlas till reducerande genom att korrelera flödes-hastighet med mineralogiska förändringar.

Erfarenheter av grundvattenanalyser från borrhål visar förekomst av bakterier i merparten av proverna. Detta kan eventuellt bero på kontaminering under bormning och annat som föregått provtagningen. Ett separat delprojekt under driftskedet syftar till att besvara om det förekommer bakterier i ostört berg och vilka arter som dominerar i så fall. Vidare skall bakteriernas livsbetingelser studeras liksom hur stor andel bakterier som sitter på sprickytor.

Mikrober kommer generellt att undersökas i samband med de insatser som görs inom ramen för försök med inriktning på redoxkinetik.

Störda zonen – Det är känt att utsprängning av en tunnel i sprickig, kristallin berggrund påverkar de hydrauliska egenskaperna omedelbart innanför tunnelväggen. Orsakerna till störningen har tolkats som omfördelningar av spänningar, sprängskador och kemiska reaktioner. Vidare har två-fasflöde, beroende på uttorkning och avgasning av grundvatten, angetts som en tänkbar förklaring. Följderna av kombinationen av dessa fenomen och kanske några ytterligare är för närvarande dåligt kända. Experiment i den störda zonen kommer att utföras för att förstå och förklara dessa fenomen och för att se om de blir bestående även för ett återfyllt djupförvar.

Numeriska modeller – Numerisk modellering av grundvattenflöden och grundvattennivåer har varit en integrerad del av Äspölaboratoriet från första början. Ursprungligen påbörjades modelleringen med en enkel generisk modellering av olika alternativ till utformning av laboratoriet och med saltvattenfrontsproblematiken. Efterhand utvecklades modellerna till en omfattande prediktionsmodell av tillfartstunneln och dess effekter på grundvattennivåer och vattenomsättning. Tillfartstunneln är för närvarande under byggnad och modellen stäms av mot data som erhålls under anläggningsskedet.

Grundvattenmodelleringen kommer även fortsättningsvis att vara en viktig del av projektet. Transport- och flödesmodellering pågår för närvarande i syfte att förfinna de existerande modellerna och att införa transport av lösta ämnen i desamma på ett mer omfattande sätt. De experiment som planeras kommer att i största möjliga mån integreras med utveckling av konceptuella och numeriska modeller. En huvuduppgift är att framgångsrikt modellera de planerade experimenten.

För samordning mellan experimenterare och modellutvecklare har under anläggningskedet inrättats en arbetsgrupp (sk Task Force) med deltagare från de medverkande internationella organisationerna. Gruppen kommer att följa ett antal modelleringsprojekt som är knutna till experimenten.

Etappmål 4 – Demonstrera bygg- och hanteringsmetoder

Programmet syftar till att demonstrera hur utbyggnad av ett förvar ska ske. I samband med byggandet av ett djupförvar är det nödvändigt att genomföra ett antal undersökningar för att få underlag för utformning av förvaret, för försegling av förvaret och för att få underlag för den slutliga säkerhetsanalysen av det utbyggda förvaret. Genomförandet av undersökningarna är beroende på valet av förvarssystem.

Idag förutsätts att förvaret anläggs på ca 500 m djup. 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 undersökningarna av typområdena har bidragit till att förbättra förmågan att karakterisera närområdet. Vidare har tunnelarbeten i Sverige och i utlandet givit många praktiska erfarenheter. Ovanstående kunskap till trots så saknas en fullständig demonstration av hur karakteriseringen av närområdet i ett djupförvar genomförs. Det är viktigt att demonstrera detta i naturlig skala.

Förutom metodik för att karakterisera närområdet, krävs en utvecklad teknik för passage av vattenförande zoner under höga hydrauliska tryck, liksom en utvecklad injekteringsmetodik. Viss kompletterande anläggningsverksamhet kan komma att krävas för dessa utvecklingsinsatser.

Etappmål 5 – Pröva viktiga delar i förvarssystemet

Detta program innebär att relevanta pilot- och demonstrationsförsök genomförs efter det att huvudprinciperna för förvarsutformning och -system fastlagts i mitten av 90-talet. Syftet med försöken är att demonstrera förvarsfunktionen genom att klarlägga samverkan mellan berg och slutgiltigt valda buffertar, under realistiska förhållanden som kan råda i deponeringsanläggningar.

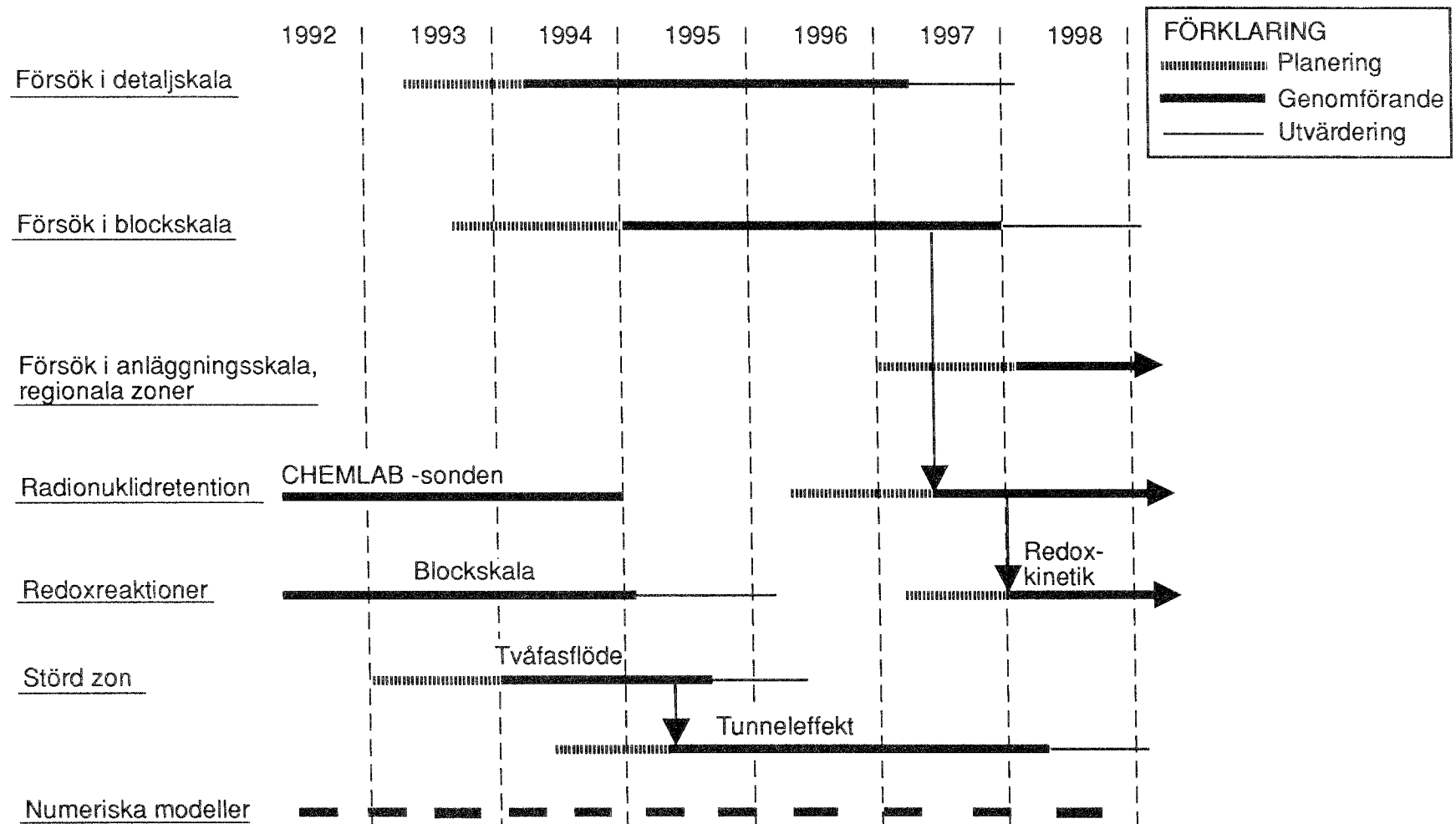
7.3 TIDPLAN FÖR DRIFTSKEDET

De ovan presenterade programmen har inga tydliga gränser mot varandra utan en samordnad planering är nödvändig.

Fram till 1995 kommer de olika ingående projekten att detaljplaneras med avseende på mål, analysmetoder, instrument, utvärdering, resurser m m.

Nya internationella forskningsrön, nya förvarskoncept eller uppnådda delresultat vid Äspölaboratoriet kan innebära förändrade forsknings- och demonstrationskrav. Det är därför viktigt att det finns ett visst mått av frihetsgrad för den detaljerade planeringen av driftskedet.

I Figur 7-1 redovisas en översiktlig logistik- och tidplan för driftskedet vid Äspölaboratoriet.



Figur 7-1. Logistik- och tidplan för planering och genomförande av Åspölaboratoriets driftskedet, test av modeller för grundvattenströmning och radionuklidmigration.

8 GENOMFÖRANDE

8.1 ORGANISATION

Insatserna vid Äspölaboratoriet genomförs liksom SKBs övriga FUD-verksamhet 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 och kvalificerade experten. För vissa frågor kan man pröva olika alternativa vägar eller modeller.

Inriktningen och Äspöprogrammets innehåll utarbetas av en programgrupp vid SKBs enhet för Forskning och Utveckling. Med FUD-programmet som grund utarbetas årliga planeringsrapporter som relativt detaljerat beskriver det närmaste årets arbete. Två referensgrupper är knutna till projektet. Den ena, referensgruppen, (Scientific Advisory Committee (SAC)) har som uppgift att tekniskt/vetenskapligt granska forskningsverksamheten och vara rådgivande. Den andra gruppen (Construction Advisory Committee) granskar och ger råd i bygg- och anläggningstekniska frågor. Det internationella samarbetet koordineras i en "Technical Coordinating Board".

Projektet leds av en projektledare inom SKBs enhet för Forskning och Utveckling. En projektgrupp svarar för genomförande av arbetena. Ansvariga för geologi, hydrogeologi, geokemi, instrument, anläggning utarbetar förslag till övergripande program, upprättar objektplaner, analyserar och utvärderar resultat m m. Platskontorsgruppen genomför fältundersökningar och ger information till allmänhet och specialister. Då behov finns definieras löpande olika delprojekt för att uppnå god samordning. Organisationen rymmer också projektadministration samt planering, uppföljning av bygg- och anläggningsverksamheten. Vidare ingår planering av experiment- och demonstrationsverksamheten för driftskedet.

För närvarande är platskontoret provisoriskt med placering nära tunnelpåslaget vid Simpevarvsanläggningarna. Under 1993–1994 byggs en permanent forskarby på Äspö som genom hisschakt kommer att ha direkt tillgänglighet till laboratoriet.

8.2 RAPPORTERING

Resultat m m dokumenteras löpande i skriftliga rapporter. Merparten av publiceringen sker på engelska. De huvudsakliga resultaten och analyserna sammanfattas i SKBs rapportserie "Technical Reports", (TR). Dessa rapporter bygger på preliminära analyser och datasammanställningar i s k "Progress Reports", (PR). FUD-insatser sammanställs ofta först i s k "Technical Notes", för att underlätta snabb intern rapportering. T o m augusti 1992 hade 6 Technical Reports och 112 Progress Reports publicerats, se bilaga B. Förutom i SKBs egna rapportserier presenteras projektet och dess resultat också i internationella tidskrifter samt vid internationella konferenser och symposier.

8.3 KVALITETSSÄKRING AV DATAHANTERING OCH ANALYS

Kvalitetssäkring (QA) inom ett projekt kan definieras som att ingående verksamheter genomförs på ett i förväg noga planerat och väl specificerat sätt. Kravspecifikationer för t ex organisation, administration, analyser och apparatur skall följas och vara

oförändrade tills eventuella nya beslut fattas av ansvariga. För en forskningsverksamhet är det av största vikt att datahanteringen sker kontrollerat. Äspöprojektet har sedan starten präglats av noggrant specificerad dokumentation och datainsamling. Inför det fortsatta anläggningsarbetet och experimentverksamheten utarbetas en kvalitetsmanual som bl a innehåller instruktioner för upphandling av tjänster och varor, dokumentation, arkivering, kvalitetskontroll, avvikelserapportering etc.

QA-verksamheten skall, förutom att gagna Äspölaboratoriet, ses som en nödvändig generalrepetition inför anläggandet av djupförvaret för radioaktivt avfall.

8.4 INTERNATIONELL MEDVERKAN

Inom den radioaktiva avfallshanteringen är det väsentligt med internationell samsyn och erfarenhetsutbyte över gränserna. Äspölaboratoriet har rönt starkt internationellt intresse och samarbetsavtal har knutits med ett flertal utländska organisationer, vilka önskar delta i projektet. Avtal har hittills tecknats med följande: Atomic Energy of Canada (AECL), Power Reactor and Nuclear Fuel Development Co of Japan (PNC), Central Research Institute of the Electric Power Industry of Japan (CRIEPI), Teollisuus Oy, Finland (TVO), Agence Nationale pour la gestion des Dechets Radioactifs, Frankrike (ANDRA) samt NIREX i Storbritannien. Ett avtal med US Department of Energy (DOE) väntas formellt undertecknas under 1992.

Det internationella deltagandet i projektet samordnas inom ramen för "Technical Coordinating Board "(TCB). Det vetenskapliga utbytet sker genom deltagande i referensgruppen, "the Scientific Advisory Committee"(SAC). TCB kan vid behov bilda arbetsgrupper för speciella vetenskapliga uppgifter ("Task Force"). Nyligen har en arbetsgrupp med internationell medverkan initierats för hydraulisk modellering av grundvattenströmning.

Det praktiska samarbetet sker t ex genom att organisationerna har personal på platsen (PNC och CRIEPI), att instrument provas (ANDRA) eller att modeller för grundvattenströmning och transport av lösta ämnen utvecklas och testas (PNC, CRIEPI, US/DOE, ANDRA, TVO, NIREX).

8.5 INFORMATIONSVERKSAMHET

Information om Äspölaboratoriet är en viktig och integrerad del av projektet. Den sker i enlighet med SKBs övriga informationspolicy, vilket innebär att den skall vara öppen, saklig, allsidig och aktuell.

Ett flertal målgrupper kan definieras vilket ställer olika krav på informationens innehåll och utformning. Bland målgrupperna kan nämnas: allmänheten, SKI, Oskarshamns kommun, länsstyrelsen i Kalmar län, internationella deltagande organisationer, forskarsamhället och inte minst de som på ett eller annat sätt deltar i själva arbetet.

Informationstavlor har arrangerats på Äspö och en besöksnisch finns iordningställd under jord nära tunnelpåslaget. Broschyr är framtagen. En video är under produktion.

Som exempel kan nämnas att under år 1991 besökte ca 2000 personer Äspölaboratoriets platskontor. 23 nationer var representerade.

REFERENSER

- /1/ SKB FoU-program -86, Del I-III. Kärnkraftavfallets behandling och slutförvaring. Program för forskning, utveckling och övriga åtgärder. SKB, Stockholm, september 1986.
- /2/ SKB FoU-program -89. Kärnkraftavfallets behandling och slutförvaring. Program för forskning, utveckling och övriga åtgärder. SKB, Stockholm, september 1989.
- /3/ IAEA-TECDOC-264, 1982. Radioactive Waste Management Glossary, International Atomic Energy, Vienna.
- /4/ **Spalding D B**, 1981. A general-purpose computer program for multi-dimensional one- and two phase flow. Math and Comp in Simulation, XIII, pp 267–276
- /5/ **Maddock R H et al.**, 1992. Direct Fault Dating Trials at the Äspö Hard Rock Laboratory. Final Report. SKB Technical Report 92-xx (in print).

**PROGRAM FÖR UNDERSÖKNINGAR OCH
EXPERIMENT UNDER DRIFTSKEDET**

INNEHÅLL

1	INLEDNING	5
2	MÅL FÖR DRIFTSKEDET	5
3	KOMMENTARER TILL DRIFTSKEDETS MÅL	5
3.1	FYSIKALISKA OCH KEMISKA PROCESSER	6
3.2	METODIK FÖR UTBYGGNAD	6
3.3	UTVECKLING OCH DEMONSTRATION AV INGENJÖRSBARRIÄRER	7
4	TEST AV MODELLER FÖR GRUNDVATTENSTRÖMNING OCH RADIONUKLIDMIGRATION	8
4.1	BAKGRUND	8
4.2	FÖRSÖK I DETALJSKALA	9
4.2.1	Bakgrund	9
4.2.2	Mål	10
4.2.3	Möjligt utförande	10
4.3	FÖRSÖK I BLOCKSKALA	11
4.3.1	Bakgrund	11
4.3.2	Mål	11
4.3.3	Möjligt utförande	11
4.4	FÖRSÖK I ANLÄGGNINGSSKALA	12
4.4.1	Bakgrund	12
4.4.2	Mål	12
4.4.3	Möjligt utförande	13
4.5	FÖRSÖK I REGIONALA SPRICKZONER	14
4.5.1	Bakgrund	14
4.5.2	Mål	14
4.5.3	Möjligt utförande	14
4.6	RADIONUKLIDRETENTION	15
4.6.1	Bakgrund	15
4.6.2	Mål	15
4.6.3	Utförande	16
4.7	REDOXREAKTIONER	18
4.7.1	Bakgrund	18
4.7.2	Mål	19
4.7.3	Utförande	19
4.8	STÖRDA ZONEN RUNT ORTER	21
4.8.1	Bakgrund	21
4.8.2	Mål	22
4.8.3	Möjligt utförande	23
4.8.4	Avgasning av grundvatten och två-fasflöde	23

4.8.5	Tunneleffekter	24
4.9	MODELLERING AV GRUNDVATTENSTRÖMNING OCH RADIONUKLIDMIGRATION	26
4.9.1	Bakgrund	26
4.9.2	Mål	26
4.9.3	Genomförande	27
5	DEMONSTRATION AV BYGG- OCH HANTERINGSMETODER	30
5.1	BAKGRUND	30
5.2	MÖJLIGA UTVECKLINGSARBETEN	30
6	PROV AV VIKTIGA DELAR I FÖRVARSSYSTEMET	32
6.1	BAKGRUND	32
6.2	MÖJLIGA UTVECKLINGSARBETEN	32
7	TIDPLAN FÖR DRIFTSKEDET	33

1 INLEDNING

Efter avslutande anläggningsarbeten för Äspölaboratoriet kommer ett flertal experiment- och demonstrationsförsök att fortsätta vid Äspölaboratoriet. Planeringen för driftskedet har pågått sedan 1988 och kommer successivt att detaljeras. Programmet under driftskedet påverkas av SKB:s övriga forskningsresultat och de krav som är förknippade med långsiktiga säkerhetsaspekter samt djupförvarets anläggning.

2 MÅL FÖR DRIFTSKEDET

Driftskedet skall uppfylla de övergripande huvud- och etappmål som uppställts för Äspölaboratoriet. Huvudsakligen skall etappmålen 3, 4 och 5 mötas under driftskedet. Dvs FUD-verksamheten skall:

3 Pröva modeller för grundvattenströmning och radionuklidmigration

- utveckla och i stor skala på förvarsdjup pröva metoder och modeller för bestämning av grundvattenflöde och radionuklidmigration.

4 Demonstrera bygg- och hanteringsmetoder

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

5 Pröva viktiga delar i förvarssystemet

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

3 KOMMENTARER TILL DRIFTSKEDETS MÅL

Med utgångspunkt från ovanstående mål kan tre principiella typer av FUD-verksamhet definieras:

- Kvalitativ och kvantitativ beskrivning av fysikaliska och kemiska processer som har betydelse för förvarets funktion och säkerhet.

- Metodik för anpassning av förvaret till bergets lokala egenskaper.
- Demonstration och validering av teknik för förundersökning, detaljundersökning, samt utbyggnad och hantering.

Det finns även frågor av scenariokaraktär som delvis belyses inom Äspölaboratoriets ram. Ett exempel är sannolikheten för och konsekvenserna av framtida berg rörelser.

I det praktiska genomförandet av forskningsprogrammet kommer de tre huvudtyperna av FUD-verksamhet att gripa in i varandra. Till exempel är forskningen om de processer som styr nuklidtransport genom berget beroende av den teknik som står till buds för att karakterisera berget. Likaså är metodiken för förvarets anpassning till berget beroende av tillgänglig förundersökningsteknik och av den relativa betydelsen av olika transportprocesser.

3.1 FYSIKALISKA OCH KEMISKA PROCESSER

En säkerhetsanalys baseras på en beskrivning och numerisk modellering av de processer som kan tänkas vara av betydelse för transport av radionuklider från det använda bränslet till biosfären. Forskningen i Äspölaboratoriet bör syfta till att med fältförsök bekräfta (validera) de antaganden som gjorts i senare säkerhetsanalyser samt att utveckla mer realistiska modeller än de förenklade modeller som används idag.

Följande fysikaliska och kemiska processer kan studeras genom en kombination av fältförsök (i Äspölaboratoriet), laboratorieförsök och numerisk modellering:

- Nuklidtransport i sprickigt berg. Experiment genomförs där grundvattenflöde och nuklidtransport studeras i olika skalor. Betydelsefulla frågeställningar är t ex flödesgeometrin i sprickzoner och enskilda sprickor, kvantifiering av transportparametrar såsom dispersion, kapacitet för sorption (våt yta) och matrisdiffusion, eventuella samband mellan geologisk struktur och permeabla sprickor (heterogenitetens inverkan på flöde och transport).
- Inverkan av den störda zonen runt orter och deponeringshål. En bättre kvalitativ och kvantitativ förståelse av de processer som gör att den hydrauliska konduktiviteten runt en ort är skild från den i ostörda berget. (Axiell/radiell konduktivitet, tvåfasflöde, spänningsomlagring, sprängskador, återfyllnad av förvaret.)
- Grundvattenkemi och dess inverkan på löslighet och sorption av radionuklider.
- Samverkan mellan berg och buffertmaterial. (Svälltryck, kemi, inverkan av föroreningar (olja, bakterier), återfyllnad av förvaret, beständighet.)
- Termisk påverkan från bränsleavfallet på grundvattenkemi och hydrauliska egenskaper hos berg och buffertmaterial.
- Förvarets påverkan på grundvattenflöden och grundvattenkemi under bygg- och driftstiden och eventuella konsekvenser efter återfyllnad av förvaret.
- Förvarets långsiktiga mekaniska stabilitet. (Deformation och utfall i orter och deponeringshål.)

3.2 METODIK FÖR UTBYGGNAD

Under utbyggnaden av ett förvar kommer successivt mer detaljerad kunskap om berget att erhållas. Av säkerhetsmässiga och byggnadsmässiga skäl kommer förvarets detaljutformning att behöva anpassas till de lokala geologiska förhållandena. För att kunna genomföra detta erfordras en väl genomtänkt plan för förundersökning och

konstruktion samt väl underbyggda kriterier för att fatta erforderliga beslut. Kriterier behövs till exempel för att besluta om exakt placering av kapslar/deponeringshål, förvarstunnlar, förstärknings- och tätningsåtgärder och pluggar i orter. Det krävs en integrerad detaljundersökningsmetodik baserad på pilothål framför planerade orter och undersökningar i orter. Instrument och tolkningsmetoder behöver vidareutvecklas och deras tillämpbarhet visas. Utveckling av speciella instrument kan även komma att erfordras för att genomföra experiment relaterade till beskrivningen av olika fysikaliska och kemiska processer.

Följande huvudprojekt planeras således:

- Framtagning av en plan för samt ett integrerat undersökningsprogram för detaljkaraktärisering av ett tänkt förvarsområde som underlag för förvarets utformning, val av läge för kapslar samt för funktions- och säkerhetsanalys. Programmet genomförs för att visa dess funktion i olika steg under utbyggnaden av ett tänkt förvar. Viktiga frågor att besvara är: med vilken säkerhet kan sprickor/zoner med olika orientering och karaktär identifieras på givet avstånd från ett undersökningshål/deponeringshål/tunnel?
- Optimering av undersökningsplan för att successivt minska osäkerheten i den platsspecifika säkerhetsanalysen. Optimeringen görs mot bakgrund av en kostnads/nyttoanalys.

3.3 UTVECKLING OCH DEMONSTRATION AV INGENJÖRSBARRIÄRER

I processen för deponering av kapsel och återfyllning med bentonit och bentonit-sandblandningar ingår olika hanteringssteg, som måste utformas i detalj dels efter fysiska toleranser, dels med hänsyn till möjliga variationer i miljön, t.ex. luftfuktighet och vatteninläckning. Den centrala frågan är härvid att åstadkomma sådana förhållanden som säkerhetsanalysen förutsätter. Erforderlig kvalitet i resultatet efter deponeringen, t.ex. bentonitens täthet och kapselns exakta position, måste kunna bekräftas genom mätningar i efterhand. Olika led i hanteringen kan utvecklas och testas i Äspölaboratoriet.

Säkerhetsanalyserna KBS-3, SKB 91 etc. beskriver de funktioner som är viktiga i djupförvaret för en isolering under lång tid. Vissa av dessa bygger på ingenjörbarriärernas kvalitet. Vissa förutsättningarna för att uppfylla nödvändiga funktionskriterier kan också studeras genom långtidsförsök i Äspölaboratoriet.

Äspölaboratoriet kan således nyttjas för att bestämma hur själva deponeringen skall gå till i detalj. Förutom att maskiner och annan utrustning skall fungera gäller det att trimma in operatörerna och ge dessa en uppfattning om vilka praktiska problem som måste lösas av dem i en verklig driftsituation. För detta krävs träning med utrustningen under så realistiska förhållanden som möjligt. Träning i icke aktiv miljö förefaller vara fullt tillräcklig.

Äspölaboratoriet kan också användas till att studera ingenjörbarriärernas funktion på kort och lång sikt. En del av funktionen hänför sig till deponeringens praktiska genomförande, en annan beror av bentonitens och bergets egenskaper. Genomförandet kan kontrolleras genom mätningar. Bentoniten och den sk närzonens egenskaper måste testas genom modellberäkningar som successivt förfinas. Genom försök och tester följs resultaten upp. Med fullskaleprov i Äspölaboratoriet kan inte bara data och kunskaper dokumenteras utan också en betryggande säkerhet fås genom att verksamheten kunnat ”repeteras” före överföring till djupförvaret.

4 TEST AV MODELLER FÖR GRUNDVATTENSTRÖMNING OCH RADIONUKLIDMIGRATION

4.1 BAKGRUND

För att en lokaliseringsansökan skall kunna utarbetas och godkännas, måste den långsiktiga säkerheten hos ett förvar kunna visas. Detta kräver kunskaper om de processer som styr grundvattenströmning och radionuklidmigration, samt plats-specifika data på viktiga transportparametrar.

Grundvattenflöde och transport i sprickigt berg har studerats intensivt inom ramen för SKB:s FoU-program under de senaste 15 åren. Platsundersökningarna, som hittills genomförts på många olika platser i Sverige, har resulterat i en omfattande databas som ger en god uppfattning om det kristallina bergets allmänna struktur och hydrauliska egenskaper. I Stripa, Finnsjön och Äspö har de hydrauliska egenskaperna hos sprickzoner undersökts genom hydrauliska mellanhålsmätningar (interferenstester). Detta har givit kunskap om sprickzoners heterogenitet och hydrauliska samband över avstånd på några hundra meter. Inom ramen för det internationella Stripaprojektet har tekniker, såsom borrhålsradar och mellanhålsseismik, utvecklats för lokalisering och karakterisering av sprickzoner. Dessa tekniker har väsentligt ökat möjligheterna att göra tillförlitliga strukturbeskrivningar av stora bergvolymmer. Tillsammans med utvecklingen av hydrauliska mät- och modelleringstekniker har detta väsentligt ökat kunskapen om grundvattenflöden och flödesvägar i en sprucken bergmassa.

Spårförsök för att undersöka transport av lösta ämnen i berg har utförts i Studsvik, Finnsjön, Stripa och nu senast i Äspölaboratoriet. Dessa försök har givit en noggrannare bild av grundvattenströmningen i berget. Det gäller framförallt fördelningen av vattenflödet i sprickor och flödesmönstret i dessa sprickor. In-situ försök med sorberande spårämnen har inom ramen för SKB:s FoU-program genomförts bl a i Stripa. Vid dessa försök injicerades sorberande nuklider i ett sprickplan. Förekomst av de injicerade nukliderna kunde beläggas endast några decimeter från injiceringspunkten efter ungefär ett år då experimentet avslutades.

Trots de erfarenheter som hittills vunnits måste kunskapsunderlaget fortfarande förbättras framför allt vad gäller de processer som styr transport av lösta ämnen och variabiliteten i de styrande parametrarna. Trots att flera spårförsök hittills genomförts så finns relativt få in-situ data på viktiga transportparametrar såsom flödesporositet och dess heterogenitet i spricksystemet (vilket bestämmer grundvattnets hastighet), dispersion, matrisdiffusion och den sprickyta som är tillgänglig för sorption av radionuklider (den så kallade våta ytan). Representativa data på dessa parametrar erfordras från närberget runt en kapsel, det bra berget i närheten av slutförvarstunnlarna samt konduktiva sprickzoner längre bort. Därför planeras in-situ experiment i flera skalor för att ta fram data på dessa parametrar och deras variation längs en tänkt flödesväg från förvaret till biosfären.

Flera experiment planeras för att öka kunskapen om de kemiska processer som kontrollerar transporten av radionuklider genom berget. De modeller som använts för att beskriva dessa processer har i huvudsak baserats på laboratorieförsök. Behov finns

således av att genom in-situ försök validera modeller och kontrollera de parametervärden som används i modellerna.

Ett speciellt problemkomplex utgör flöde och transport i den störda zonen runt orter. Uttag av ett hål i berget såsom en ort innebär en störning på de omgivande berget vilket medför en ändring i bergets hydrauliska egenskaper. Flera olika fysikaliska och kemiska processer har identifierats vilka uppenbarligen är av betydelse för den störda zonens hydrauliska egenskaper. Den relativa betydelsen av olika processer och beroendet av brytningsmetod och geologiska förhållanden är ej tillfredsställande utredd. En serie experiment planeras för att belysa den störda zonens betydelse vid utbyggnad av djupförvaret och dess långsiktiga säkerhetsfunktion.

Till det experimentprogram som definierats för Äspölaboratoriet kopplas ett program för utveckling och tillämpning av numeriska modeller för grundvattenströmning och transport av lösta ämnen. Flera av de experiment som kommer att genomföras i Äspölaboratoriet syftar till att ge underlag för validering av dessa numeriska modeller.

4.2 FÖRSÖK I DETALJSKALA

4.2.1 Bakgrund

För de flesta lösta ämnen sker transporten av ämnet långsammare än grundvattnets genomsnittliga flödeshastighet. Detta beror på ett flertal olika processer som ger upphov till en uppbromsning av de lösta ämnena relativt det strömmande grundvattnet. Viktiga processer är dispersion och retention. Retentionen (uppbromsningen) orsakas av att radionuklider sorberar på mineralytor i kontakt med det strömmande grundvattnet samt att radionuklider diffunderar från vattenförande sprickor till det stagnanta vattnet i bergets mikrosprickor och sorberas på mineralytorna där. Även icke sorberande ämnen fördröjs genom diffusion till det stagnanta vattnet i bergets mikrosprickor genom att de då undandras från transporten med det rinnande vattnet.

Retentionen av sorberande nuklider jämfört med icke sorberande ämnen beror dels på hur stark sorptionsjämvikten är och på hur mycket sorberande ("våta") ytor det finns i förhållande till vattenvolymen. För transport i sprickigt berg är även förhållandet mellan den yta som är tillgänglig för sorption och vattenflödet av betydelse.

Syftet med in-situ experimenten i detalj- och blockskala är att få fram data som kvantitativt beskriver de olika processerna samt deras relativa betydelse i olika sprickor och flödesregimer.

Grundläggande för beskrivningen av dessa processer är en god uppfattning om hur grundvattenflödet fördelar sig i ett sprickplan. Flödesfördelningen bestämmer variationerna i flödeshastighet och därmed dispersionen, den bestämmer även den yta som kommer i kontakt med det rinnande vattnet och därmed den yta som är tillgänglig för sorption och för diffusion in i bergmatrisen. Denna yta kallas ofta den "våta ytan".

Att få fram data på den våta ytan, dvs. den sprickyta som är i kontakt med det rinnande vattnet, är en svår uppgift. En direkt mätning av den våta ytan kräver injicering av sorberande spårämnen och/eller någon typ av färgämnen eller gel i en spricka som sedan försiktigt grävs ut. Denna typ av experiment är viktiga för att visa den våta ytans fördelning i sprickplanen samt att matrisdiffusion är en betydelsefull process för retardation av radionuklider. Experiment av denna typ är dock tidsödande och kostsamma och kan i samband med detaljundersökningar av ett framtida slutförvar endast

genomföras i mycket begränsad omfattning. Det är således viktigt att även utveckla och demonstrera indirekta observationsmetoder för de viktiga transportparametrarna vilka kan nyttjas i karakteriseringen av ett slutförvar. Sådana experiment baseras på hydrauliska tester och spår försök med icke sorberande ämnen. I båda fallen genomförs flera experiment för att få statistik på variationen i transportparametrarna.

4.2.2 Mål

Huvudmålen med detta projekt är

- att bestämma de parametrar och de processer som styr transport av sorberande ämnen i enskilda sprickor, samt
- att erhålla kunskap om transportparametrarnas variabilitet för sprickor av olika karaktär.

4.2.3 Möjligt utförande

För att demonstrera att matrisdiffusion är en betydelsefull process för retardation av radionuklider och för att ta fram dataunderlag genomförs ett eller flera experiment där sorberande spårämnen injiceras i en spricka under lång tid. Potentiellt lämpliga sprickor väljs i huvudsak med utgångspunkt från tunnelkarteringsdata. Ett hål borrar som skär en lämplig spricka på ett sådant avstånd från orten att den komplikation som den störda zonen innebär undviks. Sorberande spårämnen (t.ex. cesium och strontium) injiceras kontinuerligt under lång tid (flera år). Försöket avslutas med injicering av färgämne, gel eller epoxy. Därefter görs en överborrning eller försiktig utbrytning av sprickplanet. Färgämnets (eller motsvarande) fördelning i sprickplanet visar på flödeskanalernas utsträckning och form. Sprickytan provtas sedan för att bestämma indiffusionsprofilen i bergmatrisen.

In-situ försöken kompletteras med laboratorieförsök där spår försök med sorberande ämnen genomförs på verkliga sprickor som tagits från Äspölaboratoriet. I detta fall kan försöken ske under väl kontrollerade förhållanden där flödet, den våta ytan, porositeter, sorptionsegenskaper mm. är kända. Från försöken bestäms genombrottskurvor och indiffusionsprofiler i matrisen.

För att demonstrera indirekta metoders möjligheter att ta fram in-situ data på viktiga transport parametrar kommer även experiment med icke sorberande spårämnen att genomföras i detaljskala. Detta experiment baseras på att en väl definierad spricka genomborras med 10–12 hål inom en relativt liten yta. Transmissivitetfördelningen i dessa hål kommer att ge en uppskattning av den andel av sprickytan där flöde sker (den "våta" ytan). Hydrauliska mellanhåltester och tester med icke sorberande spårämnen genomförs för att kartlägga flödessambanden i sprickplanet. Genom att genomföra tester med olika gradientriktningar, flödeshastigheter samt olika avstånd och riktning mellan injicerings- och provtagningshål kan data erhållas på longitudinell och transversell dispersion, matrisdiffusion och i viss utsträckning skalberoendet hos dessa parametrar. Diffusion till områden med stagnant vatten kan undersökas genom att genomföra försök med spårämnen som har olika partikelstorlek.

Då kanalfördelning och våt yta är viktiga parametrar kommer även undersökningar att genomföras för att försöka kvantifiera dessa parametrar med oberoende metoder. Utredningar kommer att genomföras för att undersöka i vilken utsträckning det är möjligt att uppskatta dessa parametrar utifrån mätningar i enskilda borrhål och/eller observationer i tunnlår. Av speciellt intresse är om data från tunnlår kan anses representativa för det ostörda berget.

För att få en god uppfattning om transportparametrarnas variation beroende på geologiska förhållanden bör likartade experiment genomföras på 4-6 enskilda sprickor eller mindre sprickzoner i olika delar av Äspölaboratoriet. Undersökningarna bör fokuseras på sprickor som hör till de dominerande sprickgrupperna på Äspö.

4.3 FÖRSÖK I BLOCKSKALA

4.3.1 Bakgrund

Enligt nuvarande koncept kommer ett framtida slutförvar att utformas på ett sådant sätt att större vattenförande zoner undviks. Mot bakgrund av den kunskap om vattenförande zoners förekomst som hittills erhållits så kan vattenförande enskilda sprickor eller mindre zoner förväntas korsa tunnarna i ett djupförvar. Behållare med använt bränsle avses bli placerade i det ”bra” berget på lämpligt avstånd från mindre vattenförande zoner. Detta experiment syftar till att karakterisera sådana mindre vattenförande zoner och deras koppling till spricksystemet i det omgivande ”bra” berget. Experimentet kommer således att ge värdefulla data på en eventuell radionuklidtransport från depositionsålet till permeabla sprickor i det omgivande berget. Experiment utförs således i en skala som kan anses representativ för berget som omger behållarna med använt bränsle.

4.3.2 Mål

Målet med detta delprojekt är

- att karakterisera grundvattenflöde och transport i en mindre sprickzon eller en vattenförande spricka med stor utsträckning och dess hydrauliska samband med omgivande nätverk av sprickor, samt
- att förbereda ett experimentområde för delprojektet Radionuklidretention.

4.3.3 Möjligt utförande

Objektet som skall studeras i detta delprojekt är en större enskild spricka eller en liten sprickzon (tjocklek m) med en ungefärlig utsträckning större än ca 30 m. Den del av sprickzonen som studeras inom projektet skall vara belägen minst 10-20 m från eventuella orter för att undvika störningar på experimenten. En sprickzon med dessa dimensioner förekommer med all sannolikhet inte isolerat utan korsas av flera mindre vattenförande sprickor vilket medför att detta projekt inte kan utformas som en studie av en enskild spricka. I stället måste karakteriseringen av försöksområdet och experimentuppläggningsen göras tredimensionell även om flöde och transport troligen domineras av en enskild spricka eller mindre sprickzon.

Den dominerande sprickan som är målet för undersökningarna antas vara i stort sett vinkelrät mot någon befintlig ort. En 40–50 m lång instrumentort bryts parallellt med sprickzonen på ett avstånd av ungefär 20 m från sprickzonens plan.

Från instrumentorten borrar 10–15 hål så att en relativt jämn fördelning av borrhålen erhålles på en del av sprickplanet med ungefärlig dimension av 30x30 m. Efter en inledande karakterisering av spricksystemet utrustas borrhålen med ett manschettsystem som medger indelning av samtliga borrhål i flera mätsektioner. Borrhålssektionerna skall isolera sprickzonen men också andra vattenförande sprickor som korsas av

borrhålen. Det kan antas att testsektionerna blir relativt jämnt fördelade över den kub som experimentvolymen utgör. Karakteriseringen av spårämnestransporten blir således tredimensionell.

Ett antal icke sorberande och svagt sorberande spårämnen injiceras i några av borrhålen medan spårämneskoncentrationen mäts i omgivande borrhålssektioner. Injicering görs sekventiellt i flera av borrhålen för att erhålla en god bild av flödesfördelningen i sprickzonen och omgivande berg. Injicering av spårämnen sker både i sprickzonen och i det omgivande "bra" berget. Under experimentets gång kontrolleras grundvattens kemiska sammansättning med jämna mellanrum för att se om experimenten orsakat några förändringar. I slutskedet injiceras salt eller sött vatten i sprickzonen och radartomografimätningar genomförs i sprickzonens plan för att få oberoende data på flödesfördelningen i sprickplanet.

Fältförsöken kommer att föregås av laboratorieexperiment för utprova mycket svagt sorberande spårämnen lämpade för detta försök.

Experimenten förväntas ge värdefulla data på transportparametrarna för mindre sprickzoner och det omgivande "bra" berget samt en nödvändig referensram för delprojektet Radionuklidretention, se avsnitt 4.6, som senare skall genomföras på samma plats.

4.4 FÖRSÖK I ANLÄGGNINGSSKALA

4.4.1 Bakgrund

Åtminstone några lokala sprickzoner kan förväntas korsa den bergvolym som i framtiden väljs som förvarsområde. Förvaret utformas under antagandet att kapslarna placeras på ett visst avstånd från lokala sprickzoner. Ett av målen för detta delprojekt är att ta fram data för att bättre bestämma det minimiavstånd som erfordras till lokala sprickzoner baserad på de platsspecifika transportegenskaperna.

Projektet kommer även att utgöra en test på vår förmåga att detektera och karakterisera lokala sprickzoner. Detta är direkt kopplat till projektet för bergvolymbeskrivning och utvecklingen av strategier för aktiv design av ett förvar.

Konstruktion och drift av ett djupförvar kommer att innebära dränering av bergvolymen under lång tid, kanske 50 år, innan förvaret försluts. Dräneringen kommer att ge upphov till förändringar i grundvattenkemin genom att ytvatten kommer att röra sig mot djupare nivåer. Äspölaboratoriet medför en dränering motsvarande den som kan förväntas från ett framtida djupförvar. Genom att initiera en forcerad dränering skulle de geokemiska förändringarna kunna studeras under en kortare tidsrymd än vad som annars varit fallet.

4.4.2 Mål

Målen för detta delprojekt är

- att karakterisera grundvattenflöde och radionuklidtransport i anläggningsskala (500 m),
- att identifiera och karakterisera möjliga förändringar i grundvattenkemin orsakade av långtidsdränering av ett slutförvar.

4.4.3 Möjligt utförande

Undersökningsobjektet i detta delprojekt är en lokal sprickzon med en utsträckning som överstiger 200 m. Den lokala sprickzonen kommer att korsas av ett antal mindre sprickor och sprickzoner vilket medför att en tredimensionell karakterisering måste göras av experimentvolymen. Ett lämpligt undersökningsobjekt för detta projekt är sannolikt det system av permeabla sprickzoner med nordnordvästlig strykning som identifierades under Äspöprojektets förundersökningsfas.

Efter den preliminära karakteriseringen så kommer experimentvolymen att dräneras genom ett antal borrhål under en längre tidsperiod. Den kemiska sammansättningen på grundvattnet mäts för att observera när ytligt grundvatten når experimentnivån. Detta kan ge en uppfattning huruvida snabba transportkanaler mellan förvarsnivå och markyta existerar eller ej.

Experimentvolymen utgörs av volymen innanför spiralen ovanför andra varvet. Detta läge väljs för att kunna undersöka bergvolymen med borrhål från flera olika positioner och med hål som har olika riktning. Experimentvolymen placeras på mellan 220 och 330 meters djup för att minska störningarna på grundvattenkemi på laboratoriets djupare nivåer.

Borrhål för karakterisering av experimentvolymen borrar successivt utefter spiralen. För varje sida på spiralen borrar två eller tre borrhål. Med utgångspunkt från erhållna data konstrueras såväl en konceptuell som en numerisk grundvattenmodell över experimentvolymen. Modellen uppdateras successivt allteftersom data blir tillgängliga från följande sidor på spiralen. Detta kommer att fungera som en övning i karakterisering i samband med utbyggnaden av ett förvar och hur data successivt skall inkorporeras i modeller allteftersom de blir tillgängliga.

Efter det att karakteriseringen av bergvolymen avslutats så installeras manschetter i borrhålen för att isolera permeabla sprickor och sprickzoner.

Efter det att manschettsystemet installerats så borrar ett antal subhorisontella och parallella borrhål i botten på experimentvolymen. Dessa borrhål kommer att dräneras under en längre tidsperiod (möjligen Äspölaboratoriets hela livstid).

I detta skede initieras ett långsiktigt övervakningsprogram för grundvattenkemin. Vattenprover tas regelbundet från dräneringshålen och från de avmanschetterade sektionerna i karakteriseringsborrhålen. Detta görs för att studera långtidseffekter på grundvattenkemin från dränering av ett förvar. Data förväntas på grundvattenblandning på grund av ändrade flödesvägar, transport av ytvatten till förvarsnivå och förändringar orsakade av hydraulisk testning, spår försök och injicering av tätningsmedel.

Flödet i borrhålssektionerna mäts med utspädningsteknik. Därefter injiceras spårämnen både i eventuella sprickzoner och i det omgivande ”bra” berget. Spårämnen kan också injiceras i något av de borrhål som borrats från ytan. Spårämneskoncentrationen mäts både i dräneringsborrhålen och i utvalda sektioner av karakteriseringsborrhålen. Detta experiment ger således data på transportparametrar representativa för avstånd av flera hundra meter om ytborrhålen används för injicering.

4.5 FÖRSÖK I REGIONALA SPRICKZONER

4.5.1 Bakgrund

Lokalisering av ett framtida djupförvar kan komma att ske i en bergplint som kan vara omgiven av större regionala sprickzoner. Dessa zoner förmodas ofta utgöra de dominerande transportvägarna från förvarsdjup till biosfären. Då vattenföringen i dessa zoner kan förväntas vara stor, medför zonerna sannolikt en betydande utspädning av eventuella förekomster av radionuklider. De regionala zonerna har sannolikt också betydelse för förvarets stabilitet i ett långtidsperspektiv då framtida tektoniska rörelser i första hand sker i de större svaghetszonerna.

4.5.2 Mål

Målet med detta projekt är ta fram data för att validera modeller för flöde och transport i regionala och subregionala sprickzoner. Viktiga aspekter är

- retardation och utspädning av radionuklider i större sprickzoner,
- de regionala sprickzonernas funktion som randvillkor för ett djupförvar,
- uppskatta heterogenitet hos flöde inom regionala sprickzoner, samt
- uppskatta möjliga tektoniska rörelser hos zonen i ett långtidsperspektiv.

4.5.3 Möjligt utförande

Undersökningsobjekten för detta delprojekt är sprickzonerna NE-1 och EW-3 som identifierades under Äspöprojektets förundersökningsfas. NE-1 är en mycket transmissiv regional sprickzon belägen söder om Äspö. NE-1 stryker i nordostlig riktning och stupar ungefär 60° åt nordväst. Detta innebär att zonen kommer närmare spiralen med ökande djup. EW-3 är en lokal sprickzon som skär Äspö. Den stryker öst-väst och stupar i stort sett vertikalt och skär således NE-1 på några hundra meters djup.

Preliminär karakterisering av dessa zoner utförs redan som en del av byggnadsfasens aktiviteter vid passagen av zonerna med tillfartstunneln. Denna karakterisering grundas i huvudsak på korta borrhål från tunneln och mätningar i dessa hål.

Inom ramen för detta projekt genomförs en mer detaljerad karakterisering av zonerna medelst långa borrhål som borrar från markytan, spiralen eller tillfartstunneln. I dessa borrhål genomförs hydrauliska och seismiska mellanhålsmätningar samt radarundersökningar. Speciell vikt läggs vid korrelationen av geofysiska och hydrauliska data för att utröna i vilken omfattning geofysiska data från ett fåtal borrhål kan användas för karakterisering av större zoners hydrauliska heterogenitet.

Samtliga borrhål utrustas med ett manschettsystem som medger tryckregistrering och injektering/extrahering av spårämnen vid olika tryck och i flera sektioner per borrhål. Spårämnen injiceras i utvalda borrhål medan spårämneskoncentrationen mäts i övriga borrhål.

4.6 RADIONUKLIDRETENTION

4.6.1 Bakgrund

Laboratorieundersökningar för att validera modeller och kontrollera de konstanter som används för att beskriva radionuklidens upplösning i grundvatten, inverkan av radiolys, bränslekorrosion, sorption på mineralytor, diffusion i bergmatrisen och diffusion i återfyllnadsmaterial har pågått under en tioårsperiod.

Det är emellertid mycket svårt att efterlikna följande försöksbetingelser på laboratoriet på ett invändningsfritt sätt:

- Naturliga reducerande förhållanden.
- Naturlig halt kolloidala partiklar.
- Naturligt innehåll av mikrober.
- Naturlig halt av lösta gaser.
- 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 upplösning eller retention av radionuklider om radioaktivt avfall exponeras för grundvatten.

Erfarenheterna från Stripa och SFR visar också att det är nödvändigt att under en lång tid ha en del i en underjordsanläggning med konstant tillgång till grundvatten, sprickor och sprickzoner tillgängliga för migrationsexperiment, geokemisk provtagning och materialprovning. Experimentstationen bör därför vara i drift under minst fem år eller så länge anläggningen hålls öppen.

4.6.2 Mål

Målen för undersökningarna är att

- pröva upplösning och migration av radionuklider in situ,
- validera modeller och kontrollera konstanter som används för att beskriva radionuklidens upplösning i grundvatten, inverkan av radiolys, bränslekorrosion, sorption på mineralytor, diffusion i bergmatrisen, diffusion i återfyllnadsmaterial, uttransport ur en skadad kapsel och transport i en enskild bergspricka,
- 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, humusämnen och fulvosyror,
- undersöka bakteriers inverkan på kemiska förhållanden och radionuklidmigration samt,
- undersöka kemisk inverkan av injekterings- och återfyllnadsmaterial såsom bentonit och cement.

4.6.3 Utförande

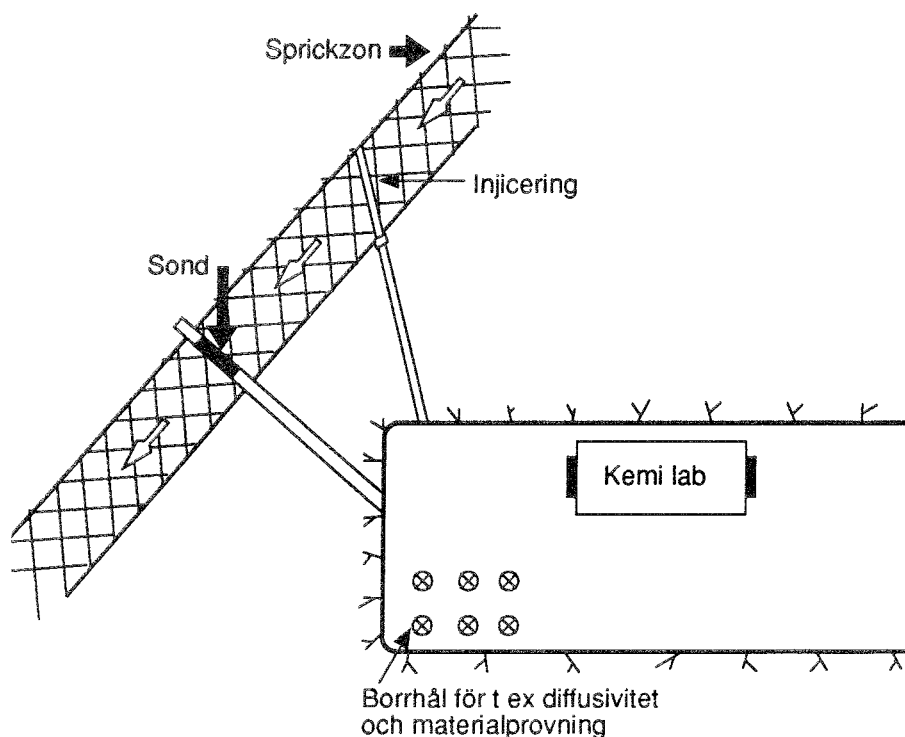
Förberedande insatser

Utvecklingen av CHEMLAB-sonden har påbörjats. I samarbete med det franska CEA konstrueras den del av sonden där försöken utförs och prov samlas in. CHEMLAB är en vidareutveckling av den franska sonden FORALAB. Den del som mäter vattensammansättningen finns redan (CHEMMAC).

Experimenten som ska utföras i sonden och ute i sprickzonen förbereds genom laborieförsök. I anslutning till de laborieförsöken utvecklas försöksupställningar som går att flytta in i sonden och anslutas till den. Längst har planering och utveckling hunnit beträffande diffusionsförsök, migration i bergsspricka och radiolys. Såväl utrustningstester som förberedande experiment skall utföras. Nya material prövas med sikte på att använda dem i sonden.

Planeringen av kemivagnens ombyggnad så att radionuklider kan hanteras har inletts. Likaså diskuteras samarbete med laboriet i CLAB på Simpevarp. De har goda möjligheter att ta hand om en stor del av verksamheten i anslutning till hantering av sonden, provhantering och analys.

Hela kedjan för hantering av radioaktiva spårämnen och prov analyseras liksom gränser för de mängder av radionuklider som behövs etc. Utrustning för transport krävs och det kan även bli fråga om någon ytterligare enhet utöver sond, kemivagn och CLAB.



Figur 4-1 Principiell utformning av Radionuklidretentionsförsök.

Experiment som genomförs i Äspölaboratoriet

En del av anläggningen reserveras för utförandet av experimenten som ska kunna pågå under lång tid. För försöken erfordras en vattenförande zon som kan ge djupt ostört grundvatten under lång tid, se Figur 4-1. Av den anledningen bör en plats långt ner i Äspölaboratoriet väljas. Grundtanken är att utnyttja en av de mindre zoner som karakteriserats inom ramen för projektet "Försök i blockskala", se avsnitt 4.3. Experimentområdet ska vara tillräckligt stort för att rymma ett kemilaboratorium. En kemivagn kan användas. Den skall då vara något annorlunda utrustad än för enbart vattenprovtagning. Det ska gå att karakterisera vattnets redoxegenskaper, dvs redox-analysutrustning ska finnas, men det är inte nödvändigt med t ex en jonkromatograf eller annan analysutrustning. Däremot skall laboratoriet ha utrustning för hantering och analys av radionuklider.

CHEMLAB-sonden, som utvecklas i samarbete med CEA, Frankrike, används för försök inne i den vattenförande zonen. CHEMLAB-sonden består av två delar. Den ena delen utgörs av geokemisonden som mäter pH, Eh, ledningsförmåga, etc. Den andra delen är ett automatiskt kemiskt laboratorium där en rad olika experiment kan utföras. Inget vatten från sonden går till berget, vilket innebär att man kan använda radionuklider i sonden. Grundvatten leds även från zonen in i det underjordiska kemilaboratoriet för ytterligare experiment. Följande experiment utförs i sonden, laboratoriedelen och sprickzonen.

Experiment i sonden

En serie experiment har föreslagits. Listan är tills vidare provisorisk, men den tjänar som vägledning för konstruktion av CHEMLAB, anskaffning av kringutrustning, förberedelse av tillstånd att hantera små mängder radionuklider, etc. För närvarande omfattar listan följande:

- Reduktion av teknetium och neptunium.
- Migration från buffert till berg.
- Radiolys och radionukliddiffusion.
- Radionuklidsorption.
- Radionuklidlöslighet.
- Bränsleupplösning.
- Kolloidförsök.
- Mikrobexperiment.

De tre första försöken är längst utvecklade. Bergsprickorna som behövs för försöken ingår i borrhärlor, dvs överborrade sprickor som sedan installeras i sonden. Ödometrar och radiolysceller utvecklas och konstrueras i motståndskraftigt, kemiskt inert material. Pumpar, filter, kopplingar, slangar, ventiler, etc. som ingår i sonden och ska anslutas till försöken definieras med ledning av experimentplaneringen.

Experiment i kemilaboratoriet

Sådana experiment görs som komplement till experimenten i sonden, dvs

- dels upprepning av försöken i kontrollsyfte,
- dels analys av kolloider, mikrober, humus- och fulvosyror, liksom test av dessa aggregats förmåga att ta upp och transportera radionuklider med lämplig teknik.

Experiment ute i sprickzonen och berget.

Kompletterande försök kan även utföras ute i sprickzonen eller i berget utanför zonen. Samma område, laboratorieutrustningen och redan befintliga hål in till zonen kan användas. Något eller några ytterligare borrhål behövs också.

De kompletterande experimenten planeras först när resultaten från motsvarande försök i byggnadsfasen är genomförda, se redoxförsöken som beskrivs i avsnitt 4.7.

Följande kan utföras:

- Medfällningsförsök med uran och aktinidanaloger.
- Försök med bildning av kolloider och transport med utfällda kolloider.

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.

Övrigt

Samma område och kemilaboratoriet kan även utnyttjas för långtidstester av material och materialkombinationer. 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. Det är av speciellt intresse att undersöka den kemiska förändring i vattensammansättning som återfyllnadsmaterial och injekteringsmedel åstadkommer.

4.7 REDOXREAKTIONER

4.7.1 Bakgrund

De data som erhållits inom SKB-undersökningarna visar att grundvattnet är reducerande varhelst det provtogs i berggrunden. De ytliga provtagningarna härrör från 40–50 m djup, de djupaste från drygt 1000 m djup. Totalt har 82 nivåer i totalt 25 olika kärnborrhål provtagits sedan 1982. Buffertkapaciteten är emellertid mycket låg, speciellt i vatten med högt pH och tillhörande låg löslighet för tvåvärt järn. Däremot finns det en mycket hög buffertkapacitet i de olika reducerande mineral som förekommer. Det är mycket lätt att övertyga sig om att endast en bråkdel av redoxbufferten i berget behövs för att motstå varje tänkbar oxidativ attack från syresatt vatten som tränger ned under den tid som ett slutförvar står öppet och från en oxiderande front som förorsakats av radiolys av vatten i kontakt med det utbrända bränslet.

Även om bergets redoxbuffert på det hela taget är mer än tillräcklig kan man tänka sig att redoxförhållandena förändras i en kanal som leder vatten in till förvaret medan det står öppet. Efter förvarets tillslutning utgör denna kanal en snabb transportväg för radionukliderna upp till biosfären. I en dylik situation är det inte uteslutet att ämnen som oxiderats genom radiolys kan vandra hela vägen upp till biosfären utan reduktion och sorption av radionukliderna. Konsekvenserna av detta är de samma som av det scenario i KBS-3 där man antagit oxiderande förhållanden i geosfären, dvs individdosen blir 100 gånger högre än under i övrigt samma men reducerande förhållanden.

Redoxexperimentet syftar till att undersöka de parametrar som är av betydelse för redoxfrontens utbredning i berget. Två sådana parametrar är kanalbildning och ”våt yta”. Förutom syrereduktion är det viktigt att veta hur redoxkänsliga nuklider påverkas av olika redoxreaktioner, som uranreduktion, kolloidbildning och medfällning.

Även mikrobers inverkan, som är en viktig orsak till geokemiska förändringar, studeras inom ramen för redoxexperimentet. Hittills genomförda undersökningar visar att det finns bakterier i allt grundvatten som provtagits. Detta kan eventuellt bero på kontamination under borrning och annat som föregått provtagningen. Projektet syftar till att besvara följande frågor:

- Förekommer bakterier i ostört berg?
- Vilka arter dominerar i så fall?
- Hur stor del av bakterierna sitter på sprickytor?
- Vad lever de av?
- Vilka är aktiva?
- Producerar de komplexbildare?

4.7.2 Mål

Målet för redoxexperimenten är att klargöra hur snabbt syrereduktion sker i en vattenförande sprickzon samt att utröna effekterna av att en oxiderande front tränger igenom ett spricksystem som tidigare varit reducerande. Effekterna på både vatten och mineralsammansättning skall studeras. Mekanismerna bakom processerna skall utredas så att resultaten generellt kan tillämpas för nuklidtransportberäkningar. Speciellt utreds sorptionsmekanismernas beroende av den våta ytan. Ett ytterligare mål är att utreda bakteriers förekomst och inverkan på grundvattenkemin.

4.7.3 Utförande

Pågående undersökningar

Det blockskaliga redoxexperimentet påbörjades 1991. Experimentet utföres i en kort sidotunnel vid sektionen 510 m i tillfartstunneln till Äspölaboratoriet. Via tre korta kärnborrhål som penetrerar en vattenförande zon studeras förändringar i vattnets och sprickmineralens karaktär.

Redoxexperimentet kan delas in i tre delar.

Del 1: En noggrann karakterisering av vattenkemin genomförs. Huvudkomponenter, spårämnen och isotoper bestäms. Samtidigt provtas borrhärnan och analyseras för isotoper, mineralsammansättning, kemisk sammansättning mm. Redoxfrontens genombrott bevakas.

Efter det att redoxfronten brutit igenom skall vattnets innehåll av partikelbundet material analyseras regelbundet. Total mängd partikelbundet material och andelen av olika grundämnen skall bestämmas.

Del 2: En tid efter det att redoxfronten brutit igenom görs en överborrning av hålen samt provtagning och analys av såväl vatten som borrhärna upprepas. Speciellt vid denna analysomgång kommer arbetet att koncentreras på tydliga ändringar förorsakade av att syresatt vatten runnit i spricksystemet, t.ex förändringar i järnmineralen.

Del 3: Resultaten av genomförda analyser och tolkningar utvärderas.

Del 1 av projektet pågår för närvarande och instrumentering har installerats för att övervaka redoxfrontens genombrott. Data från det inledande skedet av experimentet har sammanställts i Progress Report 25-92-04. En preliminär tolkning av resultaten visar att:

- Ytvatten och syregenombrott har skett mycket snart efter att tunneln penetrerat zonen. Genombrottstiden ligger inom det spann som förväntades, men i den absolut kortaste änden.
- Förekomst av ytvatten och syregenombrott har däremot inte kunnat bekräftas i de tre borrhålen från tunneln. Blandningsberäkningar visar dock att av det vatten som tappas ut från borrhålen är 50% ytvatten och 50% salt vatten som fanns i zonen innan tunneln bröt igenom.
- Det söta vattnet nära markytan i zonen är reducerande och innehåller ibland höga järnhalter. Variationerna i vattenkemin visar också att flödet i viss mån är kanaliserat till de olika borrhålen.

Nästa etapp innefattar att få ner syresatt ytvatten i de tre hål som borrar genom zonen och att karakterisera kemiska förändringar i vattenkemin, lösta konstituenten och partikelfraktioner.

Under övervakningsfasen skall de hydrauliska förhållandena kring zonen om möjligt klargöras ytterligare. Därefter görs spår försök i syfte att utröna det komplexa flödesmönstret i zonen. I två hammarborrhål från markytan som går in i zonen på 15 respektive 40 meters djup skall färgspårämnen injiceras. Dränering kommer att ske genom två av borrhålen från orten i tur och ordning. Ifall redoxgenombrottet inträffar under monitoringsfasen kommer utformningen av spår försöket att omprövas.

Efter att spår försöket utvärderats optimeras flödena så att syresatt vatten bryter igenom. Med redoxfronten förväntas en avsevärd förhöjning i partikelhalten.

I samband med grundvattenprovtagningen studeras förekomst och aktivitet hos bakterier i grundvattnet.

Planerade undersökningar för driftskedet

Det blockskaliga redoxförsöket som beskrivits ovan är kvalitativt sett fullständigt. Det kommer emellertid att vara svårt att bestämma redoxbuffertkapaciteten i flödesvägarna eftersom mineralen, mineralyta/volymförhållandet och flödes hastigheterna inte kan bestämmas explicit. Därför måste ett motsvarande försök genomföras i mindre skala där alla parametrar kan kontrolleras. Förutom att studera endast syrereduktionen kan man i liten skala även studera hur andra redoxkänsliga ämnen, i första hand uran men även aktinidanaloger, påverkas av redoxfronten.

Tillgängligheten av järn och sulfidhaltiga mineral är av störst betydelse för om sprickor kan reagera med redoxkänsliga aktinider och uran. Förutom rena redoxreaktioner kan även sorptions och medfällningsreaktioner bidra till att fixera dessa ämnen. Sorptionsreaktionerna är sannolikt irreversibla.

Redoxreaktioner och sorption kommer, om möjligt, att undersökas i den spricka/sprickzon som tidigare karakteriserats för det blockskaliga redoxförsöket. Resultaten ska även användas i syfte att definiera den våta ytan.

Möjligt utförande

Via borrhål in i zonen/sprickan skall uran(VI) lösning injiceras kontinuerligt tills genombrott konstateras i annat borrhål. Detta kommer att ha föregåtts av den karakterisering av flödet med hjälp av spår försök. Efter att injiceringen avbrutits kommer nya

hål att borrar in i zonen och kärnan analyseras med avseende på uranbeläggning i sprickorna.

Redoxfrontens vandring och medfällningsreaktioner och kolloidbildningar kommer att studeras genom att partier av zonen borrar ut.

Avslutningsvis kommer syresatt vatten att injiceras för att jämföra redoxkinetiken hos syrereduktionen med uranreduktionens. På så sätt kan man relatera resultaten från det storskaliga redoxförsöket till uranreduktion i flödesvägarna.

Utvärdering av mätresultaten görs för att bestämma reaktionshastigheten för de reaktioner som identifierats.

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

Förberedande arbeten

I samband med planeringen av försöket kommer man att behöva utföra en del laborieförsök med samma inriktning som fältförsöket. Delar av förberedelsearbetet sammanfaller med det blockskaliga redoxexperimentet. De övriga undersökningar som nödvändigtvis måste genomföras i lab är följande:

- Reduktion av syre i kontakt med mineral. Dylka undersökningar krävs för att man skall kunna dimensionera fältförsöken. Flödeshastighet och mineralyta är av största betydelse. Olika slag av berg måste studeras. Dylka försök kan baseras på erfarenheter från tidigare försök som bl.a. gjorts på oorganisk kemi vid KTH.
- Reduktion av sexvärt uran i kontakt med mineral. Försökens syften är de samma som för reduktion av syre.

Redoxbuffertkapaciteten hos berget avgör hur många injiceringar man kan göra i varje zon. Det är därför nödvändigt att känna kapaciteten som funktion av kontakttiden. Denna är starkt kopplad till den våta ytan.

4.8 STÖRDA ZONEN RUNT ORTER

4.8.1 Bakgrund

Uttag av ett hål i berget, såsom en ort, ett schakt, ett deponeringshål eller ett borrhål, innebär en störning på det berg som omger hålet i relation till de förhållanden som rådde innan hålet skapades. Den påverkan som sker på det omgivande berget beror bland annat på faktorer som håltagningsteknik, hålets storlek, spänningsförhållanden, bergartens struktur och sprickförekomst. I detta sammanhang används ofta begreppet "störd zon". Med detta menas det område runt hålet där bergets egenskaper i något avseende förändrats på grund av hålets existens eller till följd av det arbete (t. ex. sprängning) som utförts för att skapa hålet.

Den störda zonens egenskaper och utsträckning måste beaktas både vid design av förvaret och analysen av dess långsiktiga säkerhetsfunktion. För att fastställa i vilken utsträckning den störda zonen påverkar ett slutförvars långsiktiga säkerhet erfordras en god förståelse av de processer som påverkar den störda zonens egenskaper och utbredning.

Den störda zonen runt en ort eller ett depositionshål innebär en förändring av bergets hydrauliska egenskaper. En ökning av den axiella hydrauliska konduktiviteten längs en tunnel skulle innebära att den störda zonen utgjorde en potentiell vattenledare och

transportväg för radionuklider. En förändring (ökning eller minskning) i den radiella konduktiviteten (ofta kallat "skin") påverkar framförallt karakteriseringen av det störda bergets hydrauliska egenskaper. Skin-effekten leder till att inflödet till tunnlar blir större eller mindre än det egentligen borde vara, vilket måste beaktas då tunneldata används för validering av modeller. Den störda zonen innebär också en förändring i bergets mekaniska egenskaper vilket kan påverka stabiliteten hos orter och berggrum. Den störda zonens mekaniska och hydrauliska egenskaper är också av vikt för beskrivningen av hur vattenmättnad och homogenisering sker i buffertmaterialet (bentoniten) som omger kapseln.

Den störda zonens egenskaper och funktion har studerats in-situ vid ett flertal underjordiska forskningslaboratorier under de senaste decennierna. De forskningsarbeten som har störst relevans för det svenska programmet är de arbeten som utförts i Stripa gruva sedan 1977, Underground Research Laboratory (URL) i Kanada, Grimsel Test Site (GTS) i Schweiz samt vid några laboratorier i USA, se t ex SKN Report 59. Under 1991 genomfördes ett försök i Äspölaboratoriets tillfartstunnel där utbredning och karaktär på sprängskador studerades som en funktion av olika sprängplaner, se Progress Report 25-91-12--16.

De experiment som hittills genomförts har identifierat ett antal mekanismer som uppenbarligen är av betydelse för den störda zonens egenskaper. De mekanismer som bedömts vara potentiellt betydelsefulla för är:

- Den initiella spänningslast som sker vid sprängning och passage av ortfronten.
- Nya sprickor skapade genom sprängning.
- Spänningsomlagring och bergrörelser orsakade av hålrummet som skapas vid utbrytning av orten.
- Tvåfasflöde orsakat av ventilation (torkning), avgasning av i grundvattnet lösta gaser och/eller intrusion av spränggaser.
- Kemiska reaktioner och mineralogiska förändringar i tunnelns närområde (kan orsakas av mekanisk påverkan, spränggaser, syreintrusion, blandning av grundvatten med olika kemi, och/eller bakteriell aktivitet).
- Påverkan på berget orsakad av buffertmaterial (t.ex. svälltryck, intrusion av bentonit i sprickor).
- Termisk påverkan på berget på grund av värmen från avfallskapseln.
- Krypeffekter i berget orsakade av spänningsavlastning och dess påverkan på den långsiktiga mekaniska stabiliteten och de hydrauliska egenskaperna hos deponeringstunnlar.

Även om flera potentiellt viktiga processer identifierats så är den relativa betydelsen av de olika processerna för nuklidtransport i den störda zonen relativt dålig känd. Detta kan härledas till att flera kopplade processer påverkar bergets egenskaper. Ett annat problem är bristen på mättekniker väl lämpade för kvantifiering av den störda zonens egenskaper.

4.8.2 Mål

Det allmänna målet för undersökningarna av den störda zonen är

- att kvantifiera de parametrar som styr processer i störda zonen samt att belysa processernas relativa betydelse för förvarssystemets funktion,
- att utveckla och validera kvantitativa modeller för väsentliga processer i störda zonen.

4.8.3 Möjligt utförande

Den störda zonen utgör ett omfattande problemkomplex där flera processer samverkar på ett komplicerat sätt. För att kunna beskriva de olika processerna och experimentellt verifiera kvantitativa samband är det av största vikt att i möjligaste mån separera olika processer och studera dem var för sig. Forskningen om störda zonen har därför indelats i ett antal delprojekt.

Först studeras inverkan av avgasning och två-fasflöde genom mätningar i några för ändamålet speciellt borrhål. Avgasning och två-fasflöde är processer som beror på vattentrycket och är i princip oberoende av existensen av en ort. Dessa processer studeras med fördel i borrhål där inverkan av förändringar i bergspänningar kan minimeras. Resultaten från borrhålsexperimenten kan sedan användas för att uppskatta inverkan av två-fasflöde runt en ort.

I ett senare skede genomförs ett mer omfattande experiment där de hydrauliska och mekaniska egenskaperna hos bergmassan studeras i samband med utboringen av en simulerad deponeringsort. Detta projekt detaljutformas mot bakgrund av de erfarenheter som vunnits från tidigare experiment.

Först när ytterligare kunskap erhållits om de mekaniska och hydrauliska förändringarna kring en borrhål kan det vara motiverat att utforma och genomföra ett experiment för att studera inverkan av sprängning. I enlighet med här framlagda planer ligger sådana undersökningar så långt fram i tiden att det i dagsläget inte ansetts motiverat att ta fram en beskrivning för ett sådant experiment.

4.8.4 Avgasning av grundvatten och två-fasflöde

Bakgrund

Vid de experiment som genomfördes inom ramen för det så kallade Site Characterization and Validation projektet i Stripa så identifierades avgasning av grundvatten som en potentiellt betydelsefull process i störda zonen. De i grundvattnet lösta gaserna går ur lösning och bildar bubblor vid låga tryck. På så sätt kommer det att uppstå en zon runt orten som inte är fullständigt vattenmättad. Den omättade zonen kan sedan växa på grund av uttorkning av berget genom ventilation. Omättade förhållanden innebär att två-fasflöde av gas och vatten kan uppstå i närheten av ett dränerat borrhål eller en ort, vilket leder till en minskning av den hydrauliska konduktiviteten. Denna process förväntas minska inflödet till orter under byggandet av ett djupförvar men i och med att vattentrycket återgår till det normala när förvaret återfylls så förväntas två-fasflöde inte spela någon roll för förvarets långsiktiga funktion.

Mål

Målet med detta delprojekt är

- att bygga upp en grundläggande förståelse för och kvantitativt beskriva avgasning av grundvatten och dess effekt på bergets hydrauliska egenskaper samt eventuella hysteresiseffekter i samband med återställande av vattenmättade förhållanden.

Utförande

Studiet av två-fasflöde och dess betydelse i den störda zonen inleds med en litteraturredundersökning. Detta följs av laboratorieexperiment där avgasning av grundvatten och dess effekt på grundvattenflöde genom sprickor simuleras. Utveckling av teoretiska modeller initieras och löper parallellt med laboratieförsöken.

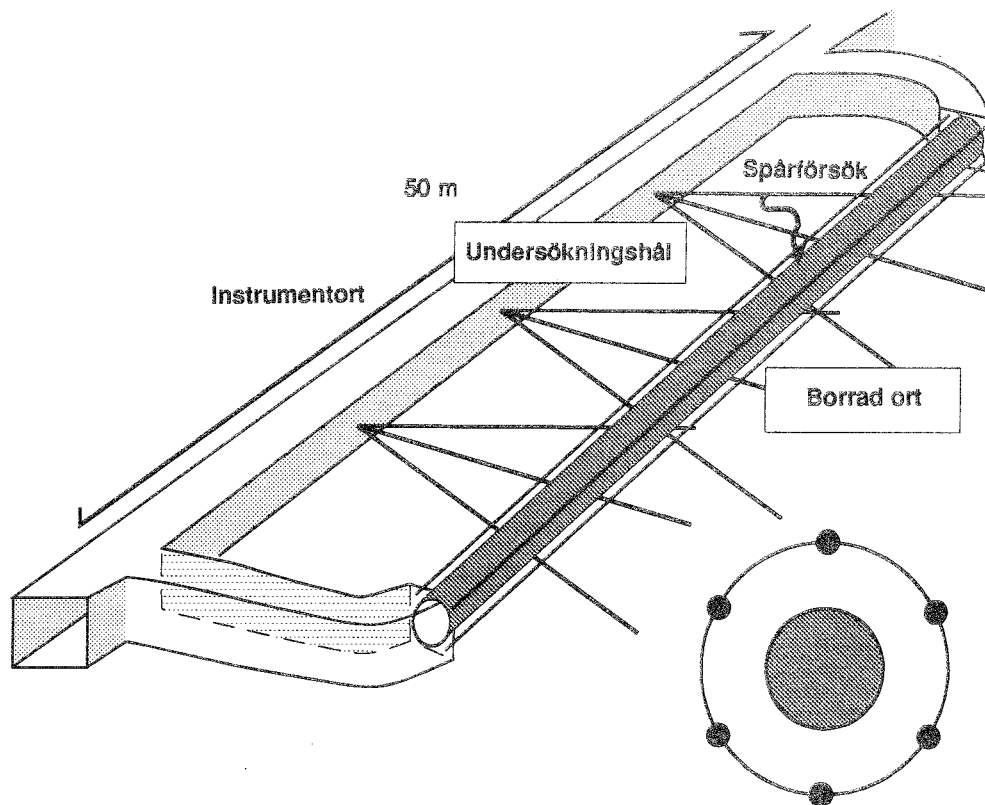


Figure 4-2 Tänk layout för en tunneleffektundersökning.

In-situ tester genomförs där grundvattenflödet till ett antal horisontella borrhål mäts under en successiv sänkning av vattentrycket. Icke linjära samband mellan flöde och tryck kommer att vara en indikation på avgasning och därav orsakat två-fasflöde. Grundvattnet kommer att provtas med jämna mellanrum för att fastställa gasinnehåll och kemisk sammansättning. Vattenkemin undersöks för att kontrollera att dräneringen av borrhålen inte ger upphov till blandning av olika grundvattentyper och därmed eventuellt utfällning av kalcit.

Borrhålen kommer sedan att tömmas på vatten och invaderas med luft. Därefter fylls borrhålen med vatten och trycket ökas successivt. Bergets hydrauliska egenskaper mäts för att studera hysteresiseffekter i och med att vattenmättade förhållanden återställs i berget.

4.8.5 Tunneleffekter

Bakgrund

Efter de inledande studierna av effekterna av två-fasflöde finns underlag för att genomföra en större integrerad studie av störda zonen i en borrarad ort. Försöket läggs upp så att en direkt jämförelse erhålles mellan de hydrauliska egenskaperna före och efter tillkomsten av orten.

Mål

Delprojektets mål är

- att kvantitativt beskriva mekaniska processer i den störda zonen runt en borrarad tunnel och deras effekter på bergets hydrauliska egenskaper,

- att studera inverkan av geologiska strukturer och spänningsfält på störda zonens hydrauliska och mekaniska egenskaper,
- att klargöra i vilken utsträckning observationer i tunnlar är representativa för förhållanden i det ostörda berget,
- att kvantifiera mekaniska och hydrauliska effekter vid vattenåterfyllnad av en borrarad tunnel samt
- att karakterisera och preparera ett experimentområde som kan användas för test av samverkan mellan berg och buffertmaterial.

Möjligt utförande

In situ försöken av störda zonen planeras för ett försöksområde inom Äspölaboratoriet. Experimentorten kan efter projektets slutförande användas för att studera olika frågeställningar som samverkan mellan buffertmaterial och berg samt skillnaden mellan sprängda och borrarade tunnlar.

Försöken utförs längs en 50 m lång experimentort. Orten förutsätts vara parallell med och ligga ungefär 30 m från en instrumentort. Borrhål för karakterisering av berget inom experimentområdet och för installation av mätutrustning borrar från instrumentorten. Om möjligt anläggs också en instrumentort ovanför experimentorten så att undersökningshål med två ungefärligen ortogonala riktningar erhålles. Experimentorten nås genom två tillfartsorter, se Figur 4-2. Försökets utformning skall i nuläget ses som en idéskiss för projektuppläggnen. En detaljutformning genomförs först i anslutning till projektets initiering.

Efter en inledande karakterisering baserad på mätningar i borrhålen från instrumentorten följd av instrumentering av dessa borrhål borrar ett pilotborrhål mellan tillfartsorterna. Fördelningen av grundvatteninflöde till pilotborrhålet mäts under olika vattentryck medan vattentrycken registreras i befintliga borrhål. Sedan borrar ett antal parallella borrhål placerade på en cirkel runt pilothålet för att skapa en ”simulerad ort”. Inflödesfördelningen till dessa borrhål mäts medan tryckförändringar observeras i övriga borrhål. Spårförsök genomförs mellan borrhålen från instrumentorten och den simulerade orten för att karakterisera flödet i radiell led. Flöde och transport i axiell led längs borrhålen mäts genom spårförsök mellan avmanschetterade sektioner i borrhålskransen.

Sedan borrar en ort med en diameter av 1.7 m, alternativt 2.4 m. Vattentryck, bergspänningar och bergrörelser mäts under ortbrytningen. Orten karteras och resultaten jämförs med karteringen från borrhålen. Efter det att orten färdigställts mäts vattenmättnaden hos berget som en funktion av tid och avståndet från ortväggen. Inflödesfördelningen till orten mäts under olika hydrostatiska tryck. Detta åstadkommes genom ett mega-packersystem som kan flyttas längs orten. Systemet kommer att bestå av flera manschetter som delar upp orten i flera sektioner. Spårämnesförsök genomförs för att kvantifiera transport och flöde i radiell såväl som i axiell led. En jämförelse av resultaten från den borrarade orten med den simulerade borde ge en kvantifiering av de skillnader i störda zonens hydrauliska egenskaper som kan hänföras till spänningsomlagring och bergrörelser m m.

4.9 MODELLERING AV GRUNDVATTENSTRÖMNING OCH RADIONUKLIDMIGRATION

4.9.1 Bakgrund

Numerisk modellering av bl a grundvattenströmning har varit en integrerad del av Äspölaboratoriet från första början. Ursprungligen påbörjades modelleringen med en enkel generisk modellering av olika alternativ till utformning av laboratoriet och med hänsyn tagen till det salta grundvatten som finns. Efterhand utvecklades modellerna till en omfattande prediktionsmodell av tillfartstunneln och dess effekter på grundvattennivåer och vattenomsättning. Tillfartstunneln är för närvarande under byggnad och modellen stäms av mot data som erhålls under anläggningskedet.

Grundvattenmodelleringen kommer även fortsättningsvis att vara en viktig del av Äspölaboratoriet. Transport- och flödesmodellering pågår för närvarande i syfte att förfinna de existerande modellerna och att införa transport av lösta ämnen i desamma på ett mer genomgripande sätt.

De processer som hittills modellerats inom Äspöprojektet är framför allt grundvattenflöde och i viss mån transport av lösta (icke-sorberande) ämnen. Dessa processer kommer även att modelleras framdeles, då flera konceptuella frågeställningar återstår att besvara, som hur flöde och transport sker i den störda zonen omkring en tunnel m m.

Transport av sorberande spårämnen (radionuklidmigration) och rörelse hos kemiska fronter ligger närmast i tiden för numerisk modellering inom Äspöprojektets ram. Orsaken till detta är naturligtvis att de flesta radionuklider är sorberande och att saltfrontens och redoxfrontens rörelser är kritiska för den kemiska stabiliteten för djupförvaret.

För ett djupförvar kan undersökningsskalan relateras till transportlängden i en närzon, till en mellanzon av bra berg i närheten av slutförvarstunnlarna och en fjärrzon i de konduktiva sprickzoner som finns belägna längre bort. Med målet att fastställa utformningen av och förstå säkerheten hos ett slutförvar, är experiment och modellering i alla tre skalorna nödvändiga. Detta återspeglas i experimentprogrammet, som omfattar experiment med sikte på fenomen i samtliga tre skalor.

4.9.2 Mål

Modelleringen ansluter till Äspölaboratoriets etappmål att utveckla och i stor skala på förvarsdjup pröva metoder och modeller för bestämning av grundvattenströmning och radionuklidmigration.

Målen för det numeriska modelleringsarbetet inom Äspöprojektet är

- att förstå och konceptualisera grundvattenströmning och radionuklidmigration i sprickigt berg,
- att med numeriska modeller prediktera utfallet av de olika experimenten,
- att verifiera och validera använda modeller,
- att överföra kunskap mellan i projektet deltagande organisationer,
- att jämföra och utvärdera modeller för att bedöma deras lämplighet som underlag för licensiering av ett djupförvar.

4.9.3 Genomförande

Allmänt

Samtliga mer omfattande experiment, som avses att utföras under driftskedet, föregås av prediktioner som baseras på numerisk modellering eller åtminstone överslagsberäkningar. Varje modellering bör värderas i enlighet med de principer som är gällande inom projektet. Som exempel kan nämnas att uppmätta värden skall jämföras med predikterade värden med en fullständig granskning av strukturen och principerna för modellen. Utvärderingen av modellerna bör göras av en referensgrupp.

De experiment som avses att modelleras är beskrivna nedan. Dessutom kommer några av de undersökningar som genomförts under förundersöknings- och anläggningsskedet att modelleras. Som en introducerande modelleringsövning för internationella deltagare i Äspölaboratoriet kommer pump- och spårämnesförsöket LPT2 att nyttjas.

Det kombinerade pump- och spårämnesförsöket LPT2

Pumptesten LPT2 har föreslagits som en inledande övning för de deltagande modelleringsgrupperna. Denna test skedde på södra Äspö där spiraltunneln kommer att anläggas. Själva testen är en två månaders pumptest, som kombinerades med ett konvergerande spår försök där ett antal spårämnen injicerades i olika borrhålssektioner omkring pumphålet. Spårämnenas inträdespunkter till pumphålet identifierades. Flödes hastigheten genom injektionssektionerna bestämdes med utspädningsteknik.

Målen med att åter modellera LPT2 försöket är

- att tillhandahålla ett väl definierat testfall för de nya modelleringsgrupper som kommer in i Äspöprojektet,
- att pröva olika modelleringsmetoder.

Som bakgrundsdata nyttjas ett omfattande material av kalibreringsfall, som den konceptuella modellen och prediktionerna som gjordes innan byggandet påbörjades baserades på. För denna övning är alla data tillgängliga, från de första testerna i området till och med de fullständiga resultaten från LPT2-pumptesten.

Följande delsteg i LPT2-övningen föreslås:

- 1) Kalibrering av en grundvattenflödesmodell över södra Äspö.
- 2) Modellering av naturliga grundvattenförhållanden på södra Äspö.
- 3) Modellering av avsänkningar under pumpförsöket LPT1.
- 4) Modellering av avsänkningar under pumpförsöket LPT2.
- 5) Modellering av spårämnestransporten under spår försöket LPT2.

Försök i detaljskala

Sorberande spårämnen rörelser är endast möjliga att följa i liten geometrisk skala under laboratoriets livslängd. Experimentet med sorberande ämnen kommer därför att utföras i en borrhålsgrupp, där möjlighet finns att efter experimenten slutförts spränga ut berget för att analysera det absorberade spårämnet på sprickytor.

Modellering kommer därför att utföras i sprickskala och modellerna kommer att kalibreras mot hydrauliska tester och spårämnesförsök i borrhålsgruppen. De följande modelleringsstegen förutses:

- 1) Konceptuell modell av transport av sorberande spårämnen. Laborrietester och hjälpmodeller för att förstå och kvantifiera transporten av sorberande spårämnen.
- 2) Flödes- och transportmodell för borrhålsgruppen. Kalibrering mot data från hydrauliska tester och spårämnestester med icke-sorberande spårämnen. Prediktion av specifik yta.
- 3) Modellering av transport av sorberande spårämnen för definierade sprickor i borrhålsgruppen.

Försök i blockskala

Målsättningen med detta experiment är att undersöka flödesfördelningen i en enskild större spricka eller en mindre sprickzon av det slag som kan förväntas genomkorsa en slutförvarstunnel. Kopplingen av denna zon till spricksystemet i det friska berget är även av intresse. I detta experiment är det möjligt att kalibrera modellerna mot radartomogram från saltinjektionstester i samma plan som grundvattenledaren. Skalan på detta experiment bör vara sådan att det huvudsakligen endast är möjligt att genomföra experiment med icke-sorberande eller mycket svagt sorberande spårämnen.

De följande modelleringsstegen förutses:

- 1) Modell över grundvattenflödet i den vattenförande sprickzonen.
- 2) Kalibrering av flödesmodellen mot radartomogram.
- 3) Prediktiv modellering och kalibrering av några försök med sorberande spårämnen.

Försök i anläggningsskala

Den hydrauliska kopplingen mellan spricknätverk och lokala sprickzoner kommer att studeras närmare i anläggningsskala. Försöksvolymen kommer att vara belägen inne i spiraltunnelsystemet, vilket även kommer att göra det möjligt att dränera denna volym och att testa möjliga effekter av dräneringen. Av speciellt intresse är eventuella redoxförändringar orsakade av luftinträde i spricksystemet.

Experimentet kommer att starta som en karakteriseringsövning av experimentvolymen. Följande modelleringssteg är föreslagna:

- 1) Flödes- och transportmodell av försöksvolymen, kalibrering mot karakteriseringsdata, inklusive hydrauliska och spårämnesförsök och seismisk tomografi.
- 2) Prediktering av dränering av försöksvolymen inklusive luftning och rörelser hos redoxfronten.
- 3) Kalibrering och modifiering av modellen på grundval av data från dräneringsperioden.

Försök i regionala spricksystem

Regionala konduktiva sprickzoner är i de flesta säkerhetsanalyser huvudstråken för grundvattnets transport från slutförvaret upp till biosfären. Omedelbart söder om försöksvolymen för Äspölaboratoriet går tillfartstunneln genom en större, regional zon med hög transmissivitet, NE-1. Karakteriseringen av denna zon har varit en huvuduppgift under förundersökningarna. Passagen genom zonen under byggskedet har inte varit utan svårigheter.

Det ingår i testplaneringen att utnyttja NE-1 för ett experiment med syfte att karakterisera flöde och transport i regionala sprickzoner.

Viktiga delar av modelleringsarbetet kommer att bli att utnyttja data från mellanhållesterna för hydraulik, seismik samt radar. Följande modelleringssteg är förväntade:

- 1) Upprättande av en global flödes- och transportmodell för NE-1 baserad på tillgängliga data. Prognostisering av valda tester i experimentprogrammet.
- 2) Kalibrering av modellen mot testresultat och mellanhålstedata. Prognostisering av spår försök.
- 3) Revidering av modell baserad på spår försöksdata.

Redoxreaktioner

Det ovan skisserade experimentprogrammet innehåller flera hydrokemiska frågeställningar. Vid detaljerad planering av programmet kommer ytterligare integrering av frågor, rörande grundvattenflöde och hydrokemi, att göras. Bland dessa frågor finner vi frågor som rörligheten hos radionuklider, betydelsen av kanalisering och specifik yta samt förändring av redoxförhållanden på grund av syretillträde i systemet.

Delstegen för modelleringsövningarna är:

- 1) Konceptuell modell av redoxfrontens rörelser.
- 2) Flödes- och transportmodell för försöksområdena.
- 3) Modellering av redoxfrontens rörelse.
- 4) Revidering av modell på basis av experimentdata, värdering av konceptuell modell.

Modellering av den störda zonen runt tunneln

Det är ett välkänt faktum att utsprängning av en tunnel i sprickig, kristallin berggrund påverkar de hydrauliska egenskaperna hos berget omedelbart innanför tunnelväggen. Några av orsakerna till den störda zonen har angetts som; omfördelningar av spänningar, sprängskador, kemiska reaktioner samt två-fas flödesfenomen beroende på uttorkning och avgasning av grundvatten. Följderna av kombinationen av dessa fenomen och kanske några ytterligare är för närvarande dåligt kända. Experiment i den störda zonen kommer att utföras för att förstå och förklara dessa fenomen och för att se om de blir bestående även för ett återfyllt slutförvar.

Här anges endast riktlinjerna för modelleringsprogrammet:

- 1) Konceptuell modell för tvåfasfenomen. Laboratorieexperiment och numerisk modellering av avgasning och bubbelrörelser i sprickigt berg.
- 2) Beräkningar av inflöde till pilotborrhål.
- 3) Prediktiv modellering av simulerade ortinflöden.
- 4) Modellering av inflöde till borrade tunnel.
- 5) Simulering av återfylld tunnel.

5 DEMONSTRATION AV BYGG- OCH HANTERINGSMETODER

5.1 BAKGRUND

Ett djupförvar består av ett stort antal delar som sinsemellan 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 tätningspluggar för schakt, borrhål eller tunnlar, injekteringsskärmar 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 anläggningsskede. Innan förvarsutbyggnad sker är det också möjligt att demonstrera olika metoder för att göra tunnlar och deponeringshål, t ex borrhning/sprängning eller fullborrhning. I laboratoriet ges även möjligheten att testa vilka mätningar och analyser som skall ske 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 djupförvarssystemet.

5.2 MÖJLIGA UTVECKLINGSARBETEN

Den detaljerade planeringen av utvecklingen sker efter det att förvarskoncept slutligt har valts.

Metodik för val av läge för förvarstunnlar och kapselpositioner

Den ”design-as-you-go” filosofi som prövas under anläggningsskedet, etapp 2, vidareutvecklas och tillämpas inom ett ”förvarsområde”, där vissa komponenter i förvaret (buffert-berg) senare kan demonstreras.

Utvecklingsarbeten berör t ex strategi för karakterisering av närområdet, demonstration av hur karakteriseringen genomförs, visa hur flexibilitet kan uppnås, dvs anpassning av deponeringstunnlar och kapselhål till bergets egenskaper.

Avsikten med undersökningen är vidare att karakterisera den bergvolym där prov av förvarskomponenter senare sker, se t ex nedan.

Injektering och tätning av vattenförande zoner

Utvecklingsarbete om injektering pågår under anläggningsskedet vid Äspö. Under driftskedet är det möjligt att fortsätta denna verksamhet. Endast i fråga om passage av vattenförande sprickzoner med högt vattentryck finns det behov av ytterligare prov och demonstrationer.

Prov av maskinutrustningar

I fråga om maskinutrustningen sker utvecklingen i följande steg:

- 1) Konceptuell konstruktion av fullstora enheter.
- 2) Bygg och test av enheter i modellskala.
- 3) Bygg av fullstor prototyp.
- 4) Utprovning av prototyp.
- 5) Modifieringar.

Utprovningen av utrustningen, dvs steg 4, genomförs i Äspölaboratoriet.

Aktuella prototyper är t ex enhet för placering av bentoniten i kapselhål/ort, enhet för deponering av kapseln, enhet för urspolning/urborring av bentoniten (återtag) och enhet för återtag av kapseln.

Prov av deponering

Utprovningen i Äspölaboratoriet inriktas på att deponera kapslar med riktig vikt och tyngdfördelning. Bentonitblock med avsedd fukthalt och tyngd används. Ett antal deponeringspositioner behövs för att sekvensen skall kunna simuleras realistiskt.

När antalet positioner fyllts kan provkapslarna tas åter och en ny sekvens genomförs. Detta betyder att de krav som ställs på provområdet är:

- Realistiska bergförhållanden med sprickzoner och reparerade sträckor i den utsträckning som skall kunna klaras av i deponeringen, samt också sämre förhållanden för att ge besked om praktiska gränser.
- Vattenförhållanden som både beskriver realistiska förhållanden och som representerar överdrivet våta förhållanden (praktiska gränser).

Så småningom är det även aktuellt att prova ut återvinningsutrustningen. I fråga om den blir det dock endast aktuellt att utveckla en enhet av varje slag. Prototyperna provas ut i Äspölaboratoriet.

Prov av återfyllning med bentonit/sandblandningar

Oavsett förvarskoncept kommer vissa orter, utsprängda områden och schakt att återfyllas med bentonit/sandblandningar. I KBS-3-konceptet ingår dock sådan återfyllning som ett led i deponeringsprocessen, medan den t ex i "horisontell deponering" erfordras först i slutfasen, vid förslutningen.

I KBS-3 är det viktigt att även övre delen av orten kan fyllas med hög täthet på materialet. (Skall hindra bentoniten i kapselhålet att svälla uppåt, samt förhindra bergkryp neråt i ortens tak.) Enbart insprutning med sprutbetongteknik räcker ej. Metoden skall utvecklas och utrustning tas fram. Långtidsförsök kan så småningom visa om tillräckligt bra svällegenskaper erhållits.

Prov av pluggning av orter

I fallet med t ex "horisontell deponering" skall varje deponeringsort förslutas med en plugg. Maskinutvecklingen är ej så betydelsefull som själva metoden, samt kontrollen av den långsiktiga funktionen. Dock skall utrustning finnas framme tidigt, eftersom långtidstesterna måste starta tidigt i programmet.

6 PROV AV VIKTIGA DELAR I FÖRVARSSYSTEMET

6.1 BAKGRUND

I en väl karakteriserad bergmassa kan man genomföra fullskaleprov med delar av det förvarskoncept som väljs. Dessa prov kan behöva påbörjas under 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 kan ge underlag för tillståndsredovisningen i olika led. De väntas även bidra till en ökad tilltro till och acceptans av det valda konceptet.

6.2 MÖJLIGA UTVECKLINGSARBETEN

En betydelsefull del av förvarssystemet, som kan studeras i Äspölaboratoriet är funktionen hos bentonitbufferten och dess samverkan med berget i närområdet.

Detta kan bl.a. ske i en motsvarighet till Buffer Mass Test i Stripaprojektet, där terminducerade effekter simuleras med hjälp av artificiell uppvärmning. Buffertens homogenisering samt närområdets hydrauliska regim studeras. Under en tioårsperiod hinner temperaturmaximum i gränsytan mellan kapsel och bentonit uppnås. En till denna problematik kopplad fråga är pluggningen av deponeringsorter. I konceptet "horisontell deponering" är det naturligt att avsluta deponeringsorten med en plugg, varvid långtidfunktionen hos denna också blir möjlig att observera.

Andra tester kan också genomföras i fråga om migration av nuklider och gas genom bufferten samt kapslars och närfältbergets rörelser under temperaturinverkan.

Exempel på försök som kan komma att utföras kommenteras kortfattat i det följande.

Buffertförsök

För att ytterligare klargöra buffertens uppträdande och samverkan med närfältberget genomförs tester. Testerna sker utifrån de förutsättningar som kan bedömas gälla i djupförvaret och de som gäller på försöksplatsen. Experimenten avser ytterst buffertens skydd av kapseln mot rörelser i berget samt dess motstånd mot transport av radionuklider från trasig kapsel till omgivande berg. Inledningsvis karakteriseras närområdet till en försöksort. Därefter sker instrumentering och återfyllning med buffertmaterial samt pluggning. Under ett antal år kan väsentliga parametrar som temperaturförhållanden, fuktighet, tryckuppbyggnad och mekaniska rörelser sedan studeras.

Bentonitomvandling

Bentonitens påverkan av tillgång på sulfid-, kalium-, kloridjoner och korrosionsprodukter kan studeras. Experimenten syftar till att bestämma förändringar i buffertens svällande egenskaper och hydrauliska konduktivitet.

Migration av radionuklider i bentonit

Bentonitens Kd-värden för olika nuklider har bestämts i laboratoriemiljö på begränsade provmängder. Skaleffektens betydelse kan belysas genom fältförsök.

Gasmigration

Beroende på val av kapselutformning finns möjlighet att studera processerna för vätgasmigration från en eventuellt trasig kompositkapsel.

Pluggning

Pluggarna i ett djupförvar har speciella funktioner beroende på var de placeras. De som sluter till deponeringsorterna skall stå emot bentonitens hela svälltryck så att buffertens volym ej ökar. Trycket mot pluggen får ej heller skapa öppningar för vattentransporter varken igenom pluggen, i kontakten mellan pluggen och berget eller i närfältberget. Vid Äspölaboratoriet kan funktionstester knytas till de pluggar som behövs i samband med andra experiment.

7 TIDPLAN FÖR DRIFTSKEDET

De forsknings-, utvecklings- och demonstrationsinsatser som presenterats i de föregående kapitlen motsvarar behoven som de idag kan bedömas. De nu planerade experimentprogrammet sträcker sig över en femtonårsperiod. Det är då naturligt att en prioritering måste göras så att experimenten tidsplaneras utefter behovet av kunskap och in-situ data samt när praktiska möjligheter att genomföra experimenten föreligger.

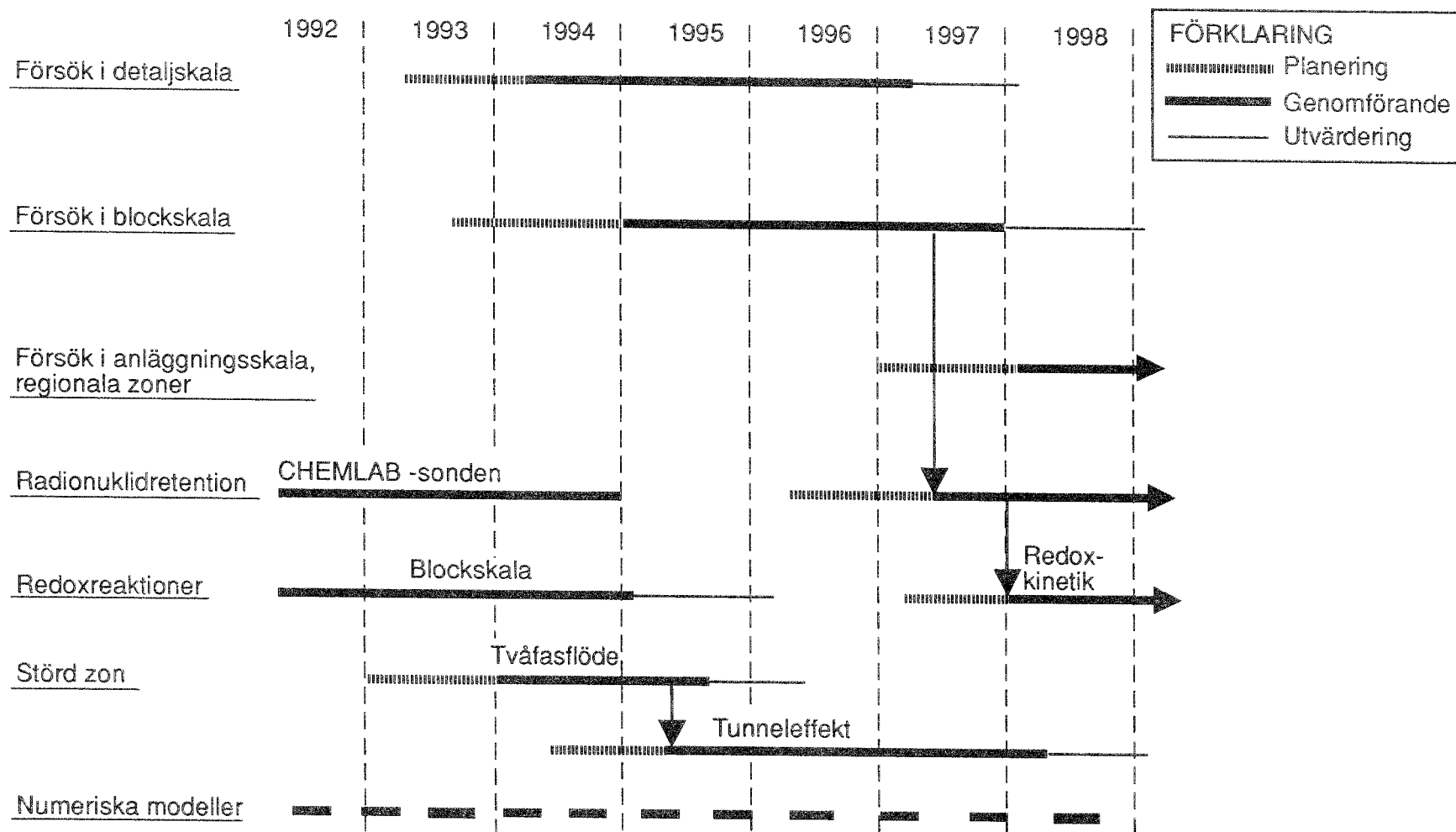
FUD-aktiviteterna för de närmaste åren kan ses som underbyggda och definierade. Aktiviteter som genomförs längre fram i tiden är mer schematiskt beskrivna.

Vid utarbetandet av den översiktliga tidplanen för driftskedet i Äspölaboratoriet har följande överväganden och prioriteringar gjorts:

Projektet **Försök i detaljskala** samt **Försök i blockskala** läggs tidigt. Dessa projekt syftar till att ta fram in-situ data på väsentliga parametrar för radionuklidmigration samt utveckling och validering av modeller. Förutsättningarna för att erhålla goda resultat bedöms vara störst i detalj- och blockskala varför experiment inledningsvis genomförs i dessa skalor. Pilotstudier med syfte att studera transport av sorberande ämnen i enskilda sprickor (detaljskala) initieras redan innan Äspölaboratoriet är färdigbyggt. Experiment i större skala genomförs i ett senare skede.

Redoxförsök pågår för närvarande och kommer att fortlöpa enligt uppdragna riktlinjer under de närmaste åren. En övergång till studie av redoxkinetik i detaljskala kommer att ske successivt.

Projektet **Radionuklidretention** genomföres på experimentnivån, 460 m. Karakterisering och iordningställande av lämpliga försöksplatser sker inom ramen för projektet **Försök i blockskala**. Detta projekt påbörjas ca 1995 då experimentnivån bedöms vara tillgänglig. Fältförsöken inom ramen för projektet **Radionuklidretention** beräknas kunna påbörjas tre år senare.



Figur 7-1. Preliminär tidplan för driftskedet, test av modeller för grundvattenströmning och radionuklidmigration.

Projektet **Störda zonen** påbörjas redan under driftskedet med grundläggande studier av **Avgasning av grundvatten och två-fasflöde**. Det mer omfattande **Tunneleffekt experimentet** genomförs på experimentnivån sedan denna blivit tillgänglig.

En översiktlig tidplan framgår ur Figur 7-1 för aktiviteter för **Test av modeller för grundvattenströmning och radionuklidmigration**

Lämplig tidpunkt för påbörjande av **Demonstration av bygg- och hanteringsmetoder** har bedömts vara kring år 2000. Vissa studier rörande injektering av berg genomförs innan dess.

Test av viktiga komponenter i förvarssystemet inleds 1995. Då inleds vissa mindre projekt som gasmigration i buffert samt termo-mekaniska effekter, buffert-berg. Det tunga projektet **Buffertförsök** bör inte inledas förrän resultat från **Störd zon**-projektet finns tillgängliga.

**ÄSPÖLABORATORIET
LISTA ÖVER RAPPORTER**

TECHNICAL REPORTS

Gustafson G, Stanfors R, Wikberg P. 1988. **Swedish Hard Rock Laboratory. First evaluation of preinvestigations 1986-87 and target area characterization.**

SKB Technical Report TR 88-16.

Gustafson G, Stanfors R, Wikberg P. 1989. **Swedish Hard Rock Laboratory. Evaluation of 1988 year preinvestigations and description of the target area, the island of Äspö.**

SKB Technical Report TR 89-16.

Stanfors R, Erlström M, Markström I. 1991. **Äspö Hard Rock Laboratory. Overview of the investigations 1986-1990.**

SKB Technical Report TR 91-20.

Almén K, Zellman O. 1991. **Äspö Hard Rock Laboratory. Field investigation methodology and instruments used in the pre-investigation phase, 1986-1990.**

SKB Technical Report TR 91-21.

Wikberg P (ed), Gustafson G, Rhén I, Stanfors R. 1991. **Äspö Hard Rock Laboratory. Evaluation and conceptual modelling based on the pre-investigations.**

SKB Technical Report TR 91-22.

Gustafson G, Liedholm M, Rhén I, Stanfors R, Wikberg P. **Äspö Hard Rock Laboratory. Predictions prior to excavation and the process of their validation.**

SKB Technical Report TR 91-23.

PROGRESS REPORTS

- Stenberg L. 1987. **Underground research laboratory. Geophysical profile measurements.**
PR 25-87-01.
- Kornfält K-A, Wikman H. 1987. **Description to the map of solid Rocks around Simpevarp.**
PR 25-87-02.
- Kornfält K-A, Wikman H. 1987. **Description to the map (No 4) of solid Rocks of 3 small areas around Simpevarp.**
PR 25-87-02a.
- Talbot C, Riad L. 1987. **Natural fractures in the Simpevarp area.**
PR 25-87-03.
- Nisca D. 1987. **Aerogeophysical interpretation.**
PR 25-87-04.
- Ericsson L-O. 1987. **Fracture mapping on outcrops.**
PR 25-87-05.
- Liedholm M. 1987. **Regional Well Data Analysis.**
PR 25-87-07.
- Liedholm M. 1987. **Regional Well Water Chemistry.**
PR 25-87-08.
- Svensson T. 1987. **Hydrological conditions in the Simpevarp area.**
PR 25-87-09.
- Rhen I. 1987. **Compilation of geohydrological data.**
PR 25-87-10.
- Nilsson L. 1987. **Hydraulic tests at Ävrö and Äspö.**
PR 25-87-11.
- Nilsson L. 1988. **Hydraulic tests pumping tests at Laxemar.**
PR 25-87-11b.
- Axelsson C.L. 1987. **Generic modelling of the SKB rock laboratory.**
PR 25-87-12.
- Ploug C, Klitten, K. 1988. **Seismical and Geoelectrical test survey on Ävrö, Sweden.**
PR 25-87-14.
- Sundin, S. 1988. **Seismic refraction investigation at Äspö.**
PR 25-87-15.
- Gentzschein B, Nilsson G, Stenberg L. 1987. **Preliminary Investigations of Fracture Zones at Ävrö – Results of Investigations performed July 1986 – May 1987.**
PR 25-87-16.

- Christiansson R. **Characterization of the 240 m level in the AECL Underground Research Laboratory, Manitoba, Canada.**
PR 25-87-17.
- Nylund B. 1987. **Regional gravity survey of the Simpevarp area.**
PR 25-87-20.
- Tiren S, Beckholmen M, Isaksson H. 1987. **Structural analysis of digital terrain models, Simpevarp area, South-eastern Sweden. Method study EBBA II.**
PR 25-87-21.
- Tiren S, Beckholmen M. 1987. **Structural analysis of contoured maps. Äspö and Ävrö South-eastern Sweden**
PR 25-87-22.
- Nisca D. 1987. **Aeromagnetic Interpretation 6G Vimmerby, 6H Kråkelund NW. SW.**
PR 25-87-23.
- Larsson J. 1987. **Landsat TM imagery processing and SPE interpretation Väster-
vik–Oskarshamn region.**
PR 25-87-25.
- Tirén S. Beckholmen M. 1988. **Structural analysis of contoured maps. Kärrsvik–
Bussvik, Lilla Laxemar and Glostad areas. Simpevarp area. Southeastern
Sweden.**
PR 25-87-27.
- Tiren S., Beckholmen M. 1988. **Structural analysis of the Simpevarp sea area.
Southeastern Sweden. Linaments and rock blocks.**
PR 25-88-01.
- Hemström B, Svensson U. 1988. **The penetration of sea water into a fresh-water
aquifer. A numerical study.**
PR 25-88-02.
- Niva B, Gabriel G. 1988. **Borehole radar measurements at Äspö and Laxemar –
Boreholes KAS02, KAS03, KAS04, KLX01, HAS02, HAS03 and HAV07.**
PR 25-88-03.
- Laaksoharju M. 1988. **Shallow groundwater chemistry at Laxemar, Äspö and
Ävrö.**
PR 25-88-04.
- Talbot C. Riad L, Munier R. 1988. **The geological Structures and Tectonic history
of Äspö SE Sweden.**
PR 25-88-05.
- Nisca D. 1988. **Geophysical laboratory measurements on core samples from
KLX 01, Laxemar and KAS02, Äspö.**
PR 25-88-06.
- Strähle A. 1989. **Drillcore investigation in the Simpevarp area, Boreholes KAS02,
KAS03, KAS04, and KLX01**
PR 25-88-07.
- Linden A. 1988. **Radon and Radium Concentrations in ground- and surface
water in the Simpevarp area.**
PR 25-88-08.

- Svensson U. 1988. **Numerical simulations of seawater intrusion in fractured porous media.**
PR 25-88-09.
- Ericsson L O. 1988. **Fracture mapping study on Äspö island. Findings of directional data.**
PR 25-88-10.
- Munier R, Riad L, Tullborg E-L, Wikman H, Kornfält K-A. 1988. **Detailed investigation of drillcores KAS02, KAS03 and KAS04 on Äspö island and KLX01 at Laxemar.**
PR 25-88-11.
- Kornfält K-A, Wikman H. 1988. **The rocks of the Äspö island. Description to the detailed maps of solid rocks including maps of 3 uncovered trenches.**
PR 25-88-12.
- Rhen I. 1988. **Transient interference tests on Äspö 1988. Evaluation**
PR 25-88-13.
- Nilsson L. 1989. **Hydraulic tests at Äspö and Laxemar. Evaluation.**
PR 25-88-14.
- Sehlstedt S, Triumf C-A. 1988. **Interpretation of geophysical logging data from KAS 02 – KAS04 and HAS08 – HAS12 at Äspö and KLX01 at Laxemar.**
PR 25-88-15.
- Barmen G, Stanfors R. 1988. **Ground level geophysical measurements on the island of Äspö.**
PR 25-88-16.
- Gustafson G, Liedholm M, Lindbom B, Lundblad K. 1989. **Groundwater Flow Calculations on a Regional Scale at the Swedish Hard Rock Laboratory.**
PR 25-88-17.
- Stanfors R. 1988. **Geological Borehole Description KAS02, KAS03, KAS04, KLX01.**
PR 25-88-18.
- Nisca D, Triumf C-A. 1989. **Detailed geomagnetic and geoelectric mapping of Äspö.**
PR 25-89-01.
- Ploug C, Klitten K. 1989. **Shallow reflection seismic profiles from Äspö, Sweden.**
PR 25-89-02.
- Liedholm M. 1989. **Combined evaluation of geological, hydrogeological and geophysical information 1.**
PR 25-89-03.
- Laaksoharju M, Nilsson A-C. 1989. **Models of groundwater composition and of hydraulic conditions based on chemometrical and chemical analyses of deep groundwater at Äspö and Laxemar.**
PR 25-89-04.
- Thunvik R, Braester C.,1989. **Preliminary calculation of the flow conditions at prospective study site for the Swedish Hard Rock Laboratory.**
PR 25-89-05 (in print)

- Wikström A. 1989. **General geological-tectonic study of the Simpevarp area with special attention to the Äspö island.**
PR 25-89-06.
- Stille H, Olsson P. 1989. **First evaluation of rock mechanics.**
PR 25-89-07.
- Fridh B, Stråle A. 1989. **Orientation of selected drillcore sections from the boreholes KAS05 and KAS06 Äspö, Sweden. A Televiwer investigation in small diameter boreholes.**
PR 25-89-08.
- Sehlstedt S, Stråhle A. 1989. **Geological core mapping and geophysical borehole logging in the boreholes KAS05 – KAS08 at Äspö.**
PR 25-89-09.
- Carlsten S. 1989. **Results from borehole radar measurements in KAS05, KAS06, KAS07 and KAS08 at Äspö. Interpretation of fracture zones by including radar measurements from KAS02 and KAS04.**
PR 25-89-10.
- Talbot C, Munier R. 1989. **Faults and fracture zones in Äspö.**
PR 25-89-11.
- Sandberg E, Forslund O, Olsson O. 1989. **Ground surface radar measurements at Äspö.**
PR 25-89-12.
- Stenberg L, Sehlstedt S. 1989. **Geophysical profile measurements on interpreted regional aeromagnetic lineaments in the Simpevarps area.**
PR 25-89-13.
- Nilsson A-C. 1989. **Chemical characterization of deep groundwater on Äspö. 1989.**
PR 25-89-14.
- Munier R. 1989. **Brittle tectonics on Äspö, SE Sweden.**
PR 25-89-15.
- Tullborg E-L. 1989. **Fracture fillings in the drillcores KAS05 – KAS08 from Äspö, Southeastern Sweden.**
PR 25-89-16.
- Bjarnason B, Klasson H, Leijon B, Strindell L, Öhman T. 1989. **Rock stress measurements in boreholes KAS02, KAS03 and KAS05 on Äspö.**
PR 25-89-17.
- Rydström H, Gereben L. 1989. **Seismic refraction survey on Äspö and Hälö.**
PR 25-89-18.
- Triumpf, Sehlstedt. 1989. **Magnetic measurements over Borholmsfjärden between Äspö and Hälö**
PR 25-89-19.
- Nilsson L. 1990. **Hydraulic tests at Äspö KAS05 – KAS08. HAS 13 –HAS 17. Evaluation**
PR 25-89-20.
- Axelsson C, Jonsson E-K, Geier J, Dershowitz W. 1990. **Discrete fracture modeling.**
PR 25-89-21.

- Barmen G, Dahlin T. 1989. **Ground level geophysical measurements on the islands of Äspö and Hälö in october 1989.**
PR 25-89-22.
- Rydström H, Gereben L. 1989. **Regional geological study Seismic refraction survey.**
PR 25-89-23.
- Mörner N-A. 1989. **Postglacial faults and fractures on Äspö.**
PR 25-89-24.
- Tullborg E-L, Wallin B, Landström O. 1991. **Hydrogeochemical studies of fracture minerals from water conducting fractures and deep groundwaters at Äspö.**
PR 25-90-01.
- Juhlin C., 1990. **Evaluation of Reprocessed Seismic Reflection Data from Äspö.**
PR 25-90-02.
- Svensson U. 1990. **The island of Äspö. Numerical calculations of natural and forced groundwater circulation.**
PR 25-90-03.
- Grundfelt B, Lindbom B, Liedholm M, Rhen I. 1990. **Predictive Groundwater Flow Modelling of a Long Time Pumping Test (LPT 1) at Äspö.**
PR 25-90-04.
- Carlsten S. 1990. **Borehole radar measurements at Äspö Boreholes KAS09, KAS10, KAS11, KAS12, KAS13 AND KAS14.**
PR 25-90-05.
- Sehlstedt S. Strähle A, Triumpf C-A. 1990. **Geological core mapping and geophysical borehole logging in the boreholes KBH02, KAS09, KAS11 – KAs 14 AND HAS18 – HAS20 at Äspö.**
PR 25-90-06.
- Cosma C, Heikkinen P, Keskinen J, Kormonen R. 1990. **VSP-survey including 3-D interpretation in Äspö, Sweden. Borehole KAS07.**
PR 25-90-07.
- Stille H, Olsson P. 1990. **Evaluation of Rock Mechanics.**
PR 25-90-08.
- Rhen I. 1990. **Transient interference tests on Äspö 1989 in KAS06, HAS13 and KAS07. Evaluation.**
PR 25-90-09.
- Svensson U., 1990. **Numerical predictions of tracer trajectories during a pump-test.**
PR 25-90-10.
- Svensson U., 1990. **Preliminary calculation of ambient and disturbed groundwaterflow at Äspö including calculations of test case 2 HYDROCOIN, Level 1**
PR 25-90-11.
- Wallin B. 1990. **Carbon, Oxygen and Sulfur isotope signatures for groundwater classification at Laxemar, southeastern Sweden.**
PR 25-90-12.
- Laaksoharju M. 1990. **Measured and predicted groundwater chemistry at Äspö.**
PR 25-90-13.

- Bäckblom G, Gustafson G, Stanfors R, Wikberg P. 1990. **A synopsis of predictions before the construction of the Äspö Hard Rock Laboratory and the process of their validation.**
PR 25-90-14.
- Talbot C. 1990. **Some clarification of the tectonics of Äspö and its surroundings.**
PR 25-90-15.
- Liedholm M.(ed). 1991. **Technical notes 1–17.**
General geological, geohydrological and hydrochemical information.
PR 25-90-16 A.
- Liedholm M.(ed). 1991. **Technical notes 18–32.**
General geological, geohydrological and hydrochemical information.
PR 25-90-16. B.
- Rhen I. 1991. **Information for numerical modeling 1990.**
General information
PR 25-90-17. A.
- Rhen I. 1991. **Information for numerical modeling 1990.**
Calibration cases.
PR 25-90-17. B.
- Nyberg G. 1991. **Ground water level program,**
PR 25-90-18.
- Rhen I, Forsmark T, Nilsson L. 1991. **Hydraulic test on Äspö, Bockholmen and Laxemar 1990 in KAS09, KAS11–14, HAS18–20, KBH01–02 and KLX01.**
Evaluation
PR 25-91-01
- Rhen I (ed), Gustafson G, Gustafsson E, Svensson U, Wikberg P. 1991. **Prediction prior to excavation of the Äspö Hard Rock Laboratory. Supplement.**
PR 25-91-02
- Svensson U.,1991. **Groundwater flow at Äspö and changes due to the excavation of the laboratory.**
PR 25-91-03.
- Nilsson A-C. 1991. **Groundwater chemistry monitoring at Äspö during 1990.**
PR 25-91-04.
- Smellie J, Laaksoharju M. 1991. **Hydrogeochemical investigations in relation to existing geologic and hydraulic conditions.**
PR 25-91-05.
- Banwart S, Gustafsson E. 1991. **Scoping calculations of surface water and redox front breakthrough.**
PR 25-91-06.
- Juhlin C. 1991. **The Borehole KLX01 at Laxemar – geological, hydrogeological and groundwaterchemistry data in section 702 – 1078 m.**
PR 25-91-07.
- Sundblad B, Mathiasson L, Holby O, Landström O, Lampe S. 1991. **Chemistry of soil and sediments, hydrology and natural exposure rate measurements at the Äspö Hard Rock Laboratory.**
PR 25-91-08.

- Sundberg J. 1991. **Thermal properties of the rocks on Äspö island. Thermal conductivity, heat capacity, geothermal gradient and heat flow.**
PR 25-91-09.
- Christiansson R. 1991. **Manual for field work in the tunnel.**
PR 25-91-10.
- Sehlstedt S, Strähle A, **Identification of water conductive oriented fractures in the boreholes KAS02 and KAS06.**
PR 25-91-11.
- Christiansson R, Hamberger U. 1991. **Blasting damage investigation in access ramp, section 0/526 – 0/565 m .no 1. Tunnel Excavation and Geological Documentation.**
PR 25-91-12.
- Olsson O. 1991. **Blasting damage investigation in access ramp, section 0/526 – 0/565 m. no 2. Geophysical Investigations in Boreholes**
PR 25-91-13.
- Ouchterlony F, Sjöberg C, Johansson S, Nyberg U. 1991. **Blasting damage investigations in access ramp, section 0/526 – 0/565 m. no 3. Damage Zone Assessment by Vibration Measurements.**
PR 25-91-14.
- Kornfält K-A, Wikman H, Nordlund E, Chunlin L. 1991. **Blasting damage investigation in access ramp, section 0/526 – 0/565 m. no 4. Optical examination of microcracks in thin sections of core samples and acoustic emission of core samples.**
PR 25-91-15.
- Nilsson L. 1991. **Blasting damage investigation in access ramp, section 0/526 – 0/565 m. no 5. Hydraulic tests**
PR 25-91-16.
- Svensson U. 1991. **Predictions of flow trajectories for the LPT2 pump test.**
PR 25-91-17.
- Ittner T, Gustafsson E, Andersson P, Eriksson C-O. 1991. **Groundwater flow measurements at Äspö with the dilution method.**
PR 25-91-18.
- Nyberg G, Jönsson S, Ekman L. 1992. **Groundwater level program, Report for 1990.**
PR 25-91-19.
- Olsson O. 1992. **Characterization ahead of the tunnel front by radar and seismic methods – a case history from the Äspö Hard Rock Laboratory.**
PR 25-92-01.
- Stanfors R, Gustafson G, Munier R, Olsson P, Rhen I, Stille H, Wikberg P,. 1992. **Evaluation of geological predictions in access ramp 0–0/700 metres.**
PR 25-92-02.
- Talbot C,. 1991. **Preliminary structural geology underground in the Äspö Hard Rock Laboratory.**
PR 25-92-03.

Barnwart S, Laaksoharju M, Nilsson A-C, Tullborg E-L, Wallin B,. 1992. **The large scale redox experiment. Initial characterization of the fracture zone.**
PR 25-92-04.

Andersson P, Ittner T, Gustafsson E,. 1992. **Groundwater flow measurements in selected sections at Äspö before tunnel passage of fracture zone NE-1.**
PR 25-92-05.

Olsson T. 1992. **Judgement on the agreement between prediction and outcome in the access ramp. 0–0/700 metres.**
PR 25-92-06.

Munier, R. 1992. **Update of structural models for the Äspö area; emphasis on brittle deformation.**
PR 25-92-07.

Wallin, B. 1992. **Sulphur and oxygen isotope evidence from dissolved sulphates in groundwater and sulphide sulphur in fissure fillings at Äspö, southeastern Sweden.**
PR 25-92-08.