



SKB

FoU-PROGRAM 86

Kärnkraftavfallets behandling och slutförvaring.

**Program för forskning, utveckling
och övriga åtgärder.**

September 1986

- I Allmän del
- II Val av slutförvaringssystem
- III Forskningsprogram 1987–1992**

INNEHÅLLSFÖRTECKNING DEL I – III

Del I ALLMÄN DEL

FÖRORD

INLEDNING

- 1 FÖRUTSÄTTNINGAR**
- 2 AVFALL FRÅN SVENSKA KÄRNKRAFTS-PROGRAMMET**
- 3 ÅTGÄRDER FÖR ATT TA HAND OM RADIOAKTIVT AVFALL FRÅN KÄRNKRAFTVERKEN**
- 4 ÖVERSIKT ÖVER PLANERAD FORSKNING OCH UTVECKLING**

Referenser

Bilaga: Kort översikt över vissa legala krav

Del II VAL AV SLUTFÖRVARINGSSYSTEM

- 1 INLEDNING**
- 2 FAKTORER SOM PÅVERKAR VAL AV PLATS OCH SYSTEM**
- 3 BESKRIVNING AV NUVARANDE UNDERLAG**
- 4 UNDERSÖKNINGAR SOM SKALL LEDA TILL VAL AV SYSTEM OCH PLATS**

Del III FORSKNINGSPROGRAM 1987 - 1992

- 1 ALLMÄNT**
- 2 TEKNISKA BARRIÄRER**
- 3 GEOVETENSKAP**
- 4 BIOSFÄRSSTUDIER**
- 5 KEMI**
- 6 SÄKERHETSANALYSER**
- 7 INTERNATIONELLT SAMARBETE**
- 8 ORGANISATION OCH GENOMFÖRANDE**

Referenser

Bilaga: Remissbehandling och expertgranskning av KBS-3

INNEHÅLLSFÖRTECKNING DEL III

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | ALLMÄNT | 7 |
| 2 | TEKNISKA BARRIÄRER | 9 |
| 2.1 | Allmänt | |
| 2.2 | Utformning av förvar | |
| 2.2.1 | Bakgrund | |
| 2.2.2 | Mål för FoU-verksamheten | |
| 2.2.3 | Nuvarande kunskapsläge | |
| 2.2.4 | Forskningsprogram 1987-1992 | |
| 2.3 | Avfallsformer | |
| 2.3.1 | Bakgrund | |
| 2.3.2 | Mål för FoU-verksamheten | |
| 2.3.3 | Nuvarande kunskapsläge | |
| 2.3.4 | Internationella kontakter | |
| 2.3.5 | Forskningsprogram 1987-1989 | |
| 2.3.6 | Program 1990-1992 | |
| 2.4 | Kapsel | |
| 2.4.1 | Bakgrund | |
| 2.4.2 | Mål för FoU-verksamheten | |
| 2.4.3 | Nuvarande kunskapsläge | |
| 2.4.4 | Forskningsprogram 1987-1992 | |
| 2.5 | Buffert och återfyllning | |
| 2.5.1 | Bakgrund | |
| 2.5.2 | Mål för FoU-verksamheten | |
| 2.5.3 | Nuvarande kunskapsläge | |
| 2.5.4 | Forskningsprogram 1987-1992 | |
| 3 | GEOVETENSKAP | 21 |
| 3.1 | Bergets grundvattenrörelser | |
| 3.1.1 | Bakgrund | |
| 3.1.2 | Mål för FoU-verksamheten | |
| 3.1.3 | Nuvarande kunskapsläge | |
| 3.1.4 | Forskningsprogram 1987-1992 | |
| 3.2 | Bergets stabilitet i ett långtidsperspektiv | |
| 3.2.1 | Bakgrund | |
| 3.2.2 | Mål för FoU-verksamheten | |
| 3.2.3 | Nuvarande kunskapsläge | |
| 3.2.4 | Forskningsprogram 1987-1992 | |
| 3.3 | Typområdesundersökningar | |
| 3.3.1 | Bakgrund | |
| 3.3.2 | Mål för typområdesundersökningarna | |
| 3.3.3 | Nuvarande kunskapsläge | |
| 3.3.4 | Forskningsprogram 1987-1992 | |
| 3.4 | Underjordiskt berglaboratorium | |
| 3.4.1 | Bakgrund | |
| 3.4.2 | Mål för det underjordiska berglaboratoriet | |
| 3.4.3 | Nuvarande kunskapsläge | |
| 3.4.4 | Forskningsprogram 1987-1992 | |
| 3.5 | Instrumentutveckling | |
| 3.5.1 | Bakgrund | |
| 3.5.2 | Mål för instrumentutvecklingen | |
| 3.5.3 | Nuvarande kunskapsläge | |
| 3.5.4 | Forskningsprogram 1987-1992 | |
| 4 | BIOSFÄRSSTUDIER | 41 |
| 4.1 | Bakgrund | |
| 4.2 | Mål för FoU-verksamheten | |
| 4.3 | Nuvarande kunskapsnivå | |
| 4.4 | Forskningsprogram 1987-1992 | |
| 4.4.1 | Variationsbredd och osäkerheter | |
| 4.4.2 | Dataunderlag | |
| 4.4.3 | Recipientstudier | |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 4.4.4 | Modeller | |
| 4.4.5 | Övriga studier | |
| 4.4.6 | Tidplaner | |
| 5 | KEMI | 45 |
| 5.1 | Geokemi | |
| 5.1.1 | Bakgrund | |
| 5.1.2 | Mål för FoU-verksamheten | |
| 5.1.3 | Nuvarande kunskapsläge | |
| 5.1.4 | Forskningsprogram 1987-1992 | |
| 5.2 | Radionuklidkemi | |
| 5.2.1 | Bakgrund | |
| 5.2.2 | Mål för FoU-verksamheten | |
| 5.2.3 | Nuvarande kunskapsläge | |
| 5.2.4 | Forskningsprogram 1987-1992 | |
| 5.3 | Kemisk transport | |
| 5.3.1 | Bakgrund | |
| 5.3.2 | Mål för FoU-verksamheten | |
| 5.3.3 | Nuvarande kunskapsläge | |
| 5.3.4 | Forskningsprogram 1987-1992 | |
| 5.4 | Validering av transportmodeller | |
| 5.4.1 | Bakgrund | |
| 5.4.2 | Mål för FoU-verksamheten | |
| 5.4.3 | Nuvarande kunskapsläge | |
| 5.4.4 | Forskningsprogram 1987-1992 | |
| 6 | SÄKERHETSANALYS | 55 |
| 6.1 | Bakgrund | |
| 6.2 | Mål för FoU-verksamheten | |
| 6.3 | Scenarier och acceptanskriterier | |
| 6.4 | Modeller och data för funktions- och säkerhetsanalyser | |
| 6.4.1 | Bakgrund | |
| 6.4.2 | Nuvarande kunskapsläge | |
| 6.4.3 | Forskningsprogram 1987-1992 | |
| 6.5 | Genomförande av funktions- och säkerhetsanalyser | |
| 7 | INTERNATIONELLT SAMARBETE | 59 |
| 7.1 | Utländsk FoU av vikt för SKBs program för slutförvaring av använt bränsle | |
| 7.2 | SKBs samarbetsavtal med utländska organisationer | |
| 7.3 | STRIPA-projektet | |
| 7.3.1 | Bakgrund | |
| 7.3.2 | Uppnådda resultat | |
| 7.3.3 | Mål för fas 3 av Stripa-projektet | |
| 7.3.4 | Programmet för fas 3 av Stripa-projektet | |
| 7.4 | URL-projektet | |
| 7.5 | JSS-projektet | |
| 7.6 | Poços de Caldas-projektet | |
| 7.7 | Bränslelakning - Workshops | |
| 7.8 | Samarbete med CEA, Frankrike | |
| 7.8.1 | Lerfrågor | |
| 7.8.2 | Kemifrågor | |
| 7.9 | Övriga internationella projekt | |
| 7.10 | Samarbete inom OECD Nuclear Energy Agency | |
| 8 | ORGANISATION OCH GENOMFÖRANDE | 69 |
| 8.1 | SKBs uppgifter och organisation | |
| 8.2 | Myndigheternas roll | |
| 8.3 | FoU-insatsernas genomförande | |
| 8.4 | Finansiering | |
| 8.5 | Information | |
| | REFERENSER | 71 |
| | BILAGA: Remissbehandling och expertgranskning av KBS-3 | 81 |

1 ALLMÄNT

Denna del III av SKBs FoU-program 1986 behandlar de närmaste sex årens insatser. Först redovisas insatser som berör de tekniska barriärerna mot aktivitetsspridning. Därefter behandlas insatserna för studier relaterade till geosfären och biosfären, inklusive deras naturliga spridningsvägar och spridningsbarriärer.

Kemiska förhållanden i förvaret och dess omgivning är avgörande för både barriärernas funktion och transporten av radioaktivitet genom geosfär och biosfär till människan. Arbeten inom kemiområdet redovisas därför i ett separat kapitel, (kapitel 5). Gränsdragningen mellan barriärstudier och kemi, respektive geovetenskap och kemi, kan ibland bli diffus och är i viss mån en följd av arbetsfördelningen inom SKBs forskningsavdelning.

På motsvarande sätt som kemifrågorna är metodutvecklingen för funktions- och säkerhetsanalyser övergripande och behandlas i ett separat kapitel, (kapitel 6).

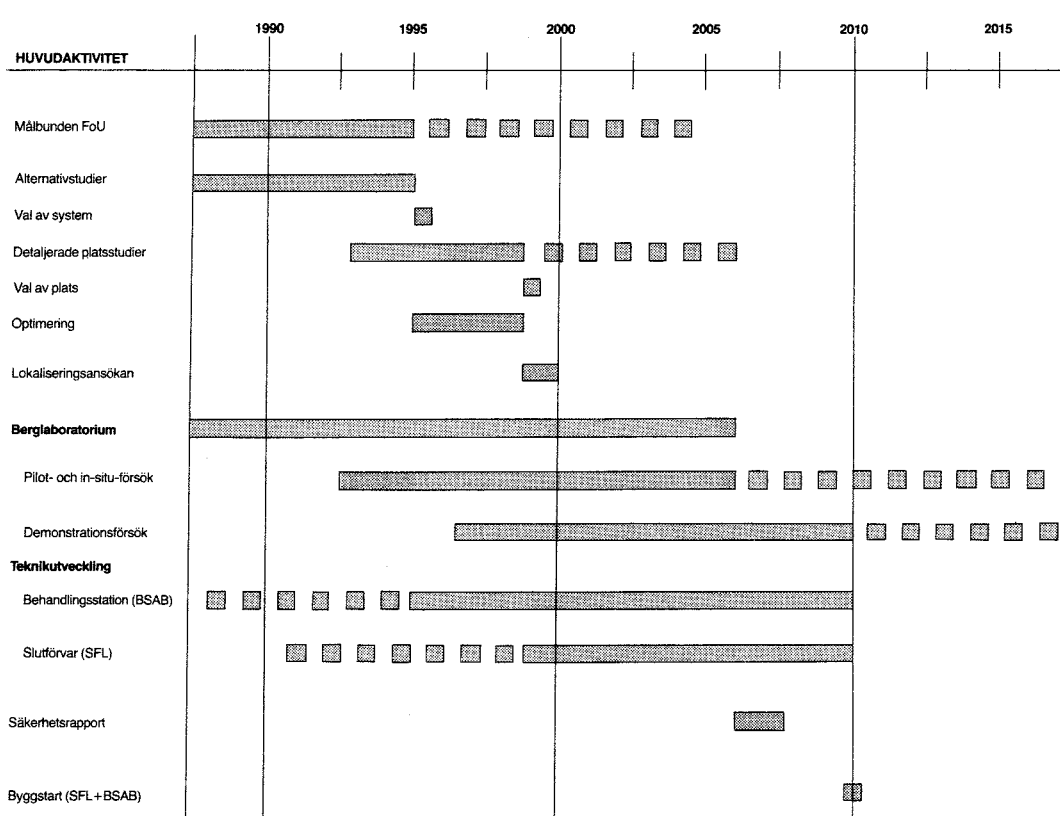
I kapitel 7 presenteras verksamheten i några andra länder som har särskilt intresse för det svenska programmet. Dessutom redovisas SKBs internationella samarbete.

I del I redovisas övergripande planer för erforderliga åtgärder för att ta hand om avfallet från de svenska

kärnkraftverken samt för planerad forskning och utveckling. I del II diskuteras de arbeten som måste genomföras före val av utformning och plats.

Den ram inom vilken FoU-insatserna för olika ämnesområden planerats ges nedan, se även Figur 1-1.

- Fram till mitten av 1990-talet drivs en målrelaterad forskning rörande alternativa utformningar av barriärssystemet och de grundläggande fenomen som har betydelse för säkerhet, optimering samt system- och platsval. Samtidigt genomförs erforderlig utveckling av analysmodeller.
- De översiktliga typområdesundersökningarna som pågått sedan slutet av 1970-talet slutförs. I början av 1990-talet väljs ett par områden ut för detaljundersökningar. Sådana bör ej påbörjas senare än 1993 för de områden som kan bli aktuella för en lokaliseringsansökan år 2000.
- I mitten av 1990-talet sammanfattas studierna av barriärssystemen och ett eller ett par huvudalternativ väljs. Detta (dessa) utgör sedan bas för en platsanknuten systemoptimering av slutförvarssystemet.
- Optimeringen genomförs till 1998, då ett område föreslås för lokalisering. Ansökan om lokaliseringstillstånd inlämnas före år 2000.



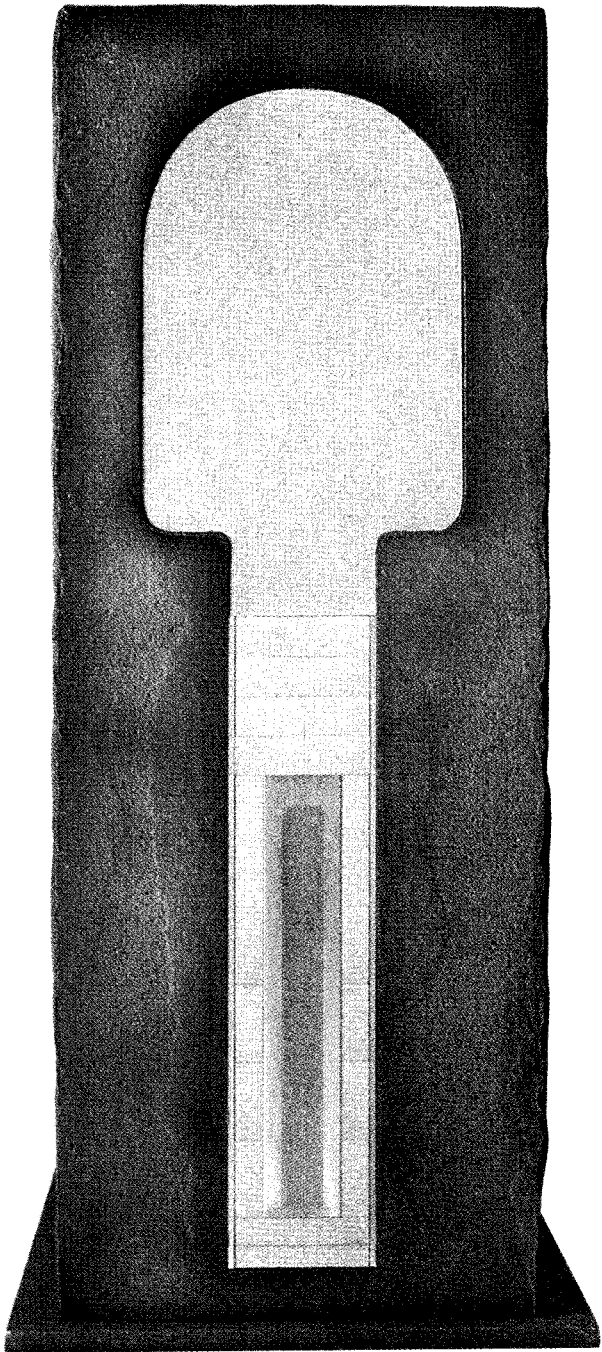
Figur 1-1. Översiktlig tidplan för åtgärder fram till byggstart för slutförvar och behandlingsstation.

Förutom forskningsplanen redovisas inom varje ämnesområde bakgrund, mål för forskningen och nuvarande kunskapsläge. Huvuddelen av kunskapsläget finns mer utförligt redovisad i KBS-3-rapporten och SKB Annual Report från 1984 och 1985.

Någon detaljerad utvärdering av hur resultaten av tidigare, sammanfattande säkerhetsanalyser påverkats av nya data har inte genomförts. Detta kommer naturligt in först i samband med att alternativa utformningar och lägen skall jämföras.

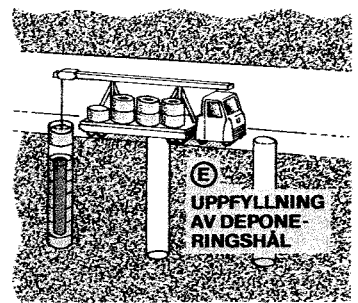
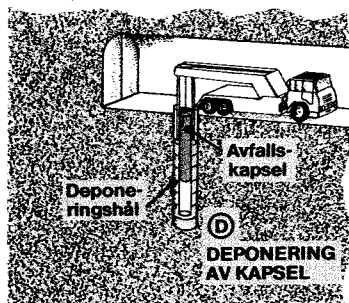
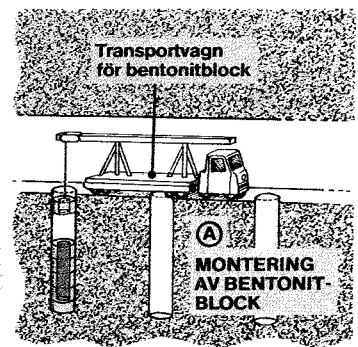
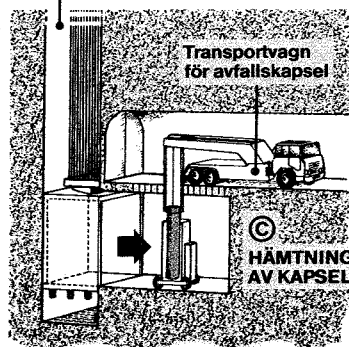
Den betydelse som olika parametrar och förhållanden har för samfunktionen i ett förvarssystem diskuteras i i kapitel 2 och 3 i del II, mot bakgrund av deras säkerhetsfunktioner. De prioriteringar som styr insatserna måste fortlöpande omprövas med hänsyn till nytillkommen kunskap samt arbets- och tidplaner för genomförande av erforderliga åtgärder.

I en bilaga redovisas de påpekanden som gjordes i remissbehandlingen av KBS-3-rapporten och var i programmet dessa frågor behandlas.

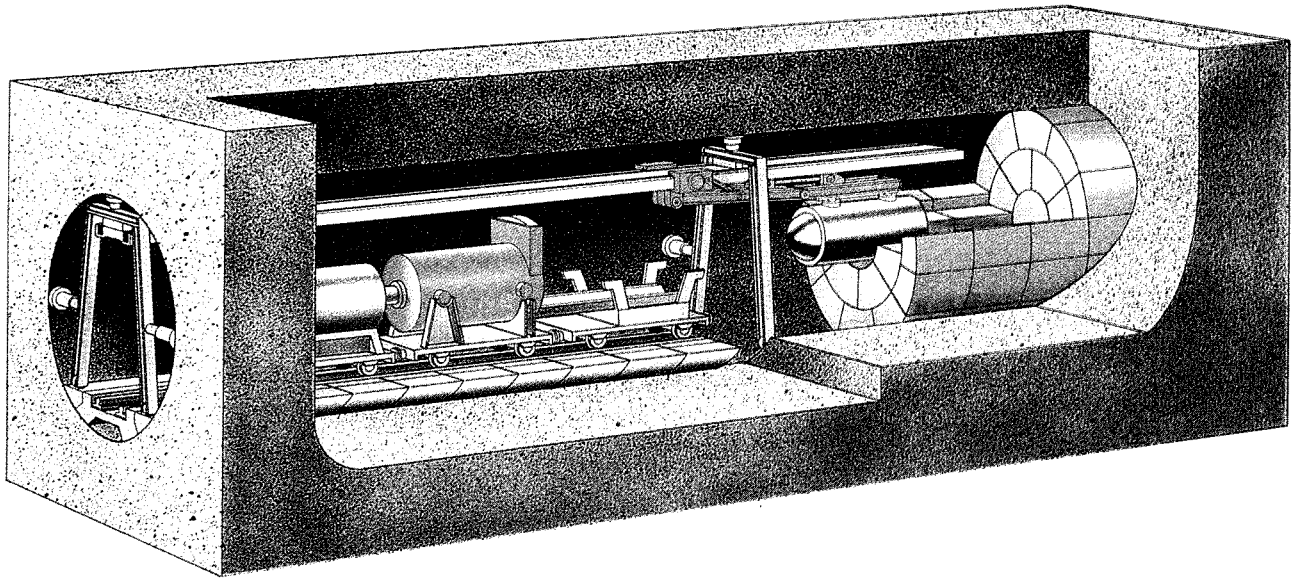


Ⓑ
FRÅN
INKAPSLINGSSTATION

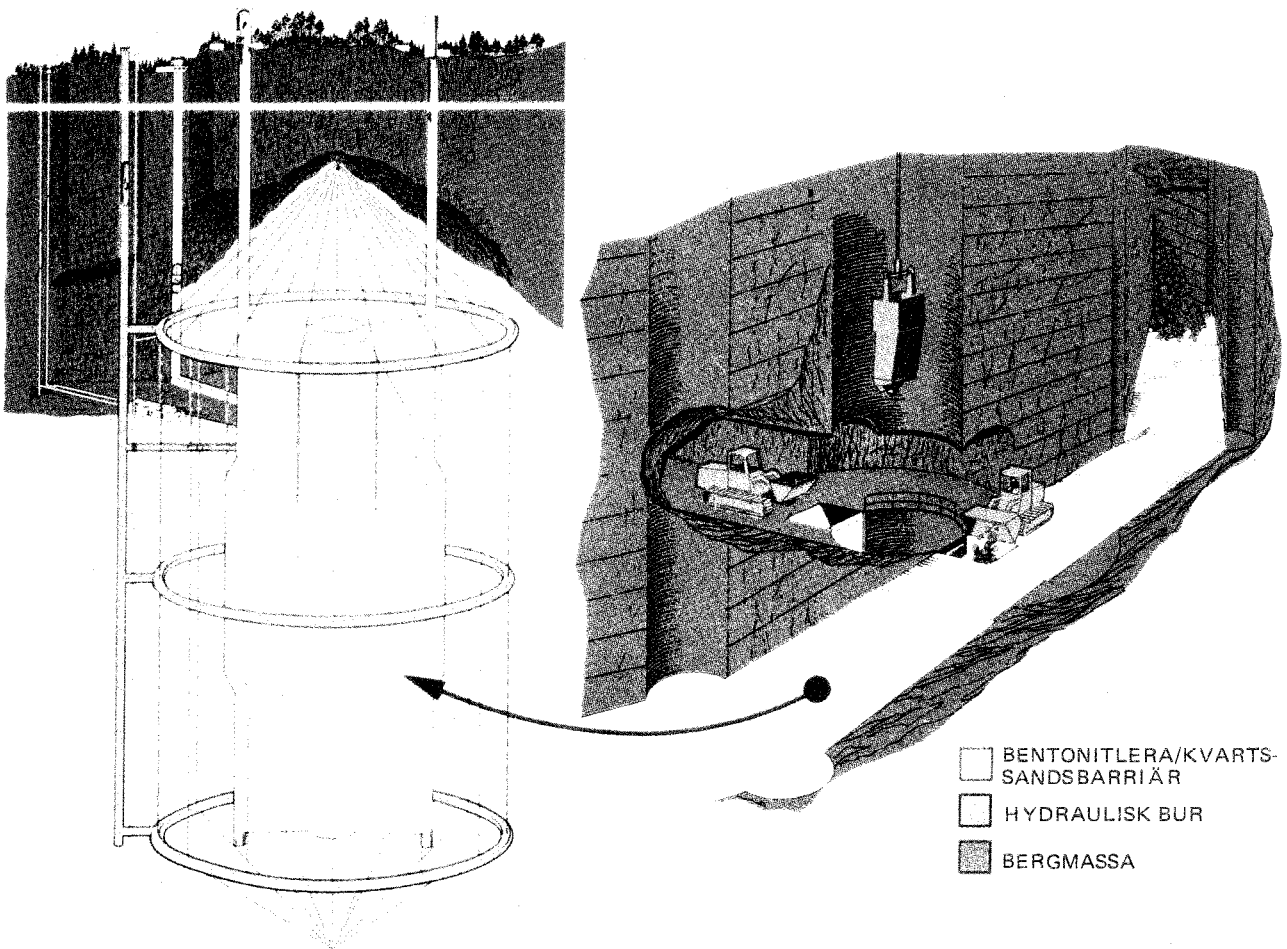
Transportschakt
för avfallskapsel



Figur 2-1. Enligt KBS-3 deponeras kapsel och block av högkompakterad bentonit i hål som borrats i berget under tunneln. Tunneln fylls sedan med bentonit/sandblandning.



Figur 2-2. Enligt NAGRA Projekt Gewähr 1985 placeras kapslar och högkompakterade bentonitblock i fullortsborrade tunnlar.



Figur 2-3. I WP-Cave omsluts slutförvaret av en tät lerbarriär och en hydraulisk bur. Bilden visar hur barriären successivt byggs upp.

2 TEKNISKA BARRIÄRER

2.1 Allmänt

I detta kapitel redovisas FoU-insatser rörande förvarets utformning och däri ingående tekniska barriärer.

FoU-arbetet rörande utformningen av det tekniska barriärsystemet och förvarets utformning i stort kommer under tiden fram till mitten av 1990-talet att omfatta bl a inventering och utvärdering av olika alternativ. Målet är att 1995 välja ett eller möjligen två huvudalternativ som bas för en platsanknuten optimering av slutförvarssystemet. Arbetet fokuseras 1994-95 på samfunktionsanalyser av slutförvarets olika komponenter.

Innebörden av begreppen alternativ utformning och alternativa barriärer har diskuterats och systematiserats i en underlagsrapport /2-1/. Där presenteras också vissa alternativ som kan bli aktuella. Ytterligare alternativ kommer att definieras under det fortsatta arbetet.

I det följande redovisas först planerade arbeten ifråga om förvarets utformning och teknik för genomförande (avsnitt 2.2). Därefter diskuteras insatserna för avfallsformer (avsnitt 2.3), kapsel inkl dess tillverkning och beständighet (avsnitt 2.4) samt buffertmaterial inkl metoder för begränsning av vattenrörelser i närzonen (avsnitt 2.5).

De kemiska förhållandena i närzonen och studierna av kemisk växelverkan redovisas samordnat i kapitel 5.

2.2 Utformning av förvar

2.2.1 Bakgrund

Utformningen av ett slutförvar skall med hänsyn till geologiska förutsättningar medge inbyggnad och funktion av tekniska barriärer och begränsa de temperaturer som orsakas av det använda bränslets restvärme. Förvaret skall också utformas med hänsyn till tillgängliga metoder att rymma berg för deponering av kapslar i lämpligt berg och i lämplig geometri.

Anpassningen till platsen kan ske utifrån olika grundalternativ. Tar man även hänsyn till att förvarsdjup, bergarter m m kan variera så erhålles ett mycket stort antal möjliga varianter av bergförvar. Ett urval av studerade alternativ måste göras successivt för att man skall få ett överblickbart underlag för en optimal utformning av förvaret.

2.2.2 Mål för FoU-verksamheten

Målet är att vid mitten av 1990-talet kunna välja principiell slutförvarsutformning. Detta system optimeras sedan med avseende på bl a temperatur, kapsel och tätningsåtgärder i valt slutförvarsläge.

Under den närmaste sexårsperioden studeras och värderas olika grundalternativ med avseende på funktion, säkerhet, genomförbarhet, teknik och ekonomi. För prioriterade alternativ definieras erforderliga kompletterande FoU-arbeten.

2.2.3 Nuvarande kunskapsläge

Ett antal olika grundalternativ för utformning av slutförvar för använt bränsle har föreslagits. Några av dessa har studerats ingående medan andra endast har skisserats. Det även vid internationell jämförelse mest genomarbetade alternativet i kristallint berg är det som beskrivs i KBS-3-rapporten /2-2/.

I KBS-3 utgörs slutförvaret av ett system av tunnlar. Avfallskapslarna placeras i deponeringshåll som borras från sulan på tunnlar, med en kapsel i varje deponeringshåll. Förvarings- och transporttunnlar tjänar tillsammans med vertikala schakt som kommunikationsleder vid transport och hantering av kapslarna.

Deponeringshållen ger också plats för buffertmaterial, se Figur 2-1, och tunnlar och schakt återfylls med tätt material.

Den givna mängden använt bränsle fördelas till ett antal kapslar och deponeringshåll med inbördes avstånd, som anpassas till praktiska och geologiska förhållanden. Avstånden skall vara tillräckliga för att begränsa temperaturen i deponeringshåll och omgivande berg. Utformningen ger stor frihet att arrangera förvaringstunnlarna i system med variabel längd, inbördes avstånd och djup under bergytan.

I Stripa-försöken /2-3/ har temperaturförhållanden i simulerade deponeringshåll studerats. I sex deponeringshåll, i halvstor skala i realistiska bergförhållanden och med olika vattentillgång, har vattenupptagningsförloppet studerats både vid en kapseffekt motsvarande det som anges i KBS-3 och vid en mer än dubbelt så hög effekt. Resultaten visade att temperaturförhållanden kan förutsägas med kännedom om bergets värmeledningsegenskaper och förståelse av sammanhangen mellan buffertmaterialets fuktegenskaper och värmeledningsegenskaper /2-4/.

I vilken utsträckning olika leror, med eventuella tillsatser, skiljer sig i dessa avseenden är föremål för forskning. Likaså studeras hur egenskaper, betydelsefulla för lerornas funktion, påverkas av temperaturförändringens storlek och varaktighet, se avsnitt 2.5.

Slutförvarets utformning påverkar temperaturhöjningens storlek och varaktighet huvudsakligen under de första 1000-10 000 åren. Temperaturmaximum vid kapsel och i berg inträffar vid olika tidpunkter.

Det kan tänkas att temperaturen i buffertmaterialet kan tillåtas bli högre än vad som angetts som riktpunkt vid KBS-3, dvs väl under 100°C. En framtida optimering förutsätter också en fördjupad kännedom om de temperatureffekter som kan medföra betydelsefulla förändringar av egenskaper i berget som omger slutförvaret, se avsnitt 3.1.4.

Utvecklingen av byggmetoder, för t ex fullborrning av tunnlar och schakt, sker oberoende av SKBs FoU-insatser, mot en användning av större maskiner för bl a bättre ergonomiska förhållanden i underjordsarbeten. Fullhållsborrning påverkar omgivande berg i

mindre grad än sprängning. Denna teknik kan utnyttjas för kapseldeponering direkt i horisontella tunnlar såsom beskrivits av NAGRA i Schweiz /2-5/, se Figur 2-2. Tekniken kan även tänkas medge större deponeringshål eller horisontella deponeringshål.

Andra alternativ är att utnyttja teknik för inbyggnad av tätbarriärer, vilka är separerade från deponeringsutrymmen för kapslar. Det är också möjligt att kombinera en sådan tätbarriär med en konstgjord hydraulisk bur, som omger hela förvaret och som medger grundvatten att i högre grad strömma kring förvaret än genom det. Den s k WP-Cave-utformningen utnyttjar dessa principer - se nedan.

Metoder att återfylla borrhål, schakt och tunnlar med tätt material behandlas i avsnitt 2.5.

Extra tätningsåtgärder kan vid behov byggas in i återfyllningen i form av pluggar i borrhål, schakt och tunnlar eller utföras i tidigt skede, t ex i anslutning till bergutrymningen i form av injekteringar eller anordningar i bergytan /2-6/.

Tätningar och hydrauliska burarrangemang bör placeras med hänsyn till grundvattnets naturliga strömningförhållanden i främst de mer sammanhängande och utsträckta vattenförande zonerna. Dessa identifieras före eller under slutförvarets bergutrymning med metoder som bl a provats vid SFR-anläggningen. Utvecklingen av sådan metodik beskrivs i avsnitt 3.1 och 3.5.

Parallellt med KBS-3-studierna genomfördes via SKN vissa utvecklingsinsatser på WP-Cave /2-7/, se Figur 2-3. Idén är att genom tekniska arrangemang isolera en bergkropp så väl från det omgivande berget att man kan tillåta sig väsentliga förändringar i närzonen, utan att berget i fjärrzonen förlorar sina naturliga långtidsskyddande egenskaper.

Under 1986 påbörjades inom SKB en studie av WP-Cave-utformningen som syftar till att dels identifiera kritiska parametrar och processer i systemet och ge underlag för en säkerhetsanalys, dels beräkna kostnaderna för WP-Cave tillämpat på det svenska avfallsystemet. Genomförandet av denna studie är exempel på hur integrerade slutförvarssystem kommer att studeras i fortsatta samfunksanalyser vid SKB.

2.2.4 Forskningsprogram 1987-1992

Under 1987-88 utförs en inventering av principiella förvarsutformningar. Härvid identifieras sådana sammanhang mellan teknik för utförande och metod att mäta bergegenskaper, som har betydelse för slutförvarsfunktionen.

Krav på berget som föranleds av utförande eller funktion skall identifieras. Speciellt anges eventuella olikheter i slutförvarsalternativen i fråga om deras förmåga, att i samverkan med kapslar isolera grundvatten från det använda bränslet eller minimera omsättningen av grundvatten, som kan komma i kontakt med det använda bränslet.

Bedömningar av genomförbarhet, säkerhet, funktion och kostnad används för gallring. Redovisning görs för skäl till att viss utformning prioriteras för fortsatt arbete, har begränsat intresse eller är olämplig.

Under 1989-90 studeras prioriterade alternativ mer i detalj i förväntad bergmodell. Speciellt studeras möjligheten att anpassa utformningen till bergets kvalitet, baserad på en successiv redovisning av bergets egenskaper vid utbyggnaden av förvarets tunnelsystem. Data från typområdesundersökningar används för att få realistiska bergbeskrivningar.

Metoder att undersöka berg i aktuella förvarsutformningar beskrivs.

En sammanvägning av möjlig strategi för slutförvarets utbyggnad, undersökningsmetodik och berganpassning utgör en grund för detaljerade mål och program för FoU i det underjordiska berglaboratoriet, se avsnitt 3.4. Möjlig teknikutveckling definieras med tidplaner och angivande av eventuella större demonstrationsförsök.

Under 1991-92 utförs vidare en utvärdering av alternativa deponeringsmetoder inför valet av områden för detaljerade geologiska undersökningar. Eventuella skillnader i anpassningsbarhet identifieras mot bakgrund av den då mer detaljerade beskrivningen av bergförhållandena.

2.3 Avfallsformer

2.3.1 Bakgrund

För hanteringen av det svenska kärnkraftprogrammets högaktiva avfall är direkt deponering av använt bränsle huvudalternativet och tyngdpunkten på insatserna ligger både i kortare och längre perspektiv på studier av denna avfallsform. För att effektivt kunna följa upp verksamheten i andra länder om avfallsformer och avfallsegenskaper, måste också viss inhemsk kompetens på förglasat högaktivt avfall bibehållas och utvecklas. Detta kräver vissa FoU-insatser, som för det närmaste året görs inom ramen för JSS-projektet. Den nu pågående modellutvecklingen för upplösning/lakning av glas ger en förståelse för grundläggande fenomen, som sannolikt har betydelse även för använt bränsle som avfallsform. Efter det att JSS-projektet avslutats planeras inga nya insatser på HLW-glas. Endast en uppföljning på låg nivå kommer att genomföras av tidigare arbeten och av den internationella utvecklingen. Detaljerna kring programmet för studier av glas behandlas i avsnitt 7.5. I det följande diskuteras endast de insatser som berör använt bränsle.

2.3.2 Mål för FoU-verksamheten

Målet för studierna av beständigheten av använt bränsle i grundvattensystem är att till 1995 ha tillräcklig kunskap om mekanismerna och kinetiken för upplösningen av UO_2 -för att kunna validera en prediktiv modell, som kan användas som källterm i säkerhetsanalyser. Bättre kunskap om bränsleupplösningen gör det möjligt att optimera kapselutformning, kapselmaterial och utformningen av närområdet till kapseln.

2.3.3 Nuvarande kunskapsläge

Använt bränsle studeras förutom i Sverige också i USA, Kanada, Frankrike och Västtyskland. Av dessa

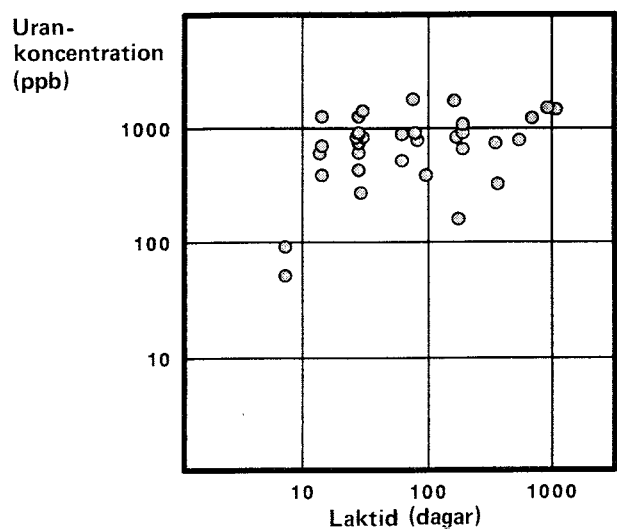
länder har Kanada och USA de klart största programmen. Jämfört med HLW-glas är använt bränsle en internationellt sett relativt ny avfallsform. De första studierna av upplösning/korrosion av använt bränsle rapporterades för knappt 10 år sedan /2-8, 2-9/. Till detta kommer att få laboratorier i världen har resurser och kompetens att utföra relevanta studier. Trots detta börjar en god databas växa fram, även om nuvarande kunskaper ännu inte givit en tillräcklig teoretisk förståelse för de grundläggande förloppen vid bränslelakning.

I USA är använt bränsle huvudalternativet för kommersiellt avfall och undersökningarna av använt bränsle bedrivs inom ramarna för de olika förvaringsprojekten. Undersökningarna är förvarings-specifika i så måtto att de utförs i grundvatten och tillsammans med andra komponenter, som är specifika för varje förvaringsgeologi. Verksamheten bedrivs, delvis parallellt, inom tuffprogrammet (NNWSI) /2-10, 2-11/, basaltprogrammet (BWIP) (2-12/ och saltprogrammet (SRP) /2-13/. Även i Kanada är använt bränsle huvudalternativet och ett relativt stort program drivs av AECL vid Whiteshell Nuclear Research Establishment (WNRE) i Manitoba /2-14 - 2-19/.

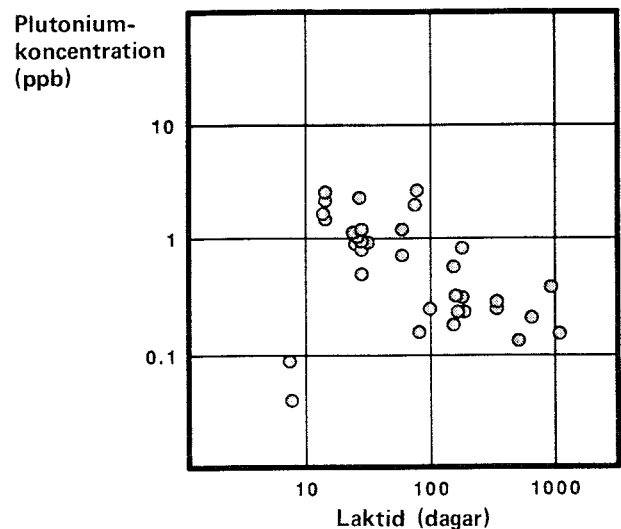
Dessa program avviker mer eller mindre från det svenska såtillvida att förvaringsförhållandena skiljer sig från vad som förväntas i svensk granitiskt berg. Minst beröring med de svenska förhållanden har det saltrelaterade programmet /2-13, 2-21/, medan det finns väsentliga beröringspunkter med de övriga programmen. I tuffprogrammet är t ex grundvattensammansättningen mycket lik det svenska referensvattnets, medan redoxförhållandena i förvaret är oxiderande i stället för reducerande. Både basaltprogrammet och det kanadensiska programmet förutsätter reducerande förhållanden i berggrunden. Basaltprogrammet är dock inriktat på hydrotermala förhållanden. AECLs program har ett referensvatten med betydligt högre salthalt än det svenska, även om försök också görs med vattensammansättningar, som är typiska för svenskt granitiskt berg. Dessutom avviker det kanadensiska CANDU-bränslet från LWR-bränsle vad gäller utbränning och termisk belastning. Dessa skillnader är emellertid i många fall av underordnad betydelse. I SKBs regi har de senaste fem åren lakexperiment med i huvudsak BWR-bränsle utförts i Studsvik /2-22 - 2-24/. Dessa studier har, tillsammans med de utländska studierna, givit information om löslighetsbegränsningar och reaktionskinetik och är en god databas för mer djupgående studier. De har också, tillsammans med data från utländska studier, givit det nödvändiga bakgrundsmaterialet för att börja arbetet med mer grundläggande teoretisk förståelse och beskrivning av lakförloppet.

Undersökningarna visar att radionuklider, som migrerar till korngränser och till gapet mellan zircaloyhölje och bränsle (dvs väsentligen Cs och I), lakas ut mycket snabbt. Utlakningen sker till en fraktion av inventariet som korrelerar med fissionsgasfrigörelsen under drift /2-11, 2-20, 2-22/. Detta innebär en snabb selektiv utlakning från någon tiondels procent till några procent av totala inventariet av radionukliden.

Uran når vid oxiderande förhållanden snabbt mättnad i ett koncentrationsintervall på 1-5 ppm för karbonathalter i området 1-5 mM /2-11, 2-15, 2-24/, se Figur 2-4. Denna experimentellt bestämda löslighetsgräns är ca två storleksordningar lägre än den som användes för säkerhetsanalysen i KBS-3. Plutonium och andra aktinider når också snabbt sina löslighetsgränser, som i allmänhet är betydligt lägre än för uran. För t ex Pu ligger jämviktsskoncentrationen på 0,1-1 ppb /2-24/, dvs ca en storleksordning lägre än vad som motsvaras av Pu/U-förhållandet i använt bränsle, se Figur 2-5. Andra radionuklider, som Sr och Tc, visar upp lakbeteenden som ligger mellan de för Cs och U /2-11, 2-24/. Det är ännu inte fastställt om detta beror på segregation av Sr och Tc i bränslet, eller om det är en indikation på att upplösningen av bränslematrisen



Figur 2-4. Koncentration av uran i lösning som funktion av laktid. Koncentrationerna avser lösning, som filtrerats för att avskilja partiklar och kolloidalt material.



Figur 2-5. Koncentration av plutonium i lösning som funktion av laktid. Lösningarna har filtrerats på samma sätt som i Figur 2-4.

fortgår, trots att löslighetsgränsen för uran nåtts /2-11, 2-21, 2-24/. Detta skulle kunna vara fallet om en sekundär uranfas, som kontrollerar urans löslighet, bildats /2-11, 2-18/.

Vid reducerande förhållanden minskar uranlakningen avsevärt och ligger i allmänhet nära detektionsgränsen för analysutrustningen /2-18, 2-24/. Även utlakningen av Cs och Sr påverkas av redoxpotentialen i systemet. Effekten är dock klart mindre än för uran /2-18, 2-24/.

2.3.4 Internationella kontakter

För att ge möjligheter till fortlöpande informellt utbyte av erfarenheter och idéer organiseras årligen en "workshop" om lakning av använt bränsle. Värdskapet cirkulerar mellan Sverige, Kanada och USA, men representanter för alla laboratorier, som aktivt arbetar med lakning/korrosion av använt UO_2 bränsle, deltar. Denna "workshop" ger en utomordentlig möjlighet att på ett tidigt stadium ta del av idéer och resultat från andra laboratorier och ger ett mycket gott underlag för detaljplaneringen av de svenska insatserna.

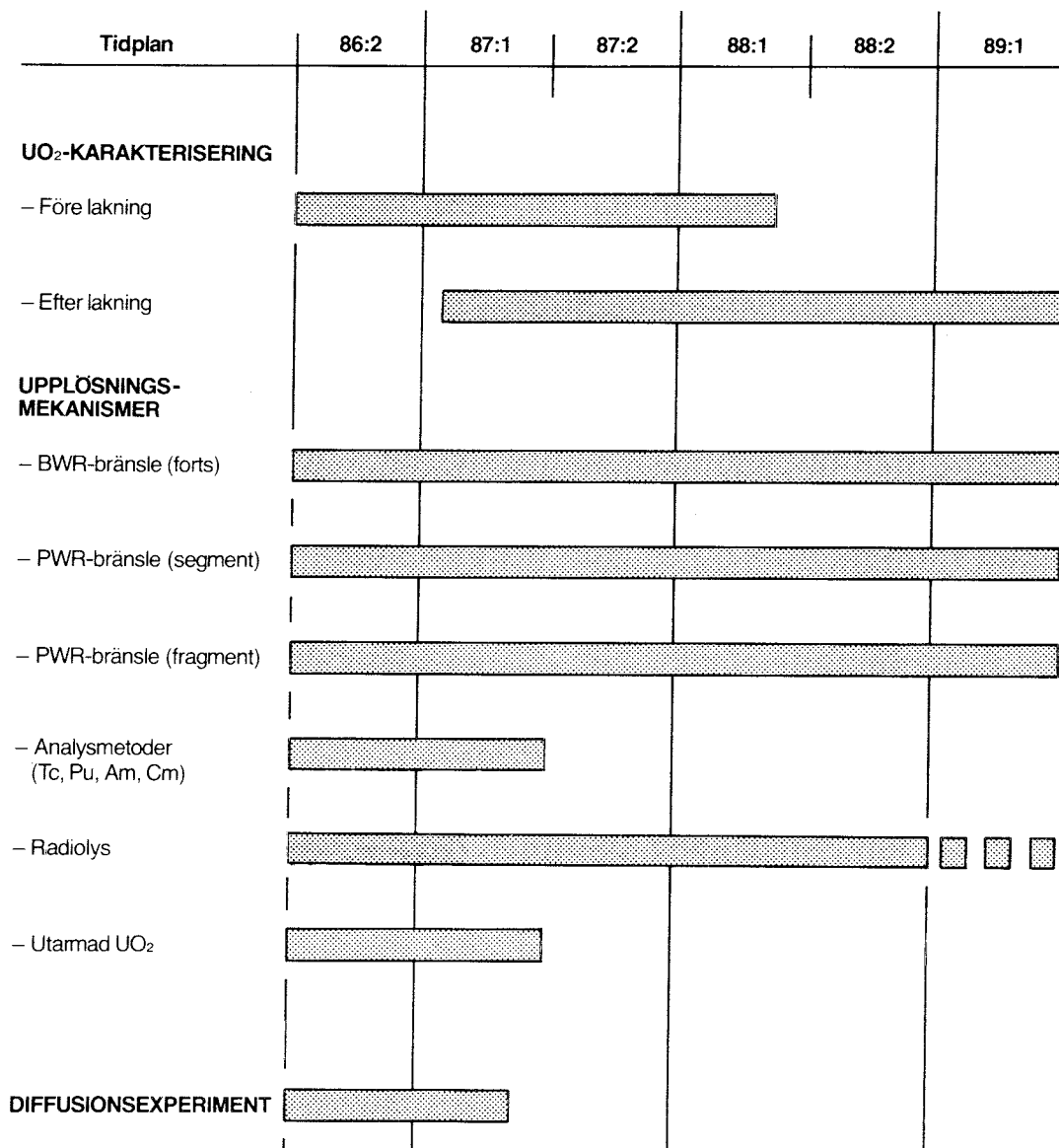
2.3.5 Forskningsprogram 1987-1989

De närmaste tre åren kommer arbetet att koncentreras på studier av de grundläggande mekanismerna för upplösning av UO_2 bränsle i rena grundvattensystem under oxiderande och reducerande förhållanden, se Figur 2-6. Efter hand kommer undersökningarna att mer inriktas på de mer komplicerade realistiska förvarförhållandena, med hänsyn även till inverkan av korroderande kapselmaterial, korrosionsprodukter och buffertmaterial. En förutsättning för detta är en god teoretisk förståelse för de enklare systemen. Omkring 1990 kommer arbetet att vara koncentrerat på komplexa, förvarssimulerande system.

För bränslelakning pågår dessutom, som ovan nämnts, ett omfattande internationellt samarbete i formen av årliga informella symposier för informationsutbyte m m, se även avsnitt 7.7.

Under perioden kommer enbart PWR- och BWR-bränsle att studeras. Vid behov kan i ett senare skede även specialstudier av MOX-bränsle bli aktuella.

Det detaljerade programmet för den närmaste treårsperioden beskrivs nedan.



Figur 2-6. Tidplan för undersökningar av använt bränsle 1986-89.

Karakterisering av använt bränsle

Pågående arbete är inriktat på undersökningar av löslighetsbegränsningar/reaktionskinetik och inverkan av alfaradiolys. Under 1986 har också undersökningar av PWR-bränsle påbörjats. Genomförda undersökningar har visat att bränslets utbränningsgrad, "termiska" historia, morfologi etc, har betydelse både för upplösningskinetiken, åtminstone över kortare tidsperioder, och för den selektiva lakningen av specifika nuklider. Under de närmaste åren kommer därför relativt stora insatser att göras på karakterisering av bränslet före och efter lakning för att särskilja de generella mekanismerna från specifika fenomen, som beror på de enskilda bränsleprovernas bestrålningshistoria. Denna typ av information har speciell betydelse för arbetet med utvecklingen av prediktiva modeller för bränslelakning och kommer att prioriteras under de närmaste tre åren. För att effektivt kunna genomföra dessa undersökningar har det krävts investeringar i analysutrustning och sannolikt kommer det även att krävas vissa ytterligare investeringar.

Karakteriseringen kommer att utföras både på BWR- och PWR-bränsle med olika termisk belastning. Före lakning skall bränslet karakteriseras med avseende på fördelningen av fissionsprodukter och aktinider i matris, korngränser, inklusioner och gap mellan bränsle och kapsling. Efter lakningen skall typen av korrosionsangrepp och eventuella förändringar i aktivitetsfördelningen dokumenteras. Tekniken kommer i första hand att vara optisk mikroskopi, SEM och STEM/TEM.

Korrosion av högaktivt bränsle

De tidigare korrosionsstudierna kommer att fortsätta med BWR och PWR-bränsle utifrån de baskunskaper som erhållits. De planerade undersökningarna kommer därför att syfta mer specifikt till ökade kunskaper om de fenomen, som de tidigare studierna identifierat som mest betydelsefulla eller mindre väl kända. I synnerhet kommer undersökningarna att inriktas mer på studiet av utlakningen av särskilda nuklider, som antingen är betydelsefulla ur radiologisk synpunkt eller är relaterade till specifika mekanismer för bränslekorrosionen.

De fenomen som speciellt skall studeras är:

- löslighets- och mättnadseffekter,
- korngränssattack på bränslet,
- kolloidbildning,
- oxiderande/reducerande förhållanden.

Generella data för aktinid- och fissionsproduktlösligheter i grundvattensystem kommer att bestämmas och sammanställas inom ramen för SKBs kemiprogram. För att kunna förstå och modellera bränsleupplösningen under oxiderande och reducerande förhållanden är det emellertid väsentligt att fastställa löslighetsgränserna för bränslematrisen, dels avseende uran och dels avseende aktinider och andra radionuklider. Speciellt aktiniderna, som kan förekomma i fast lösning med uranet i matrisen, kan ha lösligheter som avviker från de rena aktinidfasernas lösligheter.

De data, som hittills erhållits, visar att uran snabbt når en löslighetsgräns. Emellertid fortgår utlakningen av vissa radionuklider, t ex strontium, trots att upplösningen av uran avstannat. Det kan för närvarande inte fastställas om denna fortsatta utlakning är orsakad av preferentiell lakning av inklusioner eller regioner, anrikade på vissa nuklider, eller om matrisbundna nuklider kan fortsätta att frigöras trots att uranupplösningen avstannat. Detta skulle kunna vara fallet om omvandlingen av urandioxidmatrisen fortsätter även efter att grundvattnet mättats med uran, t ex genom oxidering till högre uranoxider antingen på grund av yttre tillförsel av syre eller på grund av radiolytiskt producerade oxidanter. För att få ökad förståelse för dessa mekanismer måste programmet, utöver den ovan nämnda karakteriseringen av bränslet före och efter lakning, kompletteras med analyser av nuklider som kan ge specifik information om upplösningsmekanismerna. Dessutom krävs särskilda studier av radiolys (se nedan).

Resultaten av SKBs tidigare studier har visat att en väsentlig del av aktiniderna frigörs från bränslematrisen som kolloider. Preliminära karakteriseringar av denna kolloidfraktion har utförts, men bör kompletteras med ytterligare undersökningar, i första hand för att fastställa storleksfördelningen. På grund av de mycket låga halterna av aktinider i laklösningarna (ppb eller lägre) är det svårt att göra en mer detaljerad karakterisering. Data från de närmaste årens studier får avgöra om detta är nödvändigt. Skulle så vara fallet kommer sannolikt omfattande investeringar i analysutrustning att krävas. De data, som programmet hittills genererat, hänför sig till största delen till oxiderande förhållanden. Eftersom reducerande förhållanden med största sannolikhet kommer att råda i förvarsmiljön, är det väsentligt att nuvarande databas kompletteras med data från realistiska, reducerande förhållanden. Utveckling av metoder för studier av bränsleupplösning under reducerande förhållanden pågår för närvarande, och under den närmaste treårsperioden kommer tonvikten att ligga på studiet av bränslelakning under reducerande förhållanden.

Radiolys

Det strålningsfält som omger bränslet kan orsaka radiolys av vattnet i närområdet och skapa lokala kemiska förhållanden som avviker mycket från de ostörda förhållandena i berget. Detta gäller i hög grad alfaradiolysen, som orsakas av den höga alfabestrålningen av ett mycket tunt vattenskikt närmast bränsleytan, vilken kan tänkas ge upphov till lokala oxiderande förhållanden närmast bränsleytan, trots att reducerande förhållanden råder i närområdet i övrigt.

Effekterna av alfaradiolys på oxidationen och upplösningen av UO_2 bränsle är för närvarande dåligt kända. Detta gäller även utbyte m m av radiolysprodukter i heterogena system. Det är därför motiverat med relativt stora insatser på detta område under de närmaste åren.

I första hand skall studierna inriktas på mekanismerna för radiolytisk oxidation av UO_2 och känsligheten för dos och dosrat. Detta kräver specifika experiment, som bland annat utförs med obestrålad UO_2

tillsammans med yttre gamma- och/eller alfakällor. Genom att manipulera vattenkemin kan utbytet av de enskilda radiolysprodukterna påverkas för att få information om mekanismerna och kinetiken för radiolytisk oxidation av UO_2 . Dessa experiment måste kompletteras med karakterisering av uranets oxidationstillstånd på ytan av den fasta fasen. Parallellt med dessa experiment skall givetvis undersökningar av utbränt bränsle, med kontinuerlig mätning av bland annat gasformiga radiolysprodukter, utföras.

Modellutveckling

Syftet med modellutvecklingen är att ta fram en prediktiv modell för lakning av använt bränsle under långa tidsperioder. Arbetet har nyligen påbörjats och består dels av teoretiska studier, dels av specifika experimentella studier av obestrålad UO_2 , som skall komplettera undersökningarna av högaktivt bränsle.

Det teoretiska arbetet har en termodynamisk del, som beskriver löslighetsbegränsning och bildning av nya fasta faser i närområdet, och en kinetisk del, som beskriver upplösningskinetiken för de radionuklider som inte är löslighetsbegränsade.

Den kinetiska delen av modellen kompletteras med specifika studier av inverkan av kritiska grundvattenkomponenter och ytfenomen, t.ex. morfologi, på upplösningskinetiken.

2.3.6 Program 1990-1992

Under den senare delen av programmet kommer tonvikten att ligga på studier av inverkan av övriga komponenter i förvarssystemet på bränsleupplösningen. Orienterande försök har redan genomförts eller är under genomförande, men för att fullt ut kunna tillgodogöra sig informationen från denna typ av studier, måste en förståelse för de grundläggande förloppen vid bränslerytan finnas. Viss information om växelverkan mellan bentonit, korrosionsprodukter och radionuklider fås ur JSS-projektets experimentella och teoretiska studier av glaslakning i närvaro av komponenter från närområdet, se avsnitt 7.5. Efter avslutningen av JSS-projektet 1987, förväntas delar av den för glaslakning utvecklade modellen vara tillämpbar även på utbränt bränsle. Detta gäller dels modellen för upplösningskinetik som nu är färdigutvecklad, dels modellen för växelverkan mellan radionuklider och komponenter från närområdet. För denna senare del av modellen pågår utvecklingsarbetet fortfarande och inplaneringen av motsvarande experimentella och teoretiska studier för bränsle avvaktar resultaten från JSS-projektet.

2.4 Kapsel

2.4.1 Bakgrund

Det högaktiva avfallet, vare sig det är förglasat högaktivt avfall från upparbetning eller utbränt reaktorbränsle, kräver inneslutning i en yttre behållare (kapsel) av i huvudsak två skäl. Vid hanteringen av avfallet i deponeringsanläggningen måste avfallet vara förpackat i täta behållare som förhindrar utsläpp av radioaktivitet. Efter deponeringen är det önskvärt att ingen

radioaktivitet läcker ut från avfallet under en viss tidsperiod.

En nödvändig minsta längd på tidsperioden för noll-utsläpp kan för närvarande inte definieras. För att fastställa den optimala perioden för noll-utsläpp krävs bättre kunskaper om avfallets egenskaper, de hydrologiska/geologiska förhållandena och radionuklidernas spridning i geosfären. Gångse uppfattningar ger en mycket stor spännvidd, 1000 - 100 000 år.

Beroende på vilken tidsperiod som eftersträvas, kan flera olika kapselmaterier vara aktuella. Av praktiska skäl kan kapselmaterialet indelas i följande klasser:

- Helt eller partiellt termodynamiskt stabila material, t ex koppar.
- Passiva material, t ex rostfritt stål, titan, Hastelloy, Inconel, aluminium.
- Korroderande (offer-)material, t ex bly, stål.
- Icke-metalliska material, t ex keramer Al_2O_3 , TiO_2 , cement.

Under KBS-arbetet har koppar varit huvudalternativ, med undantag för KBS-1 då titan/bly föreslogs som kapselmaterier. Dessutom har Al_2O_3 studerats som alternativt kapselmaterier för långtidsinneslutning. Korrosionsegenskaperna och tillverkningsteknologin för en kopparkapsel är relativt väl kända, även om kompletterande undersökningar måste genomföras. För de närmaste åren kommer emellertid stora insatser att göras på alternativa kapselmaterier, dvs typerna b),c) och d). Givetvis kommer studierna av koppar att fortsätta med speciell hänsyn till de kunskapsluckor som identifierades vid remissgranskningen av KBS-3.

2.4.2 Mål för FoU-verksamheten

Målet för studierna av kapselmaterier är att till omkring 1995 ha tillräcklig kunskap om såväl koppar som de alternativa materialen för att kunna slutgiltigt välja kapselmaterier. Detta förutsätter givetvis att de parallella undersökningarna av nuklidspridning i geosfären och av bränslerekning ger nödvändiga data för att konsekvenserna av en kortare kapsellivslängd skall kunna bedömas på ett realistiskt sätt.

2.4.3 Nuvarande kunskapsläge

Samtliga länder, som bedriver forsknings- och utvecklingsarbete riktat mot slutförvaring av högaktivt avfall från kärnreaktorer, förutsätter att avfallet skall kapslas in i en tät behållare före slutdeponering. Den tidsperiod under vilken kapseln skall bibehålla sin integritet varierar, men i stort kan man urskilja två huvudlinjer. I de flesta länder är målet för absolut inneslutning i kapsel ca 1000 år, medan Sverige och några andra länder som alternativ har studerat långtidsinneslutning (ca 100 000 år). Valet av referensmaterier för kapslar varierar från land till land, men generellt kan sägas att i de flesta fall har material ur grupperna b) och c) valts som huvudalternativ.

För koppar som kapselmaterier har huvuddelen av forsknings- och utvecklingsarbetet gjorts i Sverige och

nuvarande kunskapsnivå finns redovisad i KBS-3 och tillhörande referenser /se t ex 2-25-2-27/. Efter KBS-3 har forskningsarbetet fortskridit efter de riktlinjer som angavs i remissgranskningen. Detta innebär i huvudsak ytterligare studier av gropfrätning på koppar i reducerande miljö, arkeologisk evidens, oorganisk reduktion av sulfat till sulfid vid låga temperaturer (<100°C), studier av koppars krypegenskaper vid förvarstemperatur och metodutveckling för såväl HIPning som elektronstrålesvetsning. Huvuddelen av dessa arbeten pågår för närvarande, men är långsiktiga till sin natur och inga direkt tillämpbara resultat har ännu framkommit. En utvärdering av korrosionsangreppen på en kanon bärgad från regalskeppet "Kronan" har emellertid genomförts. Kanonen, som i över 300 år stått i nästan hela sin längd nedsjunken i lera, har en allmänkorrosion, som stämmer väl överens med de bedömningar som gjordes i KBS-3 för kopparkorrosion i lermiljö.

Av de alternativa materialen har SKB tidigare under KBS-arbetet studerat titan /2-28 - 2-30/ och Al₂O₃ /2-31/, men huvuddelen av informationen om alternativ till koppar kommer från laboratorier utomlands. På många håll är dessa material referensalternativ och betydande forskningsinsatser läggs ner på att klarlägga deras lämplighet som kapselmaterial och förväntad livslängd för dessa kapslar. Givetvis skall den svenska forskningen på andra material än koppar samordnas med de utländska insatserna och inriktas så att de kompletterar den information som tas fram på andra håll. Dessutom måste nödvändiga studier, specifika för svenska förhållanden, göras.

Flera länder har forskningsprogram som är relevanta för Sverige, då de hänför sig till likartade geologiska förhållanden. Dessa undersökningar ger en god bakgrund för val av svenska alternativa kapselmaterial. Passiva material studeras bl a av CEC, Frankrike, Kanada och USA, medan korroderande material är referensalternativ bl a för CEC, Storbritannien, Schweiz och USA. Keramiska material studeras för närvarande endast i Kanada i någon större omfattning, även om viss forskning bedrivs både i Schweiz och Sverige.

Mot bakgrund av inriktningen av de internationella studierna och tidigare svenska insatser, har preliminärt ett alternativmaterial från varje huvudtyp valts; titan, kolstål och Al₂O₃ (alternativt TiO₂). Kunskapsläget för dessa material är i kort sammanfattning:

Titan: För både ren titan och Ti-12 (0,3% Mo, 0,8% Ni) är det osannolikt att allmänkorrosionen skulle begränsa kapselns livslängd i förvarsmiljö /2-29, 2-32/. Däremot kvarstår osäkerheter om spaltkorrosion och väteförsprödning av titan. För spaltkorrosion gäller att Ti-12 är betydligt motståndskraftigare än ren titan, medan det för väteförsprödning gäller det omvända förhållandet /2-32/.

Kolstål: Konservativa uppskattningar av korrosionshastigheten för stål under reducerande förhållanden visar att allmänkorrosionen inte skulle hindra att stålkapslar

får livslängder på mer än 1000 år /2-33 - 2-35/. Som för titan kvarstår osäkerheter kring lokal korrosion och även kring inverkan av vätgasutvecklingen på korrosionsförloppet vid reducerande förhållanden.

Keramiker: Genomförda undersökningar visar att korrosionen/upplösningen av de flesta keramiska material sker extremt långsamt i granitiskt grundvatten /2-31, 2-36/. Det största olösta problemet för keramer som kapselmaterial är riskerna för fördröjt brott /2-31, 2-37/.

2.4.4 Forskningsprogram 1987-1992

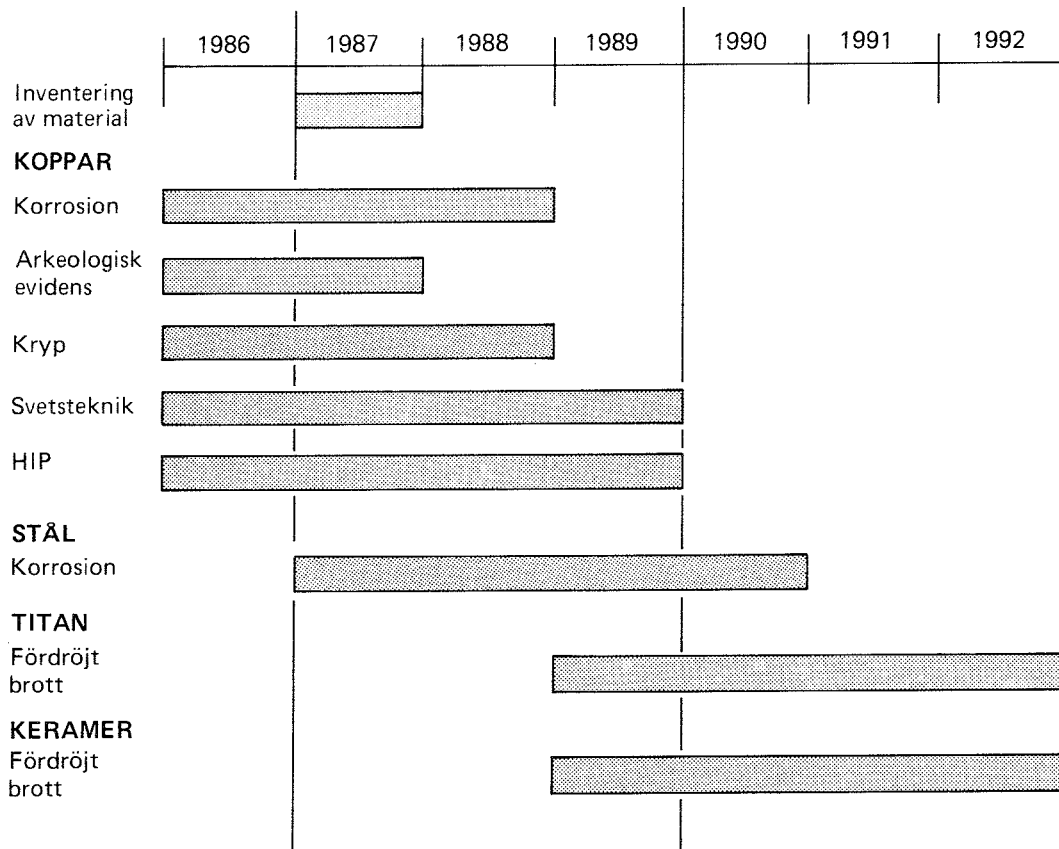
De närmaste tre åren kommer arbetet att koncentreras på att slutföra de kompletterande studierna av koppar efter de riktlinjer som gavs i samband med remissgranskningen. Under hela sexårsperioden kommer dessutom, som ovan nämnts, vissa specifika undersökningar av alternativa kapselmaterial att genomföras, se Figur 2-7. Undersökningarna blir kompletterande till några av de mer heltäckande studier som utförs utomlands. De avser främst lokal korrosion och samfunktion med de barriärkomponenter m m som kan bli aktuella vid alternativa förvarsutformningar. Vidare planeras arbeten som har betydelse för förslutning av kapslar samt FoU kring oförstörande provning av kapslar. De senare arbetena kommer in i huvudsak under den senare halvan av sexårsperioden. Samordning med utländska undersökningar kan ske inom ramen för SKBs bilaterala samarbetsavtal. Viktiga samarbetsparter är Schweiz (kolstål) och Kanada (titan, keramer).

Ett forskningsprogram för kolstål har påbörjats under 1985. Slutligt val av studieobjekt för alternativa kapselmaterial kommer att ske först efter en grundlig inventering och översiktlig genomgång av tillgängliga material och kompositier. Denna genomgång är planerad till 1987 och efter utvärdering kommer studier av titan, keramer eller andra alternativ att påbörjas 1988-89.

Det mer detaljerade programmet för den närmaste treårsperioden består av följande delområden, där arbetena på titan och keramer tills vidare är preliminära i avvaktan på definitivt val av material.

Kopparkorrosion

Pågående undersökningar är inriktade på kompletterande studier av gropfrätning hos koppar under reducerande förhållanden. Dessa undersökningar kombineras med ytterligare utvärdering av arkeologiskt material för att ge en väl underbyggd uppskattning av maximal gropfrätning på koppar under förvarsförhållanden. Dessutom pågår studier som syftar till att fastställa reaktionshastigheten för korrosion av koppar genom oorganisk reduktion av sulfat till sulfid. Denna reaktion sker extremt långsamt vid temperaturer under 100°C, men pålitliga data saknas, även om geologiska evidens klart styrker att reaktionshastigheten är utomordentligt låg.



Figur 2-7. Tidplan för kapselstudier.

Förslutning av kopparkapsel

Undersökningarna för KBS-3-rapporten visade att både elektronstrålesvetsning och HIP-ning är framkomliga vägar för kapselförslutning, men att för båda metoderna kvarstår vissa problem. Med elektronstrålesvetsning kan koppar med väggjocklekar på över 10 cm svetsas med gott resultat, medan vissa defekter hittills uppstått vid avslutningen av svetsen. Under perioden kommer insatser att göras för att lösa dessa problem. Utvecklingen av HIP-ning av koppar fortsätter också, med syftet att ur högrent kopparpulver framställa ett koppargods med samma mekaniska och korrosionsegenskaper som konventionellt framställd koppar.

Efter inkapsling måste kapselns integritet verifieras. Detta gäller i första hand fogområdet. Undersökningarna i KBS-3 visade att oförstörande provning med ultraljud skulle kunna vara en framkomlig väg /2-27, 2-45/, men att ytterligare utvecklingsarbete kommer att vara nödvändigt för att nå en helt tillfredsställande nivå på kvalitetskontrollen. Under perioden inriktas insatserna på en utvärdering av vilka krav som kan ställas på dels kontrollmetodik, dels på kontroll av processparametrarna vid tillverkningen, för att säkerställa tillräckligt låg nivå på eventuella defekter i kapselfogen. Om ytterligare utvecklingsarbete på oförstörande provning krävs, kommer huvuddelen av insatserna att ske under den nästföljande treårsperioden.

Kolstål

En relativt god databas för allmän korrosion av stål under förvarförhållanden finns tillgänglig, se t ex /2-38 - 2-40/. Undersökningarna av allmän korrosion fortsätter dessutom i Schweiz. Osäkerheter råder emellertid angående lokal korrosion (gropfrätning, spänningskorrosion). De svenska insatserna sker i samarbete med Storbritannien och Schweiz, där speciellt spänningskorrosion studeras i Schweiz, medan modellutveckling för allmätkorrosion och gropfrätning görs i Storbritannien /2-40 - 2-42/. Det svenska forskningsprogrammet kommer att lägga tonvikten på studier av gropfrätning under realistiska förvarförhållanden. Dessutom kompletteras dessa undersökningar med specifika studier av inverkan av vätgasproduktion på korrosionshastighet under reducerande förhållanden /2-43/.

Titan

Tidigare svenska undersökningar visar, tillsammans med kanadensiska studier, att en kapsel av titan kommer att ha en mycket lång livstid, baserat på enbart allmätkorrosion /2-28, 2-29, 2-32/. Kapselns livslängd kommer med största sannolikhet att bestämmas av lokal korrosion. Kanada har ett stort program för studier av dessa lokala korrosionsfenomen, såväl i som utanför strålningsfält. De svenska insatserna kan mot denna bakgrund koncentreras på specifika områden, där de kompletterar de mer omfattande kanadensiska studierna. Som mest angeläget bedöms undersökningar av mekanismerna bakom väteförspredning av titan och Ti-12.

Keramer

Inom det kanadensiska programmet bedrivs forskning på keramiska kapselmaterial, som alternativ för långtidsinneslutning av det högaktiva avfallet /2-36/. Utöver dessa studier pågår undersökningar i huvudsak enbart i Sverige, se t ex /2-44/, och Schweiz /2-37/. Resultaten från främst Kanada bekräftar de slutsatser som dragits av det svenska KBS-arbetet, nämligen att många keramiska material har utomordentligt god kemisk stabilitet i grundvatten. Fortfarande kvarstår emellertid osäkerheterna kring fördröjt brott, som skulle kunna drastiskt förkorta livslängden av en keramkapsel i grundvatten /2-31, 2-37/. Detta problem bedöms som mest angeläget att studera. Resultaten från dessa studier avgör, om ytterligare undersökningar av tillverkningsteknologi och inkapslingsteknik skall genomföras.

2.5 Buffert och återfyllning

2.5.1 Bakgrund

Buffert i deponeringshål och återfyllning i bergutrymmen, tunnlar och schakt utgör exempel på tekniska barriärer i slutförvarssystemet. Dessa barriärers främsta funktion är att hindra eller begränsa grundvattenströmning och att skapa en kemisk och mekanisk skyddszon runt kapslarna.

Tätningåtgärder kan vidtas i bergutrymmen genom tätpluggar, eller i omslutande berg genom tätinjekteringar.

Barriärerna utförs så att en lämplig samverkan erhålles mellan berg och kapslar i ett slutförvarssystem. Utformningen styrs bl a av förvarets temperaturförhållanden, se avsnitt 2.2.

2.5.2 Mål för FoU-verksamheten

Målet är att vid mitten av 1990-talet välja buffert- och återfyllningsmaterial med redovisning av deras egenskaper av betydelse för slutförvarets funktion.

Alternativa deponeringsmetoder och utformningar av slutförvar prövas, och optimering sker, med beaktande av den valda platsens geologiska förhållanden.

Under den första sexårsperioden presenteras material och beskrivs egenskaperna så att val av deponeringsmetod kan göras baserat på:

- klarlagt sammanhang mellan olika leror, blandmaterial, förvarsmiljö och materialens egenskaper av betydelse för de tekniska barriärerna,
- utvecklad teoretisk modell för beräkning av buffert- och återfyllningsmaterialens mekaniska funktion som stöd och skydd för avfallskapslar,
- utvecklade och provade metoder att täta berg i anslutning till pluggar och deponeringshål.

2.5.3 Nuvarande kunskapsläge

I tidigare KBS-arbeten och senare års studier har intresset varit inriktat mot buffert- och återfyllningsmaterial baserade på svällande sk smektitrika leror. Referensmaterialet har varit bentonit av Wyoming-typ.

I KBS-3 utgörs bufferten av högkompakterad bentonit, som i form av block med lämplig form omger kopparkapseln i deponeringshålet. Förvaringstunnlarna återfylls med bentonit/sandblandning /2-46/. I Stripa har sådana material provats i flera år i buffertmaterialförsöket "BMT" under realistiska bergförhållanden och i halvstor skala, dels med temperaturer upp till ca 80°C under vattenupptagning, dels med ca 125°C under ett år med vattenmättade förhållanden /2-47/. Vidare har högkompakterad bentonit prövats som tätningsmaterial i pluggar i borrhål, schakt och tunnel. Resultaten visar att högkompakterad bentonit är praktiskt användbar och mycket bra för tät utfyllning av begränsade utrymmen i berg med vattenförande sprickor /2-6/. Bentonit/sand, som utgjorde återfyllningsmaterial över deponeringshålen, komprimerades delvis av den svällande högkompakterade bentoniten kring kapslarna enligt förväntan.

Kunskapen om bentonit och de geologiska förhållanden, som rått under lång tid i naturliga bildningar, visar att långtidsbeständighet kan påräknas under vissa förhållanden /2-48/. Kunskapen är emellertid otillräcklig för att klarlägga de teoretiska sambanden mellan å ena sidan mineral, kemisk/fysisk stabilitet, vattensammansättning och temperatur samt å andra sidan de förhållanden i systemet lera/vatten som är av betydelse för barriärfunktionen. Detta gäller speciellt buffertmaterialens reologi för mekanisk samverkan med kapsel och berg.

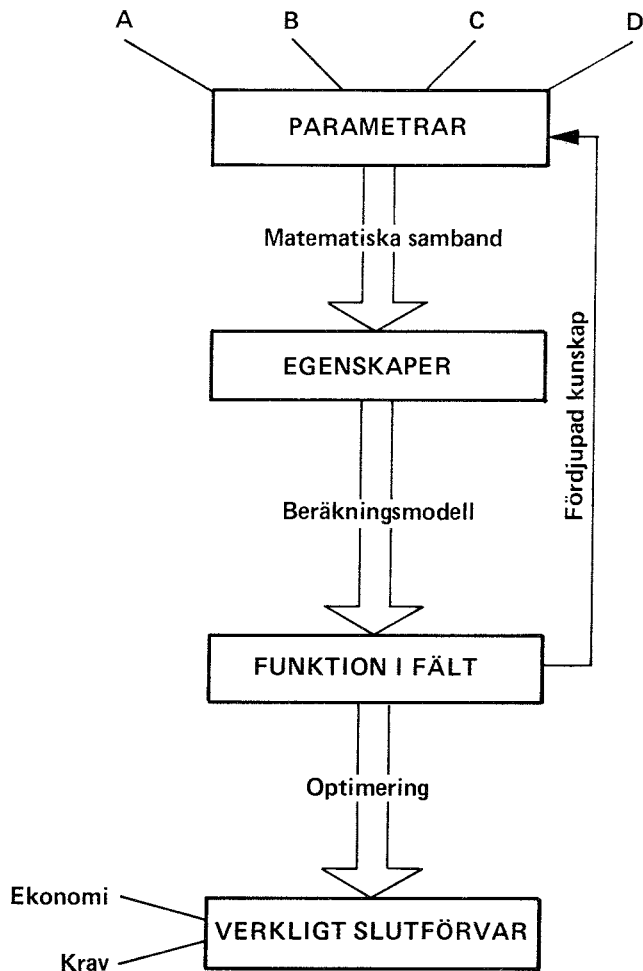
Erfarenheter från Stripa-försöken visar också att metod och utrustning för packning av återfyllningen närmast taket i tunnlar måste utvecklas för att åstadkomma tätare och mindre kompressiv återfyllning.

Erfarenheter från injekteringsarbeten och kunskapen om spricksystem i berg visar att känd teknik och nuvarande utrustning för tätinjektering erbjuder begränsade möjligheter att täta berg. Utvecklingen av injekteringsmetoder och bättre kunskap om långtidsstabiliteten hos injekteringsmaterial kan ge vidare tillämpning av tätningåtgärder, speciellt i anslutning till tätpluggar i berg och kring deponeringshål /2-49/.

2.5.4 Forskningsprogram 1987-1992

Från början av 1987 inleds ett systematiskt arbete för att verifiera och klarlägga de processer, samband och villkor som bestämmer egenskaperna hos olika material. Figur 2-8 visar principen för hur ett material bör undersökas. Genom laboratorieförsök och fördjupad fysikalisk förståelse kan matematiska samband upprättas, som beskriver hur olika parametrar påverkar egenskaperna. Funktionen i fält åskådliggörs av beräkningsmodeller baserade på sådana samband. Facit ges i form av fältförsök med väldefinierade randvillkor.

Denna breda kunskap rörande funktionen hos ett antal olika material, kombinerad med en råvaruinventering, används för att göra en faktasammanställning som underlag för att välja ut ett begränsat antal buffertmaterial, se Figur 2-9. De utvalda materialen ska ha en definierad funktion och vara relaterade till några olika depositionsmetoder.



Figur 2-8. Principiellt schema för undersökning av buffertmaterial.

Efter valet av buffertmaterial fördjupas kunnandet om dessa material ytterligare. Därefter kan en optimering av buffertsammansättning och geometrisk utformning av de lämpligaste depositionsmetoderna göras. Optimeringen görs i samband med in-situ-försök, varefter den slutliga utformningen kan bestämmas.

Som stöd vid inventeringen och valet av olika kandidatmaterial bör en kravspecifikation finnas. Den bör inom vida ramar ange de krav och kriterier som kan ställas upp för materialen med avseende på vissa viktiga egenskaper och funktioner. Dessa kan vara:

- Hydraulisk konduktivitet och diffusivitet.
- Termisk konduktivitet.
- Jondiffusivitet, jonbytesegenskaper.
- Reologiska egenskaper, svällbarhet, svällningstryck.
- Kemisk beständighet (temperatur, pH).
- Fysikalisk beständighet (erosionsbeständighet).
- Tillgänglighet (råvarutyp, mängder, gränser för industriell processning).
- Kostnader.

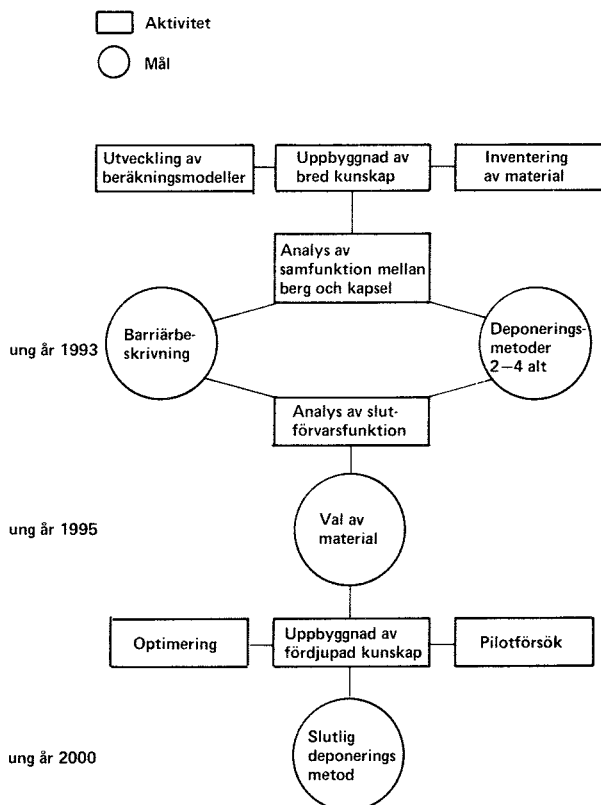
Formuleringen av sådana specifikationer bör genomföras direkt efter årsskiftet 1986/87, så att en kandidatmateriallista om förslagsvis 3-5 alternativ för buffert- respektive återfyllningsmaterial kan upprättas.

I samband med att dessa kriterier formuleras och kandidatmaterialen väljs, upprättas ett undersökningsprogram som avses leda fram till en sammanställning av väsentliga data för olika alternativa buffertmaterial 1993.

Nedan angivna områden ingår i de planerade undersökningarna.

Kunskapsbreddning

- Laboratoriebestämning av hydraulisk konduktivitet, med särskild hänsyn till beroendet av densitet, grad av strukturell och mineralogisk homogenitet, hydraulisk gradient, temperatur och porvattensammansättning. Experimentell bestämning av diffusivitet kopplad till densitet och jonbytesreaktioner. Bestämning i laboratorium och i fält av termisk konduktivitet, med särskild hänsyn till densitet och grad av strukturell och mineralogisk homogenitet och till möjligheten att öka värmeledningsförmågan med kvarts- eller grafitillsats.
- Laboratoriebestämning av reologiska egenskaper, svällbarhet och svällningstryck. Jämför med pågående studier av fransk lera, avsnitt 7.8.
- Experimentella studier av erosionsbeständighet i "molekylär" skala resp i laboratorieskala.



Figur 2-9. Schema för val av buffert och återfyllnads-material.

- Inventering av svenska lermaterial. Provtagning i fält för materialkaraktisering med avseende på mineralogi och granulometri.
- Injekteringsmaterial och deras stabilitetsförhållanden under långa tidsperioder studeras enligt Stripa fas 3-programmet, se avsnitt 7.3.

Modeller

- Utveckling av matematiska modeller och beräkningsmetoder för simulering av olika processer i samband med och efter deponering.
- Teoretiska termodynamiska studier och inventering av geologiska analogier för klarläggande av kemiska stabiliteten.

Inventeringar och alternativstudier

- Flera buffertmaterial och återfyllningsmaterial kommer att provas för att bredda möjligheterna att dels välja lermaterial, dels använda blandmaterial för bättre egenskaper och ekonomi. Allteftersom olika former av kemisk konditionering av närzonen blir aktuella måste buffert- och återfyllningsmaterialens stabilitet verifieras med hänsyn till de specifika betingelserna. Sådana samfunktionsstudier kommer främst att bli aktuella under den senare delen av sexårsperioden och pågå fram till mitten av 1990-talet.

3 GEOVETENSKAP

Den geovetenskapliga forskningen rör dels egenskaper hos den naturliga barriären (berget), dels underlag för platsval.

Väsentliga uppgifter för denna forskning är att:

- identifiera faktorer som kan vara av betydelse för förvarets långsiktiga säkerhet,
- kvantifiera eller gränssätta de faktorer som är relevanta för säkerheten.

I forskningen ingår att utveckla mätmetoder och undersökningsteknik så att:

- grundläggande geodata och förhållanden i olika berggrund kan bestämmas,
- platsspecifika data rörande geologiska och geohydrologiska förhållanden inom områden tänkbara för slutförvaring av använt kärnbränsle kan beskrivas.

För perioden 1987-1992 planeras forskning inom följande områden:

- Bergets grundvattenrörelser.
- Bergets stabilitet i ett långtidsperspektiv.
- Typområdesundersökningar.
- Underjordiskt berglaboratorium.
- Instrumentutveckling.

I del II kap 2 och 4 redovisas vilka faktorer som påverkar valet av system och plats och vilket underlag

som krävs för säkerhetsanalysen. Det geovetenskapliga forskningsprogrammet för de närmaste sex åren har utarbetats utgående från den i del II lämnade redogörelsen. Ifråga om funktionssamband och bakgrund för insatserna hänvisas därför till del II.

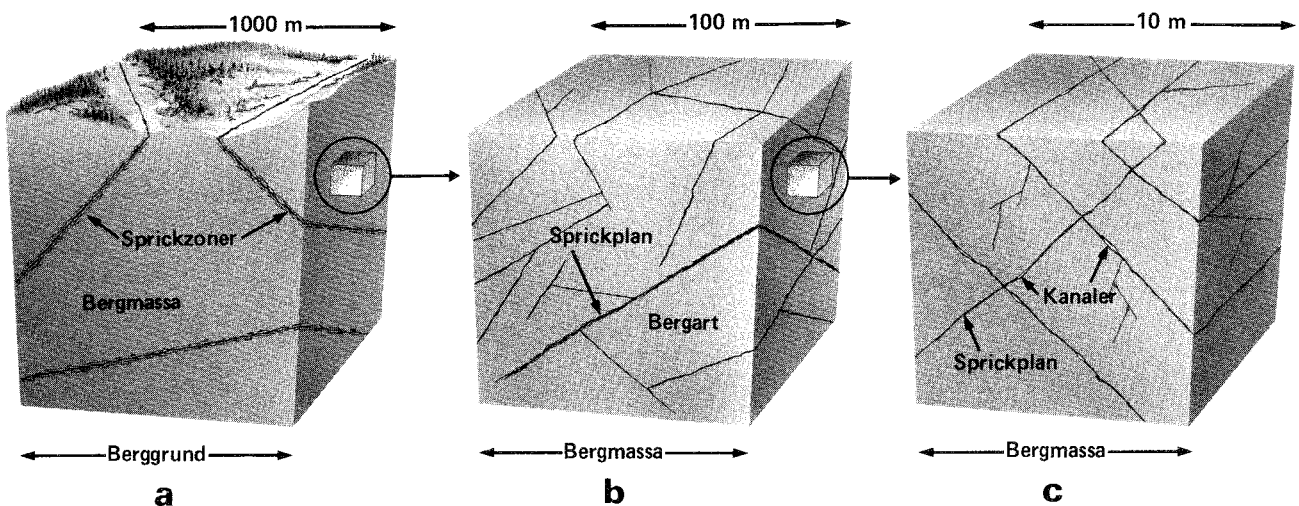
3.1 Bergets grundvattenrörelser

3.1.1 Bakgrund

Grundvattenrörelser i berggrunden är, som framgår av del II, av väsentlig betydelse för säkerheten hos ett slutförvar.

Grundvattenrörelser i berg kan studeras med olika typer av fysikaliska och matematiska modeller. För beskrivning av situationen kring ett förvar under varierande förhållanden är olika matematiska modeller lämpliga att använda.

Den modell som hittills använts för analyser i t ex KBS-3 beskriver berggrunden som ett poröst medium bestående av enheter (volymter) med olika egenskaper [3-1]. För en enhet, t ex bergmassan, anges vissa specifika värden för hydraulisk konduktivitet medan för de andra enheterna (lokala sprickzoner eller regionala sprickzoner) anges andra värden för denna parameter, se Figur 3-1a. Denna modell har varit tillräckligt noggrann för att bilda underlag för den säkerhetsanalys som genomfördes för KBS-3. En högre precision i säkerhetsanalysen kräver större detaljeringsgrad i modellerna.



Figur 3.1.a. Modell över berggrunden i km-skala. Berget indelas i hydrauliska enheter - bergmassa och sprickzoner. Dessa behandlas som porösa medier med olika egenskaper. Flödet varierar jämnt över hela volymen och är större i sprickzonerna än i bergmassan.

Figur 3-1.b. Modell över bergmassan i 100 m-skala. Grundvattnet strömmar i nätverk av sprickor. Flödet antas jämnt fördelat över hela sprickplanet. Enskilda sprickors strömningsegenskaper är statistiskt fördelade.

Figur 3-1.c. Modell över bergmassan i 10 m-skala. Grundvattnet strömmar i nätverk av kanaler genom delar av sprickorna.

Utvecklingen sedan KBS-3 har inriktats på beräkningsmodeller som medger mer ingående analyser av grundvattenrörelser vid olika bergförhållanden. Olika alternativ bearbetas.

Ett alternativ är att beskriva berggrunden med en modell, där transporten sker i ett nätverk av diskreta sprickor, se Figur 3-1.b. Denna modell kräver ökad datainsamling beträffande de vattenförande sprickornas vidd, längd, frekvens och inbördes samband samt sprickytornas ojämnhet. Parametrarnas statistiska fördelningar och variationer i rummet måste bestämmas. Kraven på insamling och tolkning av fältdata samt på datorkapacitet ger begränsningar i storleken på de nätverk som kan genereras och analyseras. Nätverksmodellering kan därför endast tillämpas i lokal skala, i motsats till den porösa modellen som även kan tillämpas i regional skala.

Ett annat alternativ utgår från att grundvattenströmningen är ojämnt fördelad över ett sprickplan och huvudsakligen sker i kanaler. Strömningen antas ske i "endimensionella" kanaler ("rör") hopkopplade till ett nätverk i tre dimensioner, se Figur 3-1.c. Även denna modell kräver noggrann kartläggning av bergsprickornas strömningsegenskaper och är därför endast tillämpbar i begränsad skala.

3.1.2 Mål för FoU-verksamheten

Forskning inom området bergets grundvattenrörelser syftar till att:

- utveckla modeller som beskriver grundvattenströmningen i berg,
- utveckla och prova metoder för lokalisering och karakterisering av sprickzoner och vattenförande sprickor,
- bredda databasen för vattenförande sprickor och sprickzoner med de data som behövs i nämnda modeller,
- pröva olika modellers användbarhet och beräkningsresultatets tillförlitlighet.

Ett mål är att i samband med den platsanknutna systemoptimeringen under 1990-talets andra hälft kunna kvantifiera betydelsen av grundvattenströmningen i sprickzoner i närheten av slutförvaret. Vid detaljundersökningarna av en tilltänkt slutförvaringsplats skall vattenförande sprickor och sprickzoner, som har betydelse för slutförvarets säkerhet, kunna identifieras och karakteriseras.

3.1.3 Nuvarande kunskapsläge

Den datainsamling och modellering som tidigare skett har varit av övergripande natur. Målet har bl a varit att visa att det varit möjligt att hitta bergvolymen av tillräcklig storlek med låg vattenomsättning och som i övrigt har de egenskaper som är väsentliga för anläggande av ett slutligt förvar. Data över geohydrologiska förhållanden har framför allt samlats från borrhål vid typområdesundersökningar. Hydraulisk konduktivitet har mätts med vatteninjektionstester i borrhål på relativt stort avstånd från varandra. Dessa mätningar

visar stor spridning för konduktiviteten för såväl bergmassa som regionala och lokala sprickzoner.

Frågan är om mätsektioner med stor vattenförlust (hög konduktivitet) ingår i ett sammanhängande nätverk av sprickor eller kanaler av betydelse för flöde och nuklidtransport, eller om de utgör lokala, isolerade företeelser av ringa betydelse. Radarmätningar /3-2, 3-3/ och hydrauliska interferenstester /3-4/ kan vara en framkomlig metod för att bättre klarlägga flödesvägarnas geometri i bergmassan och för mer detaljerad lokalisering av regionala och lokala sprickzoner. Det återstår sedan att ta ställning till hur eventuell medelvärdesbildning ska ske och hur enstaka, goda ledare av vatten ska beskrivas i modellen.

I säkerhetsanalysen för KBS-3 antogs att en radionuklid som når fram till en sprickzon på förvarsdjup omedelbart når markytan. Vidare förutsattes ett "respektavstånd" från förvaret fram till närmaste sprickzon på 100 m. Detta begränsar volymen av berg som kan användas till förvarsutrymme. Sprickzonernas egenskaper har vidare stor betydelse för grundvattenströmningen och sannolikt även för radionuklidtransporten.

De parametervärden som används för att beskriva sprickzoner har stor variation. Zonernas mäktighet och vattenförande egenskaper kan variera avsevärt, från att vara i det närmaste täta till att vara kraftigt vattenförande.

Det är angeläget att få fram en ökad datamängd och en förfinad undersökningsmetodik, så att kommande säkerhetsanalyser kan kvantifiera sprickzonernas transportegenskaper. För att pröva och utveckla metoder för lokalisering och karakterisering av sprickzoner samt ta fram data för geologiska, hydrauliska och geokemiska förhållanden i sprickzoner genomförs därför ett "sprickzonsprojekt". Undersökningarna av en sprickzon i Finnsjön påbörjades 1984. Den första delen av projektet är nu avslutad /3-3/.

Under sommaren 1986 har undersökningar även startat av en sprickzon vid Ävrö nära Oskarshamnsverket. Dessförinnan fanns vissa data hämtade från denna sprickzon från ett tidigare utfört borrhål på Ävrö. Undersökningarna inom dessa områden är planerade att bedrivas parallellt, dock med en tidsförskjutning på ca ett år, så att erfarenheter från Finnsjön kan nyttjas för undersökningen vid Ävrö.

Förnyad utvärdering av de redan utförda typområdesundersökningarna samt kompletterande mätningar, bedöms ge gott underlag till ökad kunskap om grundvattnets flödes- och hastighetsfördelning.

Ett speciellt fenomen av intresse, som också undersöks, är naturlig gasvandring genom berggrunden. Möjligheten till nuklidtransport genom berget via gasvandring utreds närmare. Undersökningar pågår vid Finnsjön.

3.1.4 Forskningsprogram 1987-1992

Under den närmaste sexårsperioden kommer forskningen och utvecklingen inom området bergets grundvattenrörelser att fokuseras på följande aktiviteter:

- Geohydrologisk metod- och modellutveckling.

- Sprickzonsundersökningar vid Finnsjön och Ävrö.
- Dokumentation av vattenförekomst i tunnlar.
- Undersökningar av vattenflödesfördelning i enskilda sprickor.
- Geohydrologi vid SFR.
- Geohydrologistudier i Stripa, vid URL och andra internationella samarbetsprojekt.

En betydande del av den mest avancerade utvecklingen sker inom de internationella projekten. Dessa sammanfattas därför först (se även avsnitt 7.3, 7.4 och 7.9). Därefter presenteras övriga aktiviteter.

URL-projektet

AECL (Atomic Energy of Canada Limited) har etablerat ett underjordiskt berglaboratorium i en ostörd granit i Manitoba. Schaktsänkning från den nuvarande 255 m nivån kommer att fortsätta till 450 m nivå.

Det vetenskapliga programmet och resultat har redovisats i ett flertal arbeten bl a /3-5, 3-6/. För närvarande pågår planering av de experiment som skall utföras på 450 m nivån. Dessa avser bl a försök inom bergmekanik, innefattande studier av skadezonen runt tunnlar samt termomekaniska studier. Vidare ingår sorptionsförsök, studier av borrhåls- och schakt-tätning samt försök med buffertmaterial.

Den geohydrologiska beskrivningen av URL har skett med en porös modell, se Figur 3-1.a. Innan schaktsänkningen påbörjades gjordes en prognosberäkning på störningen på grund av schaktsänkningen. Resultaten pekar på att de beräknade tryckförändringarna i schaktets omgivning stämmer mycket väl med de förändringar som har uppmätts /3-7/. Inflödet till schaktet blev dock endast en fjärdedel av vad som beräknades.

Stripa-projektet

Utveckling inom geohydrologi är en viktig del av Stripa-projektet. Forskningen där genomförs i en granit på ca 350 m djup. Studierna har bl a omfattat metoder för radarmätning i borrhål, cykliska vatteninpressningsförsök och olika typer av spårämnesförsök. Omfattande försök har genomförts för att klarlägga hur vattnet rör sig i bergmassan och för modellutveckling, /3-8/.

Projektet kommer att fortsätta i en tredje fas, där en väsentlig insats blir att vidareutveckla, tillämpa och validera den geohydrologiska nätverksmodellen, se Figur 3-1.b. Omfattande studier kommer även att utföras för att öka förståelsen kring kanalströmning.

HYDROCOIN

Numeriska modeller för beräkning av grundvattenströmning kan bli relativt komplicerade. HYDROCOIN är ett internationellt projekt med fjorton deltagande organisationer, vilket syftar till jämförelse av datorprogram. Studierna innefattar bl a verifiering, validering mot experimentella data samt känslighets- och säkerhetsanalyser. Det program som SKB utnyttjat i KBS-3 har vidareutvecklats och visat mycket goda resultat för de tillämpningar som jämförts /3-9/.

Som ingångsdata i modellanalysen utnyttjas bl a data från typområdesundersökningarna. HYDROCOIN planeras vara slutfört 1987. En fortsättning inom ett projekt kallat INTRAVAL diskuteras, se även avsnitt 7.9.

Geohydrologisk metod- och modellutveckling

De metoder och modeller som utvecklas inom de internationella samarbetsprojekten har stor betydelse för SKBs egna aktiviteter. Här kan framförallt nämnas förnyad utvärdering av undersökta typområden samt kartläggning av förhållanden vid det planerade underjordiska berglaboratoriet, se avsnitt 3.3 resp 3.4.

De detaljundersökningar, som planeras starta under 1990-talets början, ställer krav på att de geohydrologiska metoderna och modellerna möjliggör ett rationellt val av lämplig plats för sådana detaljundersökningar. De geohydrologiska egenskaper som är önskvärda fastställs. Den befintliga databasen från typområdena jämförs därefter med det behov av data som bedöms nödvändigt i urvalsprocessen. Därefter sker kompletterande undersökningar.

För det underjordiska berglaboratoriet, se avsnitt 3.4, är det väsentligt att sammanställa erfarenheterna från bl a URL, Stripa och SFR, så att lämpliga metoder och modeller används för den geohydrologiska beskrivningen.

Följande utvecklingsarbete beträffande metoder och modeller planeras:

- Utveckling av förbättrade metoder för hur data skall samlas in och översättas till en tredimensionell modell, som kan analyseras med befintliga beräkningsprogram.
- Utveckling av program för tredimensionell, grafisk presentation av data och beräkningsresultat.
- Undersökning av korrelation mellan radarreflexer och geologiska och geohydrologiska förhållanden.
- Revidering av standardprogrammet för typområdesundersökningar /3-10/.
- Utveckling av testmetodik för enhåls- och mellanhålsmätningar.
- Inverkan av termiska effekter på grundvatten i närzonen kring en kapsel.

Förhållanden kring slutförvar bör i princip beräknas med numeriska modeller där inverkan av spänning, flöde och temperatur beaktas samtidigt (kopplade modeller). Strömningsberäkningar kommer dock inledningsvis att ske med okopplade modeller.

Beräkningar av grundvattenströmning i stora bergpolymer kommer även fortsättningsvis att ske med antagande av poröst medium. Med större datorkapacitet kan dock en ökad heterogenitet tillåtas i modellerna.

I Stripa-projektet utvecklas kopplade spänningsflödesmodeller som utnyttjas för att studera konduktivitetsförändringar i anslutning till en tunnel (skinzonen).

Behov av kopplade termomekaniska beräkningsmodeller förutses föreligga i början av 1990-talet i samband med att underlag för val av system börjar sammanställas.

En ökad satsning på kopplade närzonsstudier kan förutses för perioden 1990-1992.

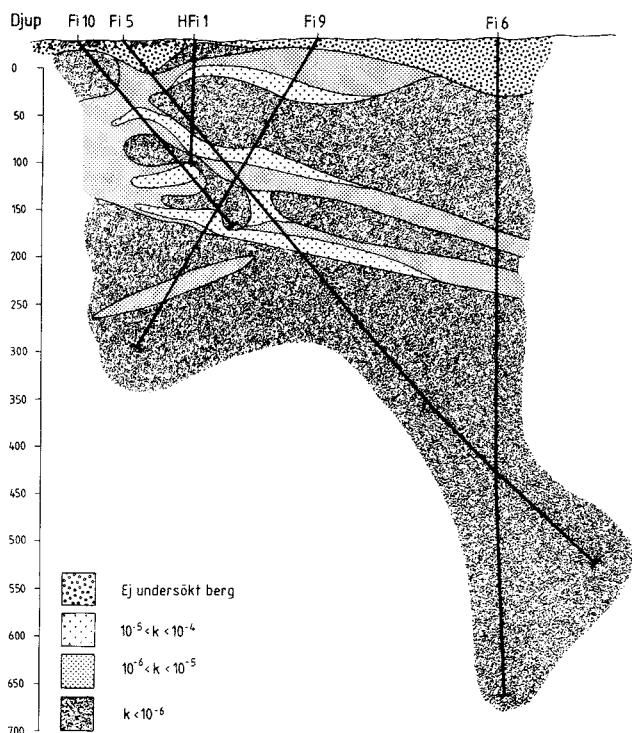
Sprickzonsundersökningar

Undersökningar av sprickzoners flödes- och transportegenskaper fortsätter vid Finnsjön och Ävrö.

Förutom detaljerade studier vid Finnsjön och Ävrö, där undersökningar genomförs från ytan, kommer sprickzoner även att studeras i ett antal tunnlar och berganläggningar.

Sprickzonsstudier vid Finnsjön

Sprickzonen i Finnsjön är flack. Den lutar ca 10 grader från horisontalplanet och är ca 70 m bred uppdelad på flera parallella mindre sprickzoner, se Figur 3-2. Zonen har en stor vattenledande förmåga vilket underlättar studier av transportegenskaper. Zonen har identifierats i borrhål på mellan 100-300 m djup. En intressant iakttagelse är att grundvattnets sammansättning ändras från hög salthalt under zonen till låg salthalt ovanför zonen. Detta tyder på att sprickzonen, åtminstone till en del, utgör en barriär mot nedträngande ytvatten. Den omgivande berggrunden karakteriseras av en hög frekvens vattenledande sprickor som tillsammans bildar ett nätverk av vattenledande strukturer. Sannolikt finns en god hydraulisk kontakt mellan sprickzonen och omgivande berggrund.



Figur 3-2. Hydraulisk konduktivitet vid sprickzonen i Finnsjön. Borrhålen är markerade med hieldragna linjer (Fi 6 osv).

De fortsatta arbetena inriktas så att den ökade kunskapen om den geohydrologiska och geokemiska situationen tillämpas i modeller som beskriver och predikterar zonen transportegenskaper.

Arbetet sker etappvis med successiv anpassning av forskningen med hänsyn till vunna erfarenheter.

Följande etapper förutses:

Inledande modellberäkningar

Genomförda mätningar och undersökningar vid Finnsjön /3-3/, har givit en översiktlig bild av bergets och sprickzonernas geohydrologiska förhållanden. Planerat arbete omfattar översiktliga beräkningar av pumpförsök, icke-sorberande spårämnen transporthastighet samt jämförelse med uppmätta värden. Modellen används även för planering av den detaljerade geohydrologiska datainsamlingen.

Detaljerad geohydrologisk beskrivning

Det naturliga vattenflödet i sprickzoner mäts med en utspädningssond. Ett grovt hammarborrhål utnyttjas som pumphål för mellanhålmätningar. Försöken planeras så att detaljerad information om bergmassans och zonen hydrauliska egenskaper erhålls. Andelen hydrauliskt ledande sprickor utvärderas. Grundvattnetryck inom zonen och mellan zon och bergmassa mäts. Bergspänningsmätningar utförs så att eventuella spänningsanisotropier samtolkas med förekommande anisotropier i de hydrauliska egenskaperna.

Förväntningsmodeller

Modellberäkningarna förfinas på basis av den ökade kunskap som erhålles från den detaljerade geohydrologiska beskrivningen. Försöksmodeller upprättas över transporttider för icke-sorberande och sorberande spårämnen.

Spårämnesförsök

Spårämnesförsök planeras med utgångspunkt från de resultat som modellberäkningarna har visat. Försöken genomförs och provtagning sker.

Utvärdering

Utfallet från försöken jämförs med vad modellerna har predikterat. Den slutliga utvärderingen sker efter det att övriga aktiviteter inom sprickzonsundersökningarna är slutförda. Förutom tolkning av resultat sker en utvärdering av använda metoder för sprickzonsundersökningar. Utvärderingen skall även leda till slutsatser rörande antaganden för säkerhetsanalysen. Följande frågor avses bli belysta:

- Radionuklidernas fördröjning i sprickzoner.
- Undersökningsmetodernas tillförlitlighet.
- Sprickzoners inverkan på de regionala grundvattenrörelserna.
- Nödändigt **respektavstånd** mellan slutförvar och sprickzon.

Sprickzonsstudier vid Ävrö

Sprickzonen vid Ävrö bedöms vara mer än 85 m bred och med en antagen lutning av ca 40 grader. Även denna sprickzon är kraftigt vattenledande. Den troliga utsträckningen av zonen innebär att sprickzonens

egenskaper kan studeras från markytan och ner till ca 1000 m djup. Berggrunden ovanför sprickzonen skiljer sig från den i Finnsjön genom att den sannolikt innehåller få vattenledande sprickor. Sprickzonen utgör därmed en vattenledande struktur som bedöms vara väl avgränsad mot en lågpermeabel omgivning.

Undersökningarna bedrivs så att erfarenheterna från Finnsjön successivt inarbetas i planeringen för arbetena vid Ävrö. I övrigt planeras motsvarande aktiviteter som för Finnsjön.

Dokumentation av vattenförekomst i tunnlar

Data samlas för parametrar som bedöms väsentliga för studier av vattenflödet med hänsyn till förvarsutformning och beräkning av nuklidtransport, bl a kontaktyta mellan vatten och berg, blockstorleksfördelning, sprickfyllnadsmaterialens finandel och mineralsammansättning samt vattenföring.

Studierna omfattar förhållanden både i bergmassa och i sprickzoner. Insamlingen av data planeras ske i ett antal tunnlar. I vissa av dessa utförs radarmätningar, vilket även ger tolkningserfarenheter från radarmätningar i olika geologiska och geohydrologiska miljöer.

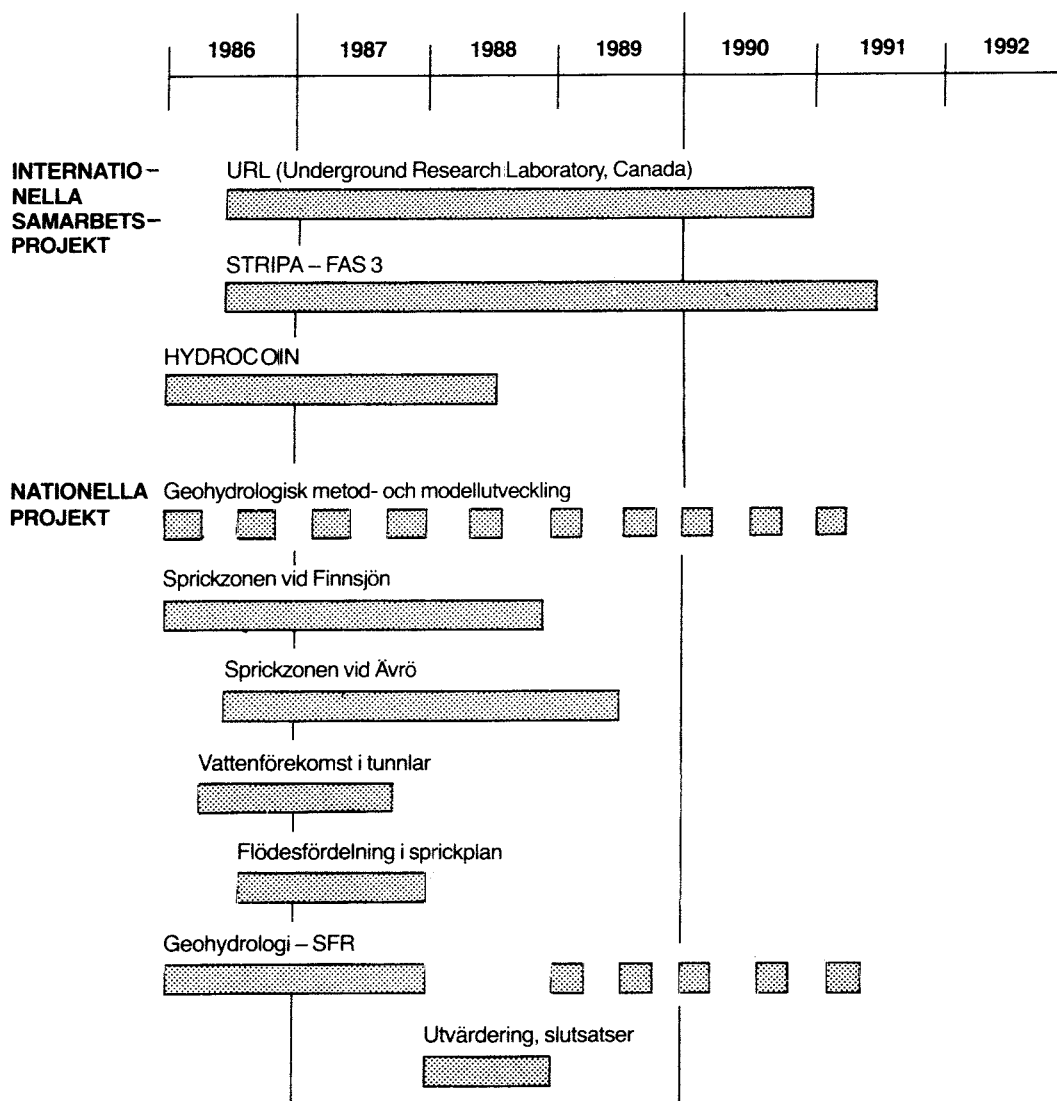
Undersökning av flödesfördelningen i enskilda sprickor

Utvecklingen av radartekniken inom Stripa-projektet har givit positiva resultat och öppnat nya möjligheter i fråga om att beskriva sprickor och sprickzoners läge och egenskaper.

För att belysa hur vattenströmningen fördelas i ett sprickplan planeras försök med radardetektering, då saltvatten injekteras i sprickor. Saltvatten har högre elektrisk ledningsförmåga än normalt grundvatten och därmed andra reflektionsegenskaper för radarsignalen. En jämförelse av sprickans respons före och efter saltvatteninjektering ger därmed en bild av flödesfördelningen i ett sprickplan. Saltvatteninjekteringen genomförs som ett kontrollerat spår försök. Även andra typer av spår försök planeras. Dessa försök kan sammantaget ge information om grundvattnets hastighetsfördelning, sprickvolym och flödesporositet.

Geohydrologi i SFR

Vid projekteringen och byggandet av SFR har ett omfattande mätprogram registrerat de förändringar i



Figur 3-3. Tidplan för undersökningar av bergets grundvattenrörelser.

grundvattenförhållandena som berguttag och läns-hållning medfört. När nu anläggningen är utsprängd en god bild av de förekommande sprickzonerna och hur de samverkar erhållits. De installerade instrumenten kommer delvis att bibehållas och mätningar fortsätter tills vattenomsättningen nått ett fortvarighetstillstånd. Erhållna mätdata kan senare användas för att vidareutveckla de geohydrologiska modellerna. Även grundvattnets geokemiska sammansättning som funktion av tiden kommer att analyseras. Kunskaperna bedöms som värdefulla för planering av detaljundersökningar vid ett slutförvar, samt för planeringen av det underjordiska berglaboratoriet.

Utvärdering, slutsatser

Under 1988 påbörjas en sammanställning för att stämma av kunskapsläget inom området bergets grundvattenrörelser. Motivet är att utarbeta en lämplig valideringsstrategi för det planerade underjordiska berglaboratoriet, se avsnitt 3.4.

Tidplan

Tidplan för aktiviteter inom området bergets grundvattenrörelser framgår av Figur 3-3.

3.2 Bergets stabilitet i ett långtids-perspektiv

3.2.1 Bakgrund

Den seismiska aktiviteten i Sverige är i ett internationellt perspektiv mycket låg och jordskalven har liten magnitud. Klara regionala skillnader föreligger dock i Sverige och dessa kan vara av betydelse när långtidsaspekterna för slutförvaret beaktas.

En fördjupad analys av den inverkan geologiska processer kan få på ett slutförvar är planerad. Häri inbegrips effekter bl a från jordskalv och istider. Väsentliga frågor är om unga rörelser (neotektonism) kan leda till ny sprickbildning och om belastningsförändringar eller bergblocks-rörelser på ett avgörande sätt kan förändra den geohydrologiska situationen runt ett slutförvar.

SKB har redan tidigare redovisat ett stort antal rapporter inom området berggrundens stabilitet.

Geologiska aspekter återfinns bl a i /3-11– 3-15/, seismiska i /3-16 – 3-18/, medan ingenjörsmässiga aspekter främst behandlas i /3-19 – 3-22/. De senare rapporterna har i huvudsak kretsat kring hållfasthetsproblem, medan geohydrologiska faktorer är delvis belysta.

3.2.2 Mål för FoU-verksamheten

Målen är att:

- kvantifiera eller gränssätta de effekter av jordskalv, istider och landhöjningar som är av betydelse för att analysera säkerheten vid ett slutförvar för använt kärnbränsle,
- bearbeta, utvärdera och öka kunskapen om de geodynamiska processerna i Baltiska skölden.

3.2.3 Nuvarande kunskapsläge

Studier kring bergets stabilitet ägnas åt att belysa hur de geodynamiska processerna kan påverka förvarets säkerhet. Ingående säkerhetsanalyser /3-23, 3-24/ som beaktar sannolikhet för ny sprickbildning och dess effekter visar att inverkan är begränsad.

Dessa resultat är sannolikt inte slutgiltiga, utan är beroende av vilka modeller, data och sannolikheter som använts. Själva analysen är dock av värde för att se vilka faktorer rörande berggrundens stabilitet, som behöver studeras i det fortsatta arbetet med hänsyn till säkerhetsfrågorna.

I övrigt kan kunskapsläget kort beskrivas som följer:

Den nordiska landhöjningen anses allmänt representera en ännu inte avslutad återhämtning efter den senaste inlandsisens belastning. Jordskorpan maximala deformation vid nedtyngningen skulle kunna rymmas inom bergarternas elastiska område. Berggrundens blockstruktur medger dessutom spännings-sänkande glidning mellan blocken. I överensstämmelse härmed har KBS-arbetena visat att det finns stora bergvolymmer med låg vattengenomsläpplighet inom berggrundsblocken, trots att de varit utsatta för ett flertal nedslagnings- och avsmältningsförlopp, och oavsett om landhöjningen på platsen varit liten eller stor. Varken den återstående landhöjningen eller en förnyad nedtyngning av en framtida inlandsis väntas därför kunna ge några betydelsefulla ändringar i dessa förhållanden.

Mot detta synsätt står uppfattningen att återhämtningen fullbordades redan för 2000-3000 år sedan. Därefter har den fortgått av andra orsaker. Hela landhöjningsområdet beskrivs som en sammanstörtande uppvälvning (collapsing dome, /3-25/). Området anses kategoriskt olämpligt för ett slutförvar. Därvid förbises att älvfåror kunnat påvisas till ca 100 m under nutida havsnivå i Bottenviken /3-26/, vilket visar att jordskorpan ännu inte återtagit sitt utgångsläge och att ingen uppvälvning föreligger.

Förskjutningar i berggrunden, som inträffat under de senaste 12 000 åren, har studerats under ca tio års tid. Dessa studier har givit väsentligt ökade kunskaper om förskjutningarnas uppträdande. De påträffas företrädesvis eller uteslutande efter större sprickzoner, som funnits redan långt tidigare. Zoner- nas högre ålder markeras bl a av ofta förekommande smala magnetiska zoner, som beror på oxidation. Sprickmineral har påträffats, som anger höga bildningstemperaturer och därmed en ålder över 600 miljoner år.

Det fortsatta arbetet inriktas därför på förskjutningar, som kan misstänkas ha inträffat där det *inte* har funnits äldre sprickzoner, så att man får ett grepp om sådana händelsers frekvens och effekter, i den mån de förekommer.

Arbetet hittills pekar på att unga berggrunds-rörelser i regel inträffat kring tiden för den senaste inlandsisens avsmältning. Sådana har påträffats främst i norra Sverige, där bergblocks-rörelser på upp till 30 m har noterats. Studier av förskjutningarna är viktiga för

bedömningen av dessas ålder och frekvens. Om sambandet med avsmältningen är skenbart, och förskjutningarna i stället är resultatet av de allmänna geodynamiska processerna, skulle de vara betydligt fler än man hittills kunna visa /3-27/. Det är också viktigt att försöka klarlägga om förskjutningarna inträffat i ett fåtal större eller ett flertal mindre steg. I det förra fallet kan de ha åtföljts av mycket stora jordbävningar.

Forskningsresultat baserade på observationer från ett förtätat seismiskt nät i södra Sverige har nyligen publicerats /3-28/. Skalven kan i stor utsträckning visas ha inträffat efter spricklinjer som framträder i markytan.

Internationellt sett är skalven i Sverige få och små. De saknar i sig betydelse för slutförvaringens säkerhet. Studiet av små skalv kan ändå ge värdefull information om den geodynamiska situationen i svensk berggrund både regionalt och lokalt. Skalvens frekvens och magnituddistribution kan växla under förvaringstiden, men deformationsbildningen och den allmänna stabiliteten kan väntas bestå. De bestäms, bortsett från speciella förhållanden såsom istider, av rådande bergstrukturer och av de rörelser som under lång tid verkat i jordens aktiva zoner och stabilare områden. Detta motiverar att en insats görs i norra Sverige, särskilt med tanke på observerade fall av sena berggrörelser. SKB planerar att fortsätta dessa studier i Lansjärv.

Det är även planerat att följa den internationella utvecklingen med avseende på större jordbävningar i nutida nedisade områden och dessas verkan på underjordsanläggningar i högseismiska områden. Erfarenheter från tunnlar, berggrum och gruvor som varit utsatta för jordbävningar, liksom metoder för att beräkna påfrestningar i underjordsanläggningar och för att dimensionera dessa, har tidigare sammanfattats /3-29/. Där visas att berganläggningarna i regel klarar även starka jordbävningar utan nämnvärda skador.

I detta sammanhang bör nämnas hypotesen att granitisk berggrund visar en seismisk diskontinuitetsyta, som i Sverige ligger på djup mellan 0.6 och 1.5 km. Under denna yta förväntas berggrunden ha högre hållfasthet i förhållande till den med djupet ökade belastningen /3-30/. Hypotesen kommer att beaktas närmare i samband med detaljundersökningar för det underjordiska berglaboratoriet, se avsnitt 3.4.

3.2.4 Forskningsprogram 1987–1992

Forskningsprogrammet indelas i två delar – konsekvensanalys och geodynamiska processer.

Konsekvensanalys

Konsekvensanalysen syftar till att:

- sammanställa och utvärdera erfarenheter av jordskalv i redan existerande undermarksanläggningar,
- upprätta modeller över bergmassan och studera den inverkan som erhålls från jordskalv, nedisning, landisens framryckning, återgång och avsmältning samt landhöjning.

Erfarenheter av jordskalv i undermarksanläggningar
Internationella erfarenheter från högseismiska områden sammanställs och utvärderas. Det är av intresse att studera om jordskalven har givit upphov till ny sprickbildning i bergmassan och om de geohydrologiska förhållandena har påverkats.

Modellering av bergmassan

Modelleringen av bergmassan planeras ske i följande etapper:

- Validering av numeriska modeller.
- Bergspänningsmätningar i djupa borrhål.
- Tillämpning av numeriska modeller med varierande komplexitet för generella studier.
- Platsspecifik modellering av geosfären kring ett slutförvar.

Validering av de numeriska modellerna sker genom prövning mot ett väldokumenterat in-situ-försök, det s k CSM-blocket /3-31/. Två beskrivningar ställs mot varandra. I det ena fallet betraktas bergmassan som helt diskontinuerlig, i det andra som ett semikontinuum.

Bergspänningsmätningar utförs i något hål som är 1000 m djupt. Mätning sker dels med hydraulisk uppspräckning, dels med någon överborrningsmetod. De indata som behövs för materialmodellen uppskattas i detta skede med hjälp av tillgängliga klassificeringssystem.

Modelleringen etappindelas så att beräkningsmodellerna successivt förfinas. I några inledande beräkningar sker tillämpning på Lansjärvsområdet. Randvillkoren ges bl a av scenarier som analyseras. De resultat som bedöms vara av väsentlig betydelse är bl a sprickviddens förändring och sprickornas permanenta deformationer samt om förutsättningar för ny sprickbildning föreligger.

Något av de undersökta typområdena utnyttjas för platsspecifik modellering. Den beskrivningsmodell som finns över området omformas till en bergmekanisk modell, med motsvarande utvärdering som för den generella modelleringen.

Resultaten från modelleringen av de olika belastningssituationerna utvärderas med avseende på eventuella geohydrologiska förändringar i bergmassan. Vidare redovisas förutsättningar för ny sprickbildning.

Utvärderingen bör även ge vägledning om med vilken noggrannhet framtida scenarier måste beskrivas.

Geodynamiska processer

De geodynamiska studierna indelas i fem huvudmoment:

- Strukturgeologiska kartor.
- Analys av stora jordskalv i Baltiska skölden.
- Neotektoniska studier vid Lansjärvsförkastningen.

- Detaljerad registrering av den seismiska aktiviteten i sydöstra Sverige.
- Utvärdering.

Strukturgeologiska kartor

I ett första skede utnyttjas Lantmäteriverkets digitala höjddatabas för att skapa en enhetlig, strukturgeologisk karta över Sveriges svaghetszoner. Skalan är 1:2 000 000. Kartan utnyttjas för att avgränsa strukturellt enhetliga områden. Två områden studeras noggrannare i en större skala, nämligen Lansjärvområdet och området kring Simpevarp. Kända jordskalv inordnas i kartan med avseende på epicentrum, djup, skalvmekanism och spänningsfält. Av intresse är att kartlägga svaghetszonernas relativa åldersfördelning. Den tektoniska analysen ska beakta de resultat från de reflektionsseismiska undersökningar som genomförs i Sverige de närmaste åren. Kartan kompletteras med den kunskap om jordskorpan som erhållits inom International Lithosphere Program /3-32/ med den svenska grenen PPPL (Present Processes and Properties in the Lithosphere), /3-33/.

Analys av stora jordskalv i Baltiska skölden

Seismisk registrering av mikroskalv har skett från slutet av 1970-talet /3-28/. Skalven är analyserade med avseende på fokaldjup, skalvmekanism, spänningsfall m m. De stora energiutlösningarna i jordskorpan sker dock i de stora skalven. En kompletterande studie som bygger på analys av stora skalv bedöms ge väsentliga bidrag till kunskapen om deformationsmekanismer i Baltiska skölden och underlätta tolkningen av de detaljerade undersökningarna i Simpevarp och Lansjärv. Stora jordskalv med magnituden $M(L) > 3.5$ utvärderas med moderna metoder, så att informationen från mikroskalvregistreringen kan jämföras med de stora energiutlösningarna i jordskorpan, se Figur 3–4. De parametrar som bedöms vara mest intressanta är fokaldjup, skalvmekanism samt spänningsfall. Resultaten förväntas bidra till förståelse av var och hur spänningsuppbyggnad sker i den Baltiska skölden.

Neotektoniska studier vid Lansjärv

Den seismiska aktiviteten i Sverige är för närvarande låg. Det har dock påvisats att rörelser i berggrunden skett lokalt efter den senaste istiden, /3-13, 3-14/. Neotektoniska rörelser har bl a skett i Lansjärvförkastningen.

Målen för studierna i Lansjärv är att:

- belysa de mekanismer som har orsakat nuvarande språnghöjder,
- klarlägga omfattningen av eventuellt yngre sprickbildning,
- klarlägga omfattningen av eventuella pågående rörelser.

Arbetena runt Lansjärv koordineras med analysen av de stora jordskalven. Studierna beräknas omfatta följande moment:

- Bearbetning och komplettering av geologiskt och geofysiskt material.
- Seismiska registreringar.
- Deformationsmätningar.
- Bergspänningsmätningar.
- Sprickmineralogiska undersökningar.
- Utvärdering.

Bearbetningen av det geologiska och geofysiska materialet styr lokaliseringen av de detaljerade studierna i Lansjärvområdet. Det befintliga materialet kompletteras med bl a reflektionsseismiska undersökningar för att lokalisera eventuella horisontella deformationszoner. Hypotesen att bergkvaliteten blir väsentligt bättre vid ca 1500 m djup prövas.

Seismisk registrering sker med ett permanent stationsnät. Nätet placeras med ett stationsavstånd om ca 50 km och ger därmed en noggrannhet på epicenterbestämningen inom ± 1 km. Det permanenta nätet kompletteras med ett mobilt nät under sommarhalvåret. Det mobila nätet kan registrera svaga, ytliga skalv. Noggrannheten för epicenterbestämningen bedöms vara inom ± 100 m.

Möjligheterna till upprättandet av ett noggrant nät för deformationsmätning kommer att undersökas. Med moderna mätinstrument kan avståndsförändringen bestämmas med en noggrannhet av ca 0.1 mm/km. Kartläggning av långsamma krypningsförlopp kan därmed ske om återkommande mätningar sker.

För att underlätta tolkningen av möjliga skalvmekanismer och för att komplettera spänningsanalysen från fokalplanslösningar utförs bergspänningsmätningar i området.

Sprickmineralogiska analyser syftar till att åldersbestämma rörelser i sprickorna. Härigenom belyses i vilken omfattning bergmassan som omger Lansjärvförkastningen störts.

Utvärderingen av alla undersökningarna kommer att ske på sådant sätt att jämförelse kan ske med förhållanden i sydöstra Sverige, se nedan.

Seismiska registreringar i sydöstra Sverige

Sydöstra Sverige är ett lågseismiskt område. Fortsatta registreringar i sydöstra Sverige planeras med ett tätare stationsnät, vilket möjliggör detektering av mindre skalv än tidigare. Eventuella skalv och skalvmekanismerna i detta lågseismiska område jämförs med registreringarna i Lansjärvområdet.

Protoginzonen

Nuvarande kunskapsläge om Protoginzonen – randzonen till det lågseismiska området i sydöstra Sverige, se Figur 3–4– sammanställs och utvärderas.

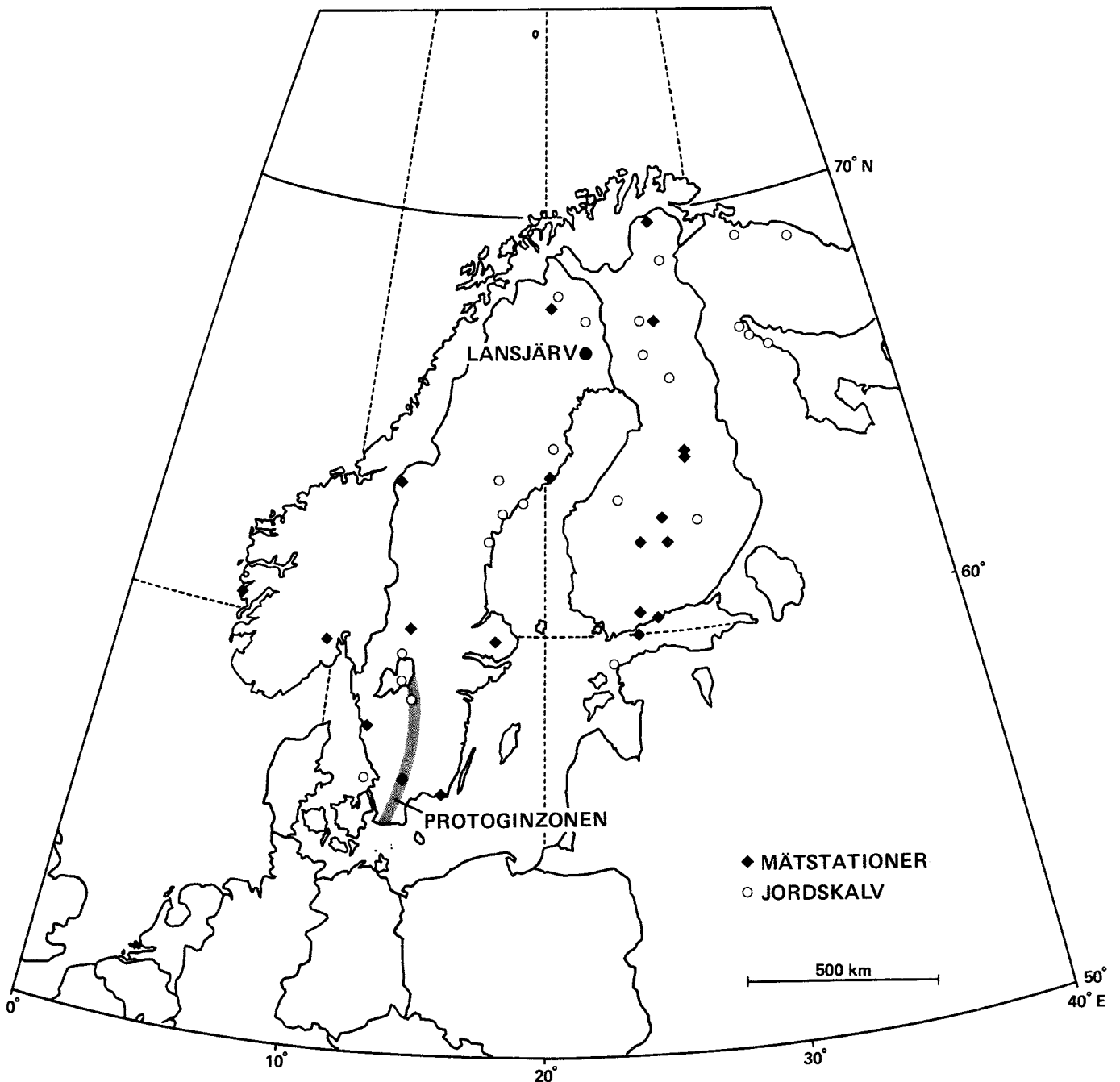
Utvärdering

De skilda objekten inom delområdet geodynamiska processer sammanställs till en seismotektonisk syntes som beaktar befintlig och ny kunskap om mekanismerna i Baltiska skölden. Denna kunskap är av intresse för lokaliseringen av det slutliga förvaret, om det kan visas att sannolikheten för förändringar i bergets geohydrologi och geokemi varierar för alternativa lokaliseringar.

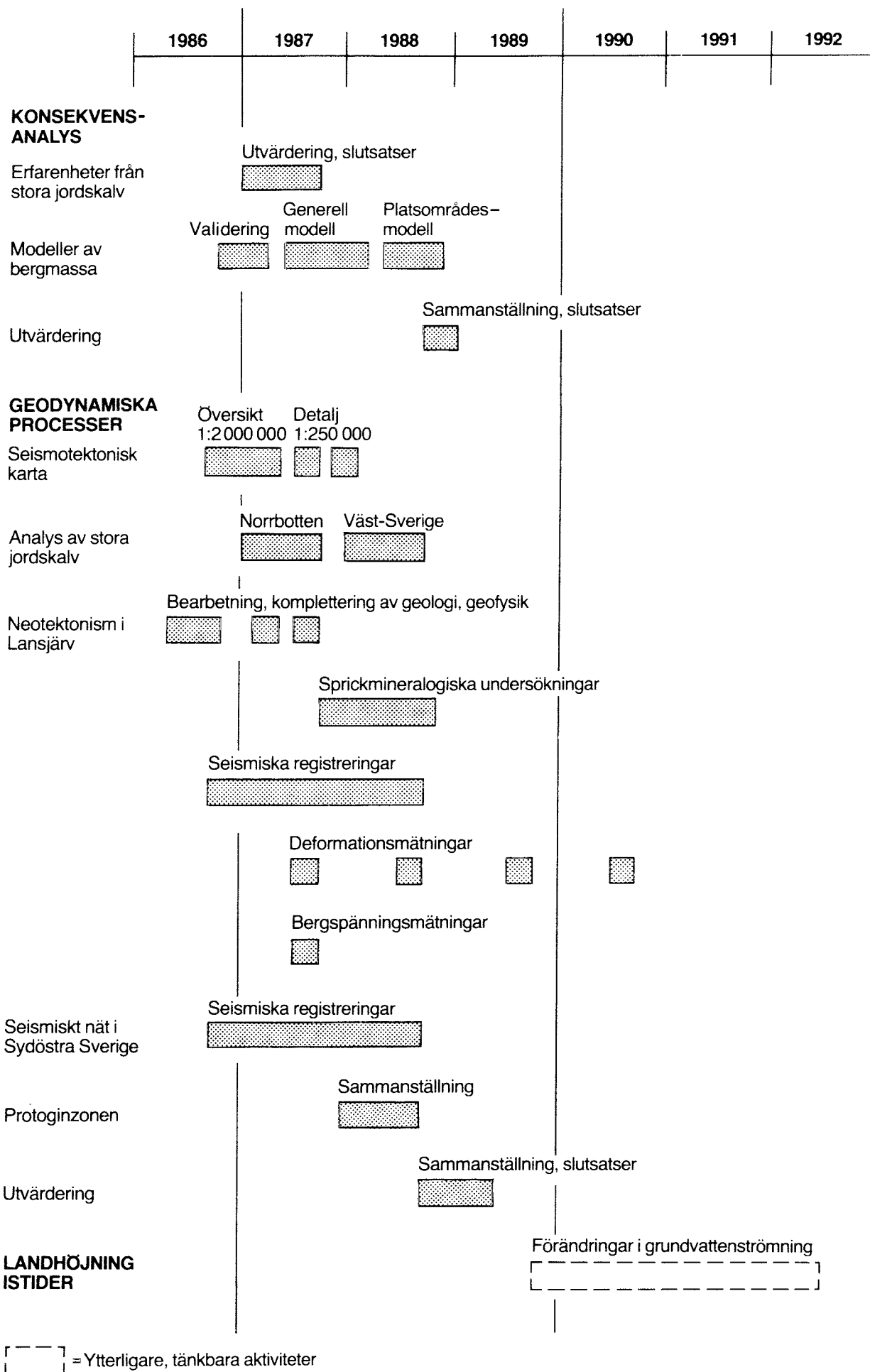
Tidplan

Tidplan för aktiviteter inom området bergets stabilitet framgår av Figur 3-5.

Närmare studier av landhöjning och istider kan bli aktuella senare, beroende på de resultat från konsekvensanalysen som erhålls inom detta projekt.



Figur 3-4. Jordskelv med magnituden $M_L > 3.5$ under perioden 1962-1985. Kartan visar också Protoginzonens läge.



Figur 3-5. Tidplan för undersökningar av bergets stabilitet.

3.3 Typområdesundersökningar

3.3.1 Bakgrund

Typområdesundersökningar genomförs för att dels inhämta kunskaper om geologiska förhållanden i olika bergartstyper (gnejs, granit, gabbro), dels för att utvärdera de geologiska förhållandena inom bergområden som är tänkbara för slutförvaring av använt kärnbränsle.

Geologiska, geofysiska, geohydrologiska och geo-kemiska undersökningar genomförs, såväl från markytan som från borrhål ner till 500-1000 m djup, enligt ett upprättat undersökningsprogram /3-10/.

Detta s k standardprogram omfattar fyra faser, se Figur 3-6.

1. Rekognosering för val av typområden.
2. Undersökningar från markytan.
3. Undersökningar från borrhål.
4. Utvärdering och modellarbeten.

Delar av undersökningsprogrammet förändras eller kompletteras i takt med att nya mät- och utvärderingsmetoder utvecklas. Detta får som konsekvens att den insamlade datamängden för de olika typområdena

TYPOMRÅDESUNDERSÖKNINGAR ENLIGT STANDARDPROGRAM ÄR INDELADE I FYRA FASER.

FAS 1 REKOGNOSERING

- A Kart- och litteraturstudier**
* Bergplintar avgränsade av sprickzoner i område med flack topografi
- B Fältrekognosering**
* Översiktlig geologisk bedömning, ev kompletterad med geofysiska mätningar
- C Rekognoseringsborrning**
* Geologiska, geofysiska och geohydrologiska undersökningar

FAS 2 YTUNDERSÖKNINGAR

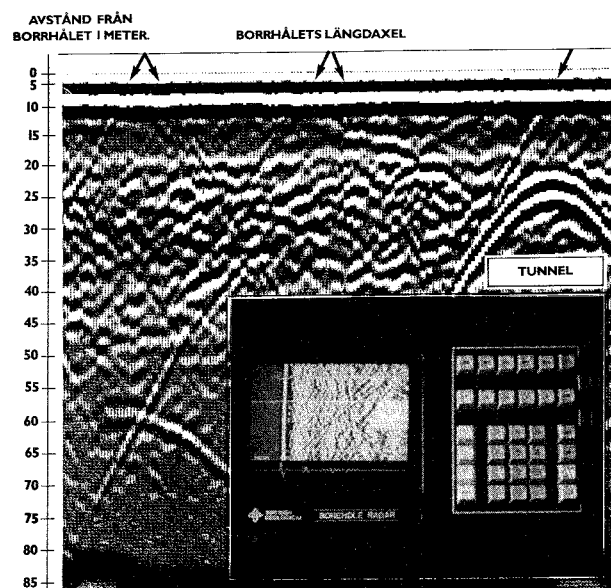
- A Geologisk ytkartering**
- B Geofysiska mätningar**
* Magnetiska, elektromagnetiska, elektriska, gravimetriska och seismiska metoder
- C Utvärdering**

FAS 3 DJUPUNDERSÖKNINGAR

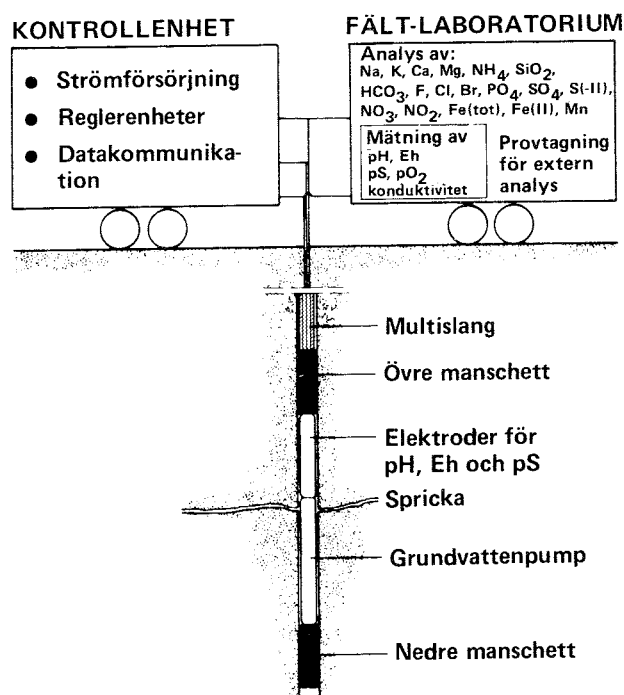
- A Hammarborrning**
* fastställande av sprickzoner
* registrering av grundvattenytor
- B Kärnborrning av djupa borrhål**
* kärnkartering
* geofysisk loggning med elektriska, radiometriska, magnetiska och akustiska metoder
* hydrauliska undersökningar för beräkning av hydraulisk konduktivitet och grundvattentryck
* hydrokemiska undersökningar för analys av vattnets kemiska/fysikaliska sammansättning

FAS 4 UTVÄRDERING

- A Beskrivande modeller**
* geologi, geohydrologi och geokemi
- B Numeriska modeller**
* vattentransport och nuklidtransport



Borrhålsradar. Pilarna markerar sprickor.



Vattenkemiskt fältlaboratorium

Figur 3-6. Standardprogram för typområdesundersökningar illustrerat med exempel på undersökningsmetoder.

har varierande omfattning, vilket medför att kompletterande undersökningar kan vara motiverade.

3.3.2 Mål för typområdesundersökningarna

Syftet med typområdesundersökningarna är att bredda och fördjupa kunskaperna om berggrunden på olika platser i Sverige, där sådana geologiska förhållanden föreligger, som medger anläggning av ett slutförvar för använt bränsle och övrigt långlivat avfall. Målet är att till 1992 ha erforderligt underlag för att välja två områden i landet, där detaljerade undersökningar kan genomföras.

3.3.3 Nuvarande kunskapsläge

De undersökningar av den svenska berggrunden, som genomförts 1976 – 1986, har inletts med rekognoseringsrapporter.

Standardprogrammets rekognoseringsfas är indelad i deletapper. Den inledande inventeringen, som i huvudsak omfattar genomgång av befintligt material såsom satellit- och flygbilder, geologiska och geofysiska kartor samt andra geovetenskapliga utredningar, har gjorts vid flera tillfällen. Ibland har syftet varit att välja ut områden inom vissa landsdelar medan i andra fall områden med speciella bergartstyper eftersökts. Sammanlagt har ca 900 platser berörts i denna etapp.

Rekognoseringsfasen har därefter fortsatt med ingående studier av några av dessa områden. Där har i varierande grad även översiktliga geologiska och geofysiska markmätningar utförts.

Sådana geologiska undersökningar av varierande omfattning har genomförts på 14 områden, se Figur 3-7. I de flesta fall har ett djupt rekognoseringshål borrats. I huvudsak är bergarten på dessa områden granit eller gnejs, medan gabbro förekommer på ett par områden.

Omfattande undersökningar har genomförts på åtta av dessa områden, se typområdena, samtliga med bergarterna granit eller gnejs. Dessa undersökningar motsvarar faserna 2–4 i standardprogrammet.

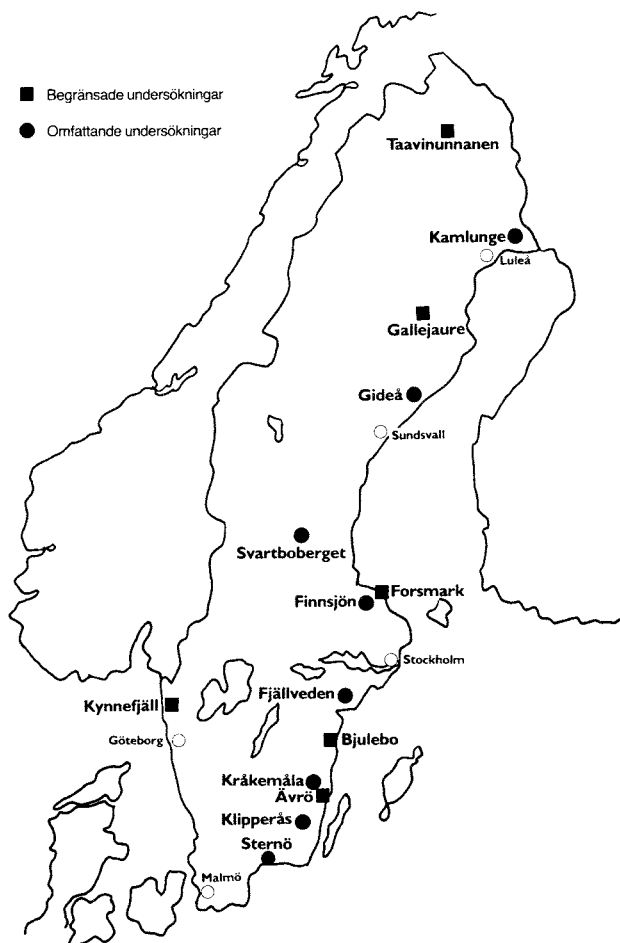
På varje område har borrats mellan 3 och 16 kärnborrhål ner till mellan 500 och 960 m djup. Samtliga borrhål har detaljkarterats och i borrhålen har omfattande geofysiska, geohydrologiska och grundvattenkemiska undersökningar gjorts. Detta innebär att en avsevärd mängd data avseende berget och grundvattnet har insamlats på varje område. Dessa data har använts vid de analyser som genomförts beträffande säkerheten kring ett tänkt slutförvar inom området. Analyserna omfattar bl a beskrivning av grundvattenflöden (riktning och hastighet) och transportvägar för radionuklider. De flesta områdena undersöktes och utvärderades i samband med KBS-1 och KBS-3 /3-34, 3-1/. Efter KBS-3 har ytterligare undersökningar genomförts. Dessa har framförallt skett i Klipperås-området /3-35 - 3-38/.

Typområdesundersökningarna har visat att det är möjligt att lokalisera många områden i Sverige som är lämpliga med avseende på de geologiska förutsättningarna för anläggning av ett slutförvar. Antalet områden anses därför för närvarande vara tillräckligt många. Kompletterande undersökningar på dessa

typområden har påbörjats /3-39/ och kommer att fortsätta under resten av 1980-talet.

Bland basiska bergarter, vilka har annan mineralogisk sammansättning än gnejs/granit, har gabbro och närstående bergarter väckt ett visst intresse för studium. De utgör dock en relativt begränsad andel av den svenska berggrunden. Beträffande ultramafiska bergarter visade en inledande inventering att förekomsterna i Sverige är för små för att motivera vidare arbeten.

Vad det gäller gabbro som förvarsbergart har studier avseende förekomst och egenskaper genomförts. Inventeringar och begränsade undersökningar har genomförts på några platser. Rekognoseringshål har borrats vid Gallejaure, där någon gabbro ej påträffades, samt vid Taavinunnanen, där geologiska, geofysiska, geohydrologiska och geokemiska undersökningar genomförts i ett 700 m djupt borrhål /3-40, 3-41/. Gabbro vid Taavinunnanen är en väl avgränsad, ca 40 km², stor kropp med minst 700 m djupgående. Den hydrauliska konduktiviteten i borrhålets övre del är lägre än de genomsnittliga värdena från undersökta gnejs- och granitområden. Nedanför ca 500 m djup ger utvärderingen resultat som motsvarar de från gnejs och granit. Borrning på en tredje plats, Kolsjön i Uppland, har avbrutits på grund av protester.



Figur 3-7. Områden där SKB utfört geologiska undersökningar av varierande omfattning.

Utanför Sverige har Atomic Energy of Canada Ltd, AECL, låtit genomföra undersökningar av gabbroförekomsten East Bull Lake. Omfattande undersökningar, såväl från markytan som från ett flertal borrhål, har genomförts /3-42/.

Nuvarande kunskaper om gabbrons egenskaper kan sammanfattas enligt följande:

- *Hydraulisk konduktivitet*: Vedertagen uppfattning om låg vattenomsättning i gabbro och liknande basiter bekräftas för ringa djup av gjorda undersökningar. För djup >500 m är dock, med nuvarande mätnoggrannhet, vattenomsättningen liknande den för gnejs och granit.
- *Flödesporositet och diffusionsegenskaper*: Dataunderlaget är hittills alltför begränsat för slutsatser.
- *Bergarts kemi och mineralsammansättning*: Rikedom på mörka mineral samt lågt kvartsinnehåll underlättar vittring. Hög reduktionskapacitet och stark ytsorption av radionuklider kan förväntas.
- *Sprickmineral*: Gabbron verkar omvandlad, tätad och sprickmineralförande i högre grad än granit och gnejs.
- *Hållfasthet*: Något högre än för gnejs/granit.
- *Värmeledningsförmåga*: Lägre än för gnejs/granit, vilket kräver större förvarsvolymer.
- *Förekomst*: Begränsad andel av Sveriges berggrund.
- *Bergartskropparnas storlek*: Endast de större når storlekar eller djup som är tillräckliga för ett förvar.
- *Bergartskropparnas homogenitet*: Uppvisar ofta inre uppdelning i skikt av starkt växlande sammansättning. Yngre bergarter skär ofta igenom gabbrokropparna. Dessa gånger har större hydraulisk konduktivitet än gabbron.
- *Malmförekomst*: Malmer kan förekomma i anslutning till gabbro.

3.3.4 Forskningsprogram 1987–1992

Typområdesundersökningarna kommer under perioden 1987–1992 huvudsakligen att avse följande insatser:

- Kompletterande utvärderingar och undersökningar på några av de tidigare undersökta typområdena för att ytterligare fördjupa kunskapen.
- Slutförande av rekognosering av områden tänkbara för anläggning av slutförvar.
- Om det behövs, genomförs undersökningar på ytterligare något eller några områden med gnejs/granit under perioden 1990–1992.
- Utvärdering av rekognoseringsunderlag och undersökta områden samt beslut om detaljundersökningar på ett par platser.

I Finland har ett platsundersökningsprogram påbörjats, som till stora delar liknar det svenska standardprogrammet. De egentliga platsundersökningarna beräknas börja 1987. Då Finlands berggrund

dessutom är snarlik den svenska berggrunden är det angeläget att noggrant följa dessa undersökningar /3-43/.

Kompletterande utvärderingar och undersökningar

Efter det att typområdesundersökningarna genomfördes i samband med KBS-arbetena, har mät- och undersökningstekniken utvecklats i flera avseenden. Det är därför angeläget att det befintliga dataunderlaget kompletteras med ytterligare utvärderingar och mätningar.

Arbetet med kompletteringarna inleds med utvärdering av befintligt material. Denna resulterar i en preliminär plan för vilka kompletterande utvärderingar och undersökningar som ska genomföras. SKB bygger för närvarande upp en databas där alla data från typområdesundersökningarna och andra forskningsresultat samlas. Härigenom underlättas möjligheten till förnyad genomgång och eventuell omtolkning av tidigare undersökningar avsevärt.

I huvudsak avses de kompletterande undersökningarna bli koncentrerade till ett par områden så att en fördjupad förståelse erhålles. Exempel på mätningar och metoder som kan bli aktuella vid kompletteringarna är:

- Tillämpning av alternativa metoder för dataanalys.
- Utökad tektonisk analys och kompletterande sprickkarteringar.
- Undersökningar med alternativa geofysiska borrhålsmetoder, t ex radar och tube-wave.
- Reflektionsseismik för att detektera horisontella strukturer.
- Bergspänningsmätningar.
- Interferenstester
- Hydrauliskt aktiva sprickor; detaljundersökningar i borrhål ger underlag för transportmodeller.
- Kompletterande borrhål; eventuellt djupa grova hammarborrhål vars placering främst bestäms för genomförande av interferenstester i stor skala på stort djup med befintliga borrhål för tryckregistrering. Vid behov av kompletterande geokemiska undersökningar tas vattenprover vid stegvisa avbrott under borrhållningen.
- Kompletterande undersökningar avseende grundvattenkemi/geokemi.
- Analys av gasbildning i grundvattnet.
- Avskärmning av hydrauliska enheter i borrhål med manschetter.
- Modellering vari bl a inbegrips korrelationsstudier mellan tektoniska, bergmekaniska, geohydrologiska begreppsmodeller samt kompletterande beräkningar.

Kompletteringarna genomförs under åren 1987–1992. Undersökningarna varvas med perioder av utvärdering och uppdatering av undersökningsplanen.

Undersökningar av gabbro

Mot bakgrund av den samlade kunskap som inhämtats avseende förvaring i bergformationer, anses fortsatta studier av gabbro ej vara angelägna. Ett skäl för denna uppfattning är att det torde vara förhållandevis svårt att finna tillräckligt stora och homogena formationer av den i Sverige relativt ovanliga bergarten gabbro.

Det har tidigare visats att en säker slutförvaring är möjlig på flera platser med gnejs/granit. De fortsatta studierna bör därför koncentreras på dessa bergarter.

Om det trots allt skulle anses angeläget med fördjupade undersökningar av gabbro måste dessa inledas snarast för att resultaten ska kunna beaktas vid den samlade utvärderingen i början av 1990-talet.

Undersökningar i gnejs/granit

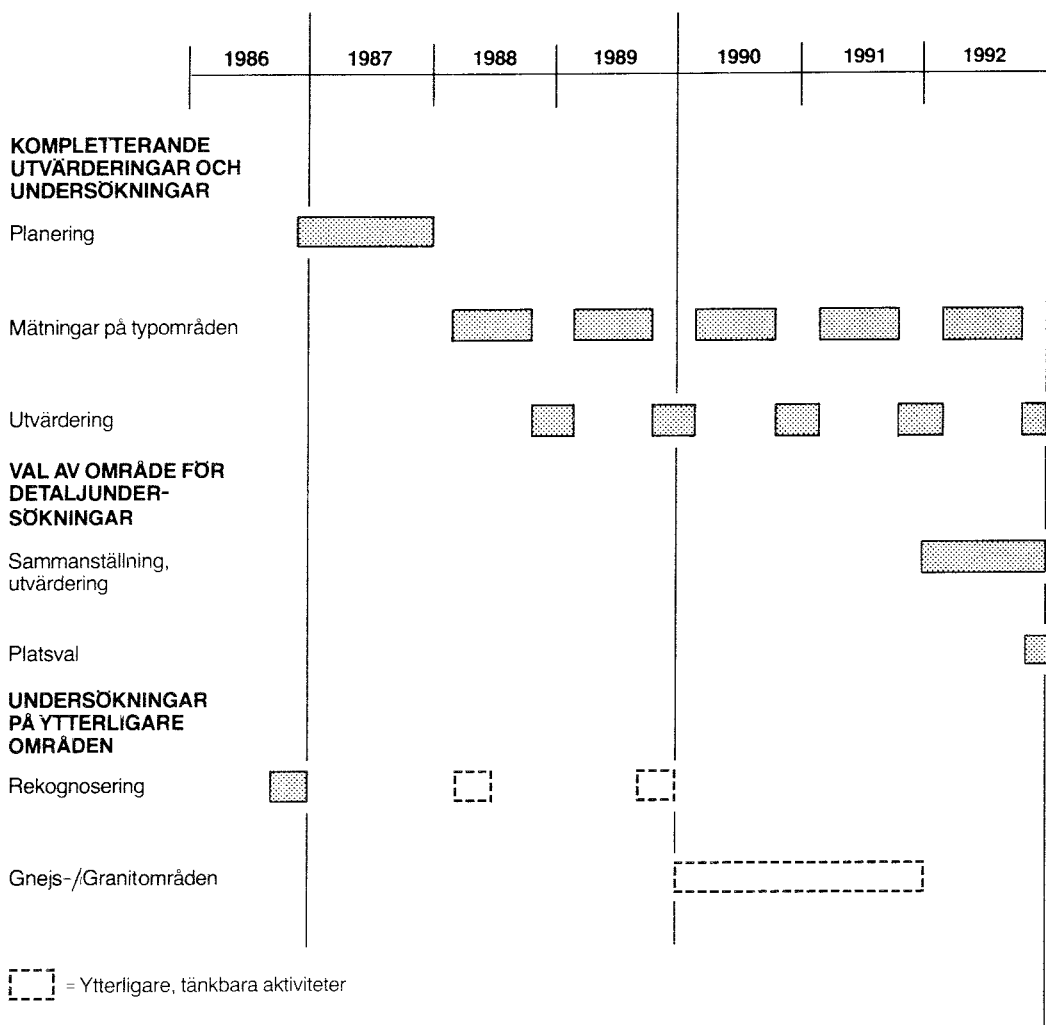
Några ytterligare undersökningar av gnejs eller granit på nya typområden planeras ej under de närmaste tre åren. Däremot avslutas pågående rekognosering. Eventuellt kan det därefter bli aktuellt att undersöka ytterligare något eller några områden i bergarterna gnejs eller granit, innan beslut fattas om detaljundersökningar. Kustnära platser i sydöstra Sverige är därvid av speciellt intresse, se avsnitt 4.3 i del II.

Val av områden för detaljundersökningar

Mot bakgrund av rekognoseringar, undersökningar i typområden och kompletteringar görs i början av 1990-talet en övergripande utvärdering av de geovetenskapliga förutsättningarna på olika platser. Denna utvärdering blir ett underlag för val av två områden för de detaljundersökningar som planeras bli genomförda under perioden 1993–1998. Om de geologiska förhållandena är lämpliga kan platsen för det underjordiska berglaboratoriet vara ett av de områden som väljs för detaljundersökningar. De generella, fördjupade kunskaper som erhålles från det planerade berglaboratoriet bedöms ha högt värde när de geovetenskapliga faktorerna på olika platser utvärderas. Till detta läggs andra faktorer än de geovetenskapliga, så att ett komplett underlag föreligger till beslut om var de detaljerade undersökningarna ska göras, se även del II.

Tidplan

Aktiviteter inom området typområdesundersökningar framgår av Figur 3-8.



Figur 3-8. Tidplan för typområdesundersökningar.

3.4 Underjordiskt berglaboratorium

3.4.1 Bakgrund

Den geologiska och geohydrologiska databas som erhållits från de tidigare typområdesundersökningarna är i huvudsak grundad på geofysiska flyg- och markmätningar samt på borrhålmätningar.

Undersökningarnas huvudsakliga inriktning har varit att lokalisera tillräckligt stora bergvolymmer med lämplig kvalitet.

Datansamling från de olika områdena har skett med hög ambitionsnivå. Datorbaserade beräkningar har därefter genomförts i olika faser för att utmynna i en slutlig säkerhetsbedömning.

Metoder och resultat finns noggrant beskrivna i KBS-3-redovisningen med underlagsrapporter. Ett antal parametrar har inte varit möjliga att kvantifiera definitivt. Genom att säkerhetsanalysen konsekvent beräknades med ogynnsamma antaganden och genom att osäkra faktorer som verkar i gynnsam riktning inte medtogs, bedöms ett betydande utrymme finnas för optimering av det slutliga förvarssystemet.

I och med att verksamheten vid Stripa slutförs under början av 1990-talet, har det bedömts vara av mycket hög prioritet att bygga ett underjordiskt berglaboratorium, där en breddning av underlag kan genomföras på en fortsatt hög, vetenskaplig nivå.

Berglaboratoriet bör placeras i en miljö som är geologiskt/geohydrologiskt opåverkad av tidigare aktiviteter. Detta öppnar möjligheten till många vetenskapliga experiment av vitalt intresse för en säkerhetsanalys med god precision.

Det underjordiska berglaboratoriet planeras även för andra ändamål än för rent geovetenskapliga studier. Inför en lokaliseringsansökan kan integrerade försök, pilotanläggningar och in-situ-försök bli nödvändiga under 1990-talets senare hälft. Sådana experiment förläggs med fördel till berglaboratoriet. De analyser av systemens komponenter - kapsel, buffertmaterial, berget m m - som pågår, utgör ett faktaunderlag för optimering av det slutliga förvarssystemet. Utvecklingen av förvarssystemet kan kräva insatser för teknikutveckling och teknikanpassning. Metoder för anläggning och byggande av ett slutförvar kan provas och demonstreras i ett underjordiskt berglaboratorium.

Med hänsyn till befintlig service och övrig infrastruktur m m föreslås att placering vid Simpevarp undersöks i första hand. Tidigare anläggningsarbeten i samband med uppförandet av kärnkraftverket i Oskarshamn och CLAB visar, tillsammans med den allmänna regionala och geologiska kunskapen, att Simpevarps-området är intressant för närmare undersökningar.

I den långsiktiga planen har det bedömts att det är nödvändigt att starta detaljerade geologiska undersökningar på några områden i början av 1990-talet. Den förundersökning som sker i samband med inrättandet av ett underjordiskt berglaboratorium, ger goda möjligheter till att utveckla och pröva metoder för fortsatta detaljundersökningar.

3.4.2 Mål för det underjordiska berglaboratoriet

Målen för det underjordiska berglaboratoriet är att:

- visa att de faktorer som styr säkerheten för ett slutligt förvar förstås och är möjliga att kvantifiera eller gränssätta,
- validera modeller och antaganden som ingår i säkerhetsanalysen.

De huvudsakliga aktiviteterna 1987-2010 bedöms vara:

- Detaljerad undersökning av den naturliga barriären (berget) i berggrund av slutförvarskaraktär. Häri inbegrips utveckling av metodik, insamling av data och validering av modeller för grundvattenrörelser och radionuklidtransport.
- Pilotförsök in-situ för analys av funktion och samverkan mellan förvarets tekniska och naturliga barriärer.
- Utveckling av ändamålsenliga metoder för utförande och kvalitetssäkring av ett förvar.
- Demonstration av system, teknik och kvalitetssäkring.

För den närmaste perioden, 1987-1992, bedöms följande mål vara mest angelägna:

- Upprätta det geovetenskapliga underlag som behövs för att bedöma om det är möjligt att lokalisera ett underjordiskt berglaboratorium kring Simpevarp och behovet av detaljerade undersökningar för validering.
- Upprätta det underlag som erfordras för berglaboratoriets preliminära anläggningslayout.
- Upprätta program för schaktsänkning/tunneldrivning och mätningar samt utföra delar av anläggningen.
- Upprätta en prognos för de geohydrologiska och geokemiska förändringar som inträffar i samband med att berglaboratoriet byggs samt att jämföra beräknade och mätta värden.
- Upprätta program för de experiment m m som skall utföras under 1990-talet.

3.4.3 Nuvarande kunskapsläge

Forskning och utveckling har genererat nya metoder, instrument och beräkningsverktyg så att berggrunden nu kan definieras och kvantifieras på ett väsentligt noggrannare sätt än vad som tidigare varit möjligt. Utvecklingstakten är fortfarande hög.

Den nya kunskapen, som ofta formuleras i matematiska samband, måste successivt stämmas av mot verkliga förhållanden så att det blir möjligt att avgöra hur pass realistiska de beräknade resultaten är.

Den bergvolym, med given grundvattensituation, som kommer att påverkas av det underjordiska berglaboratoriet bedöms inte vara möjlig att karakterisera

fullständigt med deterministiska metoder. En väsentlig arbetsuppgift blir därför att definiera ur vilka aspekter en validering är möjlig att åstadkomma. En klar formulering av dessa frågor har en väsentlig betydelse för planering och genomförande av forskningsprogrammet vid platsen för berglaboratoriet.

Forskningen inom geovetenskapen med tillämpning på det slutliga förvaret har nu avancerat så pass långt att det i huvudsak kan fastslås:

- De faktorer som är av vital betydelse för förvarets långsiktiga säkerhet är i huvudsak identifierade.
- Instrument som möjliggör noggrann mätning av ett flertal väsentliga parametrar har utvecklats.
- Beräkningsverktyg som kan beskriva komplicerade förlopp är utvecklade.

Det finns därför goda förutsättningar för att en samlad insats kring ett underjordiskt berglaboratorium ska ge väsentliga bidrag i arbetet på en säker slutförvaring av det svenska kärnbränslet.

3.4.4 Forskningsprogram 1987-1992

Den detaljerade undersökningen av området kring Simpevarp indelas i etapper. Innehåll och slutlig inriktning av etapperna bestäms av den information som efterhand erhålls.

Inventering av området

All tillgänglig geologisk och geofysisk dokumentation i en storregional skala utvärderas.

Geofysiska flygmätningar

Flygmätningar för att skapa en regional bild över områdets geologi och tektonik utförs i den omfattning som erfordras.

Förundersökningar enligt modifierat standardprogram

De platser som bedöms vara intressanta för lokalisering av det underjordiska berglaboratoriet kompletteras med detaljerad geologisk kartering och markgeofysik.

Borrning

Utvärdering leder fram till ett borrhprogram för att komplettera den bild av bergmassan som upprättats på grundval av den samlade geologiska och geofysiska informationen.

I samband härmed upprättas ett referensområde som framledes kommer att vara ostört av aktiviteterna kring berglaboratoriet. Referensområdet används så att de naturliga variationerna i grundvattennivåer kan särskiljas från inducerade.

Borrhålmätningar

Borrhålmätningar utförs i huvudsak med de metoder som tidigare använts vid typområdesundersökningarna. Mätningarna kompletteras med radarmätningar, interferenstester samt bergspänningsmätningar för att erhålla en detaljerad bild av bergmassan och dess egenskaper.

Anläggningslayout

Den framtagna modellen av bergmassan bildar underlag för en anläggningslayout. Layouten syftar inte till att utnyttja områdets bästa delar för kommunikationen mellan markyta och berglaboratorium. Målet är istället att använda schaktsänkning eller tunneldrivning som en möjlighet till storskaliga undersökningar i sprickzoner och bergmassa. De ovan beskrivna undersökningarna ska vara så pass detaljerade, att det från dessa är möjligt att identifiera ett antal områden längs schaktet eller tunneln som är lämpliga för fortsatta studier.

Detaljundersökningar

De identifierade områdena undersöks i detalj med avseende på geohydrologi, geokemi och bergmekanik.

Förväntningsmodeller

Tunneln eller schaktet ger upphov till transienta och stationära störningar i grundvattensituationen. Beräkningarna jämförs med uppmätta störningar och bildar därmed ett underlag för prövning av modellernas giltighet i skilda situationer.

Anläggningsarbeten

Bergarbeten planeras så att en kontinuerlig uppföljning av uppställda modeller kan göras. Layouten detaljjusteras allteftersom kunskapen ökar om bergmassan.

De arbeten som sker specifikt vid det underjordiska berglaboratoriet beräknas bli påbörjade först i slutet av den sexårsperiod som behandlas i denna forskningsplan. En detaljplanering av dessa arbeten görs i ett senare skede.

Tidplan

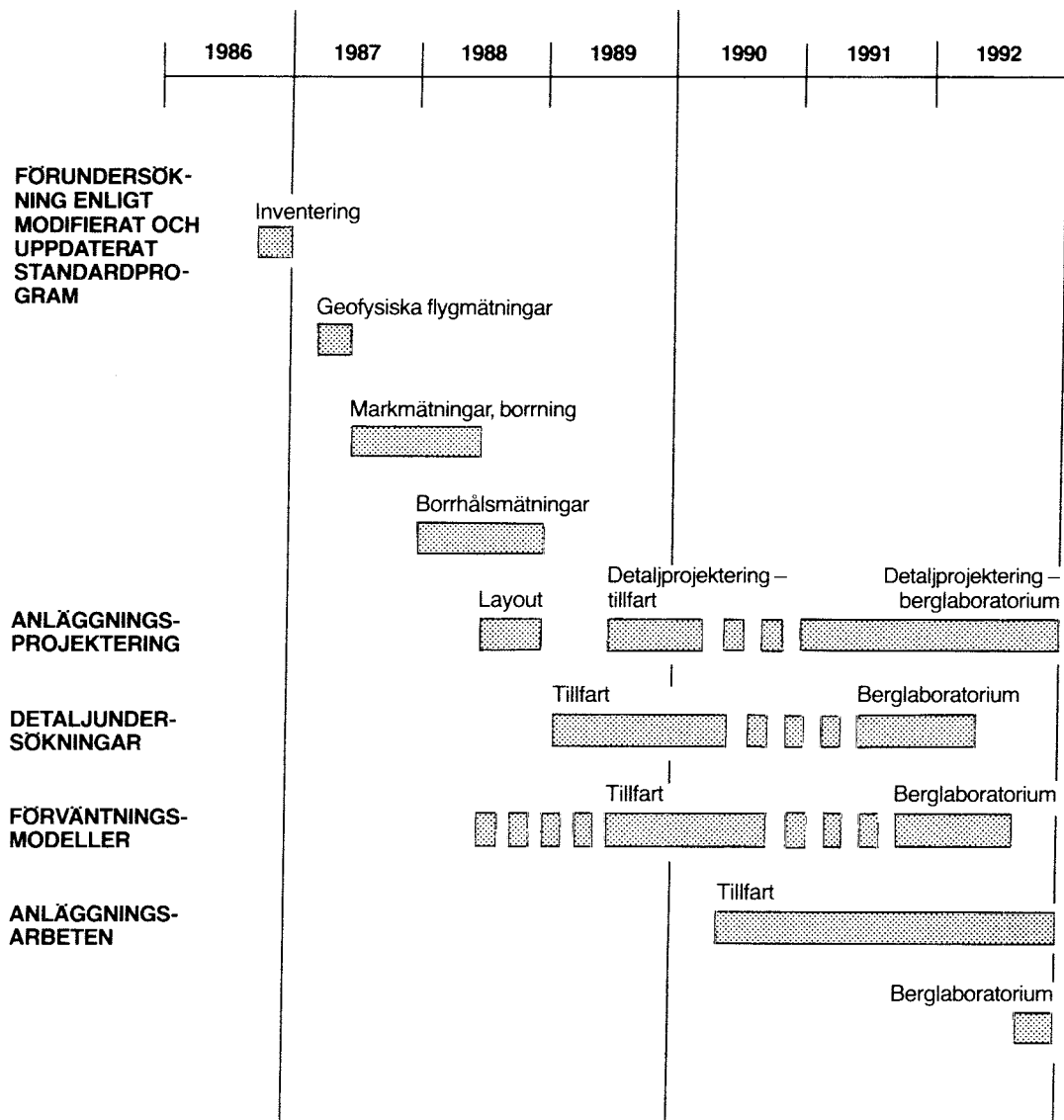
Tidplan för de planerade etapperna framgår av Figur 3-9.

3.5 Instrumentutveckling

3.5.1 Bakgrund

För karakterisering av berggrundens egenskaper och grundvattenrörelser erfordras omfattande undersökningar. De stora djupen, 500-1000 m, har härvidlag nödvändiggjort omfattande utvecklingsinsatser avseende undersökningsmetoder och instrument.

Redan inför de första geologiska undersökningarna år 1977 bestämdes, för det svenska programmet, att de djupa kärnborrhålen skulle borraras med diametern 56 mm. Detta medförde avsevärt lägre borrhningskostnader jämfört med gängse internationella borrhmått, 76 mm eller större. Det krävde emellertid en egen aktiv utveckling av instrument för bestämning av såväl geologiska, geohydrologiska som kemiska parametrar in-situ. Instrumentens tekniska nivå är hög, bl a avseende elektronik och datakommunikation, och tillgodoser höga krav på snabba mätningar med stor noggrannhet ner till tusen meters djup. Totalt sett har



Figur 3-9. Tidplan för underjordiskt berglaboratorium.

valet av borrhålsdiameter och den utveckling av mätteknik och instrument som genomförts, medfört att vi har ett system för djupundersökningar i berg, som ger data av – i internationell jämförelse – hög kvalitet och till relativt låg kostnad.

Erfarenheterna och nya undersökningsmetoder motiverar en fortsatt aktiv utveckling av instrument och mätteknik.

Nya typer av instrument utvecklas för att möjliggöra användandet av nya undersökningsmetoder, medan andra instrument förbättras för att öka detaljeringsgraden i undersökningen eller standardisera provtagningen. Från att i huvudsak undersöka en begränsad bergvolym omkring ett borrhål, går utvecklingen mot instrument som kan "se" längre ut i berget eller undersöka förhållanden mellan borrhål.

3.5.2 Mål för instrumentutvecklingen

Den huvudsakliga målsättningen för instrumentutvecklingen är att hand i hand med metod- och modellutveckling se till att lämpliga instrument och utrustningar av hög kvalitet finns tillgängliga för de olika

geovetenskapliga undersökningar som beskrivs i andra avsnitt. För instrumentutvecklingen kan utvecklingsinsatserna grupperas enligt följande:

- Vidareutveckling av befintlig utrustning, innefattande hydraulisk utrustning för såväl enhåls- som interferenstester, piezometriutrustning, kemilaboratorium, borrhålsradar etc.
- Utveckling av nya instrument, såsom borrhåls-TV, utrustning för bergspänningsmätningar, kemiutrustning för "tätt" berg.
- Framtagning av utrustning för långtidsregistrering av hydrauliska, geokemiska och bergmekaniska parametrar i samband med detaljundersökning av ett område.

3.5.3 Nuvarande kunskapsläge

De instrument som hittills har utvecklats på uppdrag av SKB, eller som i övrigt används vid exempelvis typområdesundersökningar, beskrivs nedan i korthet.

Geofysiska mätningar från markytan genomförs för att ge en grundläggande uppfattning om den underliggande bergvolymen. Elektriska, elektromagnetiska, magnetiska och seismiska undersökningar utförs längs utstakade profiler. I områden där berg i dagen saknas, eller förekommer sparsamt, är dessa undersökningar speciellt betydelsefulla.

Geologisk kartering av borrhäror sker med hjälp av ett mikrodatorbaserat system för datainsamling och utskrift av borrhärdiagram. I borrhålen görs geofysiska loggningar, som i normala fall omfattar mätning av bergartens gammastrålning, dess elektriska resistivitet, magnetism, akustisk respons, borrhålvätskans temperatur och salthalt samt borrhålens riktning. Insamlade data bearbetas och presenteras på ett gemensamt diagram, s k composite log.

Därefter görs hydrauliska mätningar i borrhålen för att bestämma den hydrauliska konduktiviteten (vattengenomsläppligheten) för bergmassan och sprickzonen. Dessa utförs genom att vatten pressas ut i berggrunden från gummiavtätade avsnitt av borrhålen. Mätningarna sker i huvudsak med en automatiserad utrustning, s k multivagn.

De naturliga grundvattenstrycken i bergvolymen mäts genom sk piezometriska tryckmätningar, varvid flera nivåer i ett och samma borrhål kan registreras med hjälp av en för ändamålet utvecklad instrumentering. Vidare har en prototyp av en s k utspädningssond framtagits, med vilken den naturliga vattenomsättningen (grundvattenflödet) genom ett borrhål kan mätas.

Provtagningar och kemiska analyser av grundvatten visade sig tidigt vara svår att göra med tillräcklig noggrannhet, framförallt avseende grundvattnets redoxpotential. Spår av till provet inläckande syre i vattnet gav allvarliga störningar. SKB har därför utvecklat ett provtagningssystem där grundvattnets redoxpotential (Eh), surhetsgrad (pH), och sulfidhalt (pS) mäts direkt i en gummiavtätad borrhålssektion. Vattnet pumpas härifrån upp till ett mobilt vattenlaboratorium, så att huvudparten av i grundvattnet lösta kemiska ämnen kan analyseras direkt på platsen. Detta laboratorium innehåller spektrofotometer, jonkromatograf, titrerutrustning och fluorimeter. För närvarande utvecklas en speciell vattenprovtagare som även möjliggör analys av i grundvattnet lösta gaser.

De instrument och utrustningar som utvecklats och används inom SKBs geovetenskapliga undersökningar har rönt stor internationell uppmärksamhet. För utförligare beskrivning hänvisas till /3-44/.

Instrumentutveckling sker också inom Stripa-projektets ram. Fas 2 i detta projekt har bl a inneburit utveckling av mellanhålsteknik för karakterisering av en bergvolym, vilket då också inkluderat framtagning av instrument. Sålunda har utrustning för hydrauliska mellanhålstester med sinusformad tryckutbredning och för karakterisering av spricksystem i en bergvolym med hjälp av borrhålsradar och borrhålsseismik utvecklats /3-45 - 3-47/. Under projektets fas 3 kommer såväl radar- som seismiksystemen att vidareutvecklas.

3.5.4 Forskningsprogram 1987-1992

Instrumentutvecklingen under den närmaste sexårsperioden sker inom följande områden:

- Geohydrologiska instrument.
- Kemiska instrument.
- Geofysiska instrument.
- Bergmekaniska instrument.
- Monitoringsystem.

Utveckling av instrument och utrustningar som kan vara av intresse för SKB görs bl a även i Kanada, Schweiz, USA och Finland. SKB följer detta arbete och tar del av de erfarenheter som erhålls.

Geohydrologiska instrument

Hydraulisk och piezometrisk utrustning

Hydrauliska injektionstester utförs med två principiellt snarlika utrustningar - multivagn och rörgång. Vidareutveckling av dessa utrustningar kommer främst att omfatta framtagning av nya mätsonder.

Mätinstrumenten för piezometriska registreringar är för närvarande föremål för omfattande modifieringar. En specialanpassad tryckkalibreringsutrustning bör utvecklas för både de piezometriska instrumenten och de hydrauliska testutrustningarna. Med hjälp av denna kan de viktiga tryckmätningssystemen med jämna mellanrum kontrolleras.

Hydrauliska interferenstester har hittills utförts i begränsad omfattning. Dessa kan användas för att bestämma sprickzoners geometri, men framför allt för att undersöka bergmassans hydrauliska egenskaper. För dessa undersökningar krävs att befintliga hydrauliska mätutrustningar modifieras och specialanpassas för ändamålet.

För hydrauliska undersökningar i detaljskala från underjordsanläggningar eller tunnlar bör instrument- och metodutveckling bedrivas parallellt. Forskningen bör inriktas mot utveckling av mellanhålsmätningar för karakterisering av bergmassans hydrauliska egenskaper. I vissa fall kan befintlig utrustning användas. I andra fall krävs modifiering av densamma eller nyutveckling.

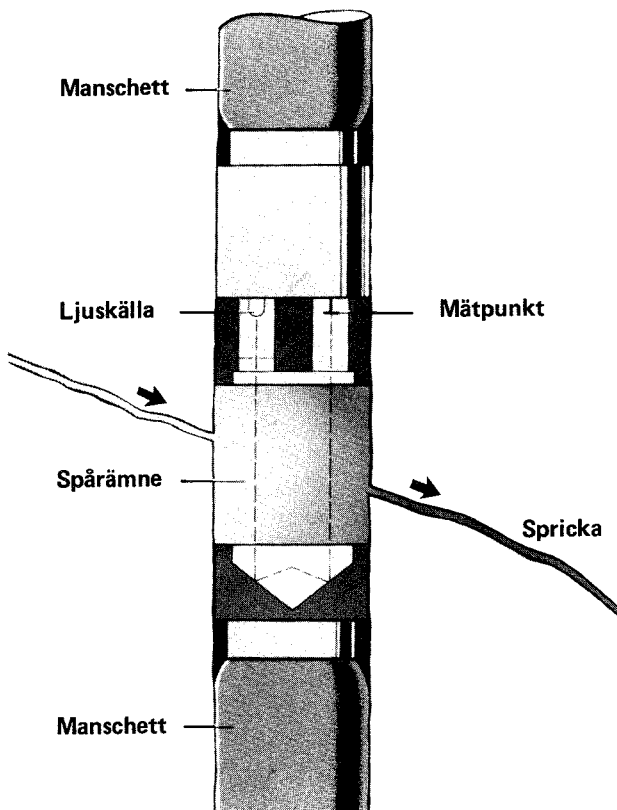
Utspädningssond

För mätning av naturligt grundvattenflöde i en spricka eller sprickzon, som penetreras av ett borrhål, har en s k utspädningssond utvecklats. Med detta instrument registreras utspädningen av ett till en borrhålssektion tillsatt spårämne, se Figur 3-10. Befintligt instrument är en prototyp för 110 mm borrhål som visat god funktion. Ett nytt instrument för normal borrhålsdiameter erfordras, samtidigt som möjligheten till detektering av grundvattenflödets riktning bör studeras. Metoden är intressant eftersom den mäter den naturliga grundvattenströmningen.

Spårförsöksutrustning

Spårförsök med såväl vattentrogna som sorberande

UTSPÄDNINGSSOND



Figur 3-10. Utspädningssond för mätning av naturligt grundvattenflöde genom en avskärmad borrhålssektion.

spårämnen är en värdefull metod för att undersöka vattentransport, flödesvägar, porositet etc. I den mån sådana undersökningar kräver utveckling av instrument, så att testerna kan genomföras på ett effektivt och standardiserat sätt, kommer utveckling att ske.

Kemiska instrument

Vidareutveckling av den kemiska provtagningsutrustningen kommer bli att omfatta framtagning av en förbättrad och förenklad pumpenhet.

Det nästan stagnanta vatten som förekommer i bergmassans mikrosprickor, har under lång tid jämviktats med berggrundens mineral. Dess kemiska sammansättning är av intresse för analysen av förvarets långtidsfunktion. Vattnet är mycket svåråtkomligt, varför en ny utrustning behöver utvecklas för provtagning av detta vatten.

Geofysiska instrument

Borrhålsradar

Grundläggande utveckling av borrhålsradar har genomförts inom Stripa-projektet. SKB har därefter vidareutvecklat radarn till en fältanpassad utrustning för 56 mm borrhål, som använts med mycket gott resultat. Utveckling av borrhålsantennerna med riktungsverkan pågår. Med sådana antenner ska det bli möjligt att riktningorientera radarreflexerna, vilket tidigare ej varit möjligt vid enhålmätningar. Detta arbete kommer att bedrivas inom Stripa-projektet.

Vidareutveckling av radarutrustningen omfattar dessutom utveckling av tolkningsprogram, så att en geometriskt riktig bild erhålls av de registrerade radarreflexerna.

I samband med byggande av det underjordiska berglaboratoriet kommer undersökningar från tunnlar att göras i relativt stor omfattning. Radarmetoden bör därför anpassas för detta. Radarantennerna för mätningar från tunnelväggen bör utvecklas.

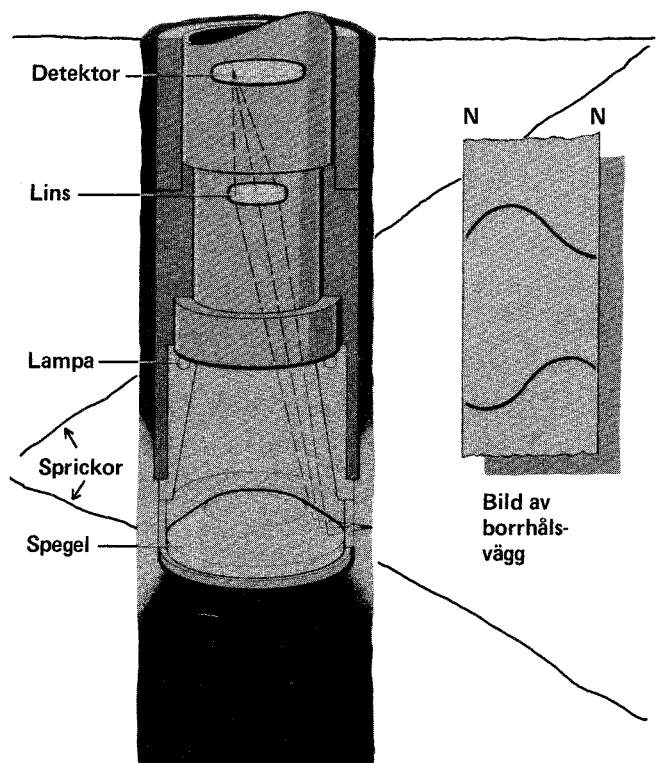
Borrhåls-TV

TV-observationer från borrhål har hittills varit svårtolkade eftersom TV-skärmen alltid visar en förvrängd bild av borrhålsväggen. Utveckling av ett nytt borrhåls-TV-system pågår. Detta projekt omfattar utveckling av ny kamera, digital bildöverföring till ovanjordsinstrument och presentation av "utvikt" borrhålsvägg på TV-skärmen, se Figur 3-11. Utrustningen ska göra TV-granskning av borrhål till ett praktiskt och effektivt hjälpmedel för orientering av bl a sprickor.

Bergmekaniska instrument

Mätning av berggrundens spänningstillstånd har hittills endast utförts vid typområden i begränsad omfattning. För dessa mätningar används två principiellt

BORRHÅLS-TV-SYSTEM



Figur 3-11. Borrhåls-TV-system som avbildar borrhålsväggen för detektering av sprickor och andra strukturer.

olika metoder som kompletterar varandra. Friborrningsmetoden innebär att trådtöjningsgivare monteras i samband med borrning i nedre delen av ett borrhål. Där mäts hur spänningarna avlastas vid friborrning av det instrumenterade partiet. Med hydraulisk spräckning av berget kan bergspänningarna mätas i befintliga borrhål. Den senare metoden kommer att vidareutvecklas, så att mätningar ner till 1000 m djup ska kunna genomföras.

Monitoringsystem

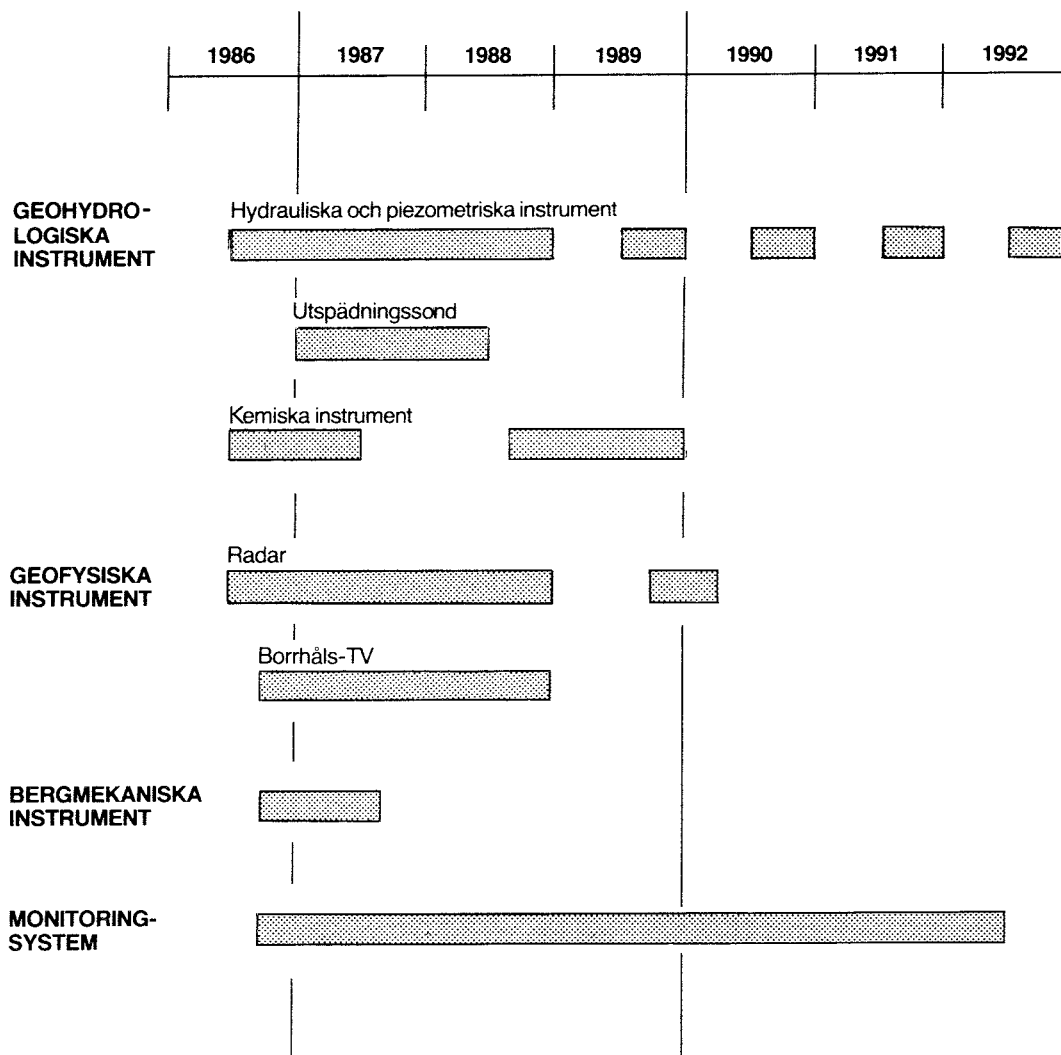
Långtidsregistreringar av geohydrologiska, kemiska och bergmekaniska förhållanden behöver utföras, bl a i samband med det underjordiska berglaboratoriet och i samband med detaljundersökningar av olika områden. Det är viktigt att borrhålen avtätas med gummimanschetter i ett tidigt skede för att undvika

kortslutning mellan olika hydrauliska enheter. Långvarig kortslutning försvårar de piezometriska tryckmätningarna och kan vara störande för de kemiska undersökningarna. Bergmekanisk utrustning monteras i andra borrhål.

Lämpliga system för samtidig avtätning och långtidsregistrering av mätparametrar kommer att utvecklas.

Tidplan

Aktiviteter inom området instrumentutveckling är planlagda enligt Figur 3-12.



Figur 3-12. Tidplan för instrumentutveckling.

4 BIOSFÄRSSTUDIER

4.1 Bakgrund

Kunskap om hur radioaktiva ämnen sprids i biosfären är en förutsättning för beräkning av dosbelastningen från utsläpp av radionuklider. Utöver forskningsverksamheten vid universitetet, högskolor och speciella forskningsinstitutioner, bedrivs forskning om spridningsförhållanden i biosfären också av de två myndigheterna SNV och SSI.

Spridningsberäkningarna i KBS-3 har genomförts med en modell benämnd BIOPATH och baserats på data som karakteriserar biosfärens olika delar och hur de växelverkar. Med kända koncentrationer av radionuklider i biosfären och känd naturanvändning kan doser till befolkningen beräknas. Detta görs med hjälp av modeller för hur olika ämnen sprids i kroppen efter intag eller inhalation, samt data om den strålning de olika isotoperna utsänder och hur den påverkar olika organ. Dessa modeller och data har sammanfattats i olika internationellt accepterade rekommendationer utfärdade av ICRP.

Biosfären är emellertid föränderlig i en tidsskala som är väsentligt kortare än den fördröjning och den utspridning i tiden som erhålles av eventuella aktivitetsutsläpp från ett djupt slutförvar. Detta ger en ofrånkomlig grundläggande osäkerhet i dosberäkningarna. Behovet av förbättringar i dataunderlag och modeller bör ses i relation till denna osäkerhet.

Man kan ställa sig frågan om en karakterisering av biosfären på mycket lång sikt överhuvudtaget är meningsfull, och om beräkningar av framtida doser utgör ett lämpligt mått på förvarets funktion. Det enda realistiska alternativet till dos som mått på förvaringsfunktion är att jämföra läckaget av radionuklider från förvaret till biosfären med den naturliga frigörelsen av liknande radionuklider från berggrunden.

Nuvarande acceptanskrav, att begränsa individdoser och att reducera populationens totala dosbelastning så mycket som är realistiskt möjligt, ersätts då med kravet att slutförvaret inte väsentligt skall förändra den naturliga strålmiljö som ursprungligen fanns på förläggningsplatsen. I ett sådant fall saknar biosfärsfenomenen betydelse för säkerhetsbedömningen.

4.2 Mål för FoU-verksamheten

Biosfärsforskningen och studiet av hur olika ämnen sprider sig i naturen bedrivs av så många intressenter, med en sådan takt och på så bred basis, att SKB inte rimligtvis aktivt kan medverka inom alla områden. En huvuduppgift blir att bevaka viktiga områden och utnyttja befintlig och relevant information på ett ändamålsenligt sätt.

SKBs insatser kommer att fokuseras på problemområden som är speciella för lagring av radioaktivt avfall i berggrunden och för de acceptanskrav samhället uppställer för förvaret. Biosfärsforskningen påver-

kas endast i liten grad av alternativa utformningar av slutförvar.

Målet för den fortsatta forskningen rörande biosfärsspridningen är att:

- söka kvantifiera de osäkerheter som införs i beräkningarna genom att biosfären är föränderlig i de aktuella tidsperspektiven,
- förbättra dataunderlag och modeller inom de gränser som är meningsfulla med hänsyn till ovan nämnda osäkerhet,
- validera modellerna för biosfärsspridningen, bl a genom studier av naturliga eller av människan förorsakade analoga spridningsprocesser.

4.3 Nuvarande kunskapsnivå

Vid framtagning av KBS-rapporterna har ett antal biosfärsstudier genomförts för att ta fram data och kontrollera de modeller som finns. Studierna har bl a omfattat naturliga radioaktiva ämnens förekomst och upptag i växter, deras fördelning mellan vatten och sediment samt förekomst och transportförhållande i strandsediment. En kartläggning har vidare gjorts av radioaktiva ämnen i brunnar i olika typer av berggrund och av halterna i ett antal kalkällor i uranrika områden. Den senare studien omfattade också en kartläggning av dels den takt med vilken aktiviteter i källvattnet reducerades nedströms källan, dels resulterande halter i växtmaterial och bäcksediment (se KBS-3).

Resultaten av alla dessa undersökningar har i stort bekräftat den bild av de radioaktiva ämnenas transport i biosfären som ges av den allmänna litteraturen inom området. Både litteratur och egna undersökningar visar dock på en mycket stor variationsbredd för parametrar inom biosfärsområdet.

Variationsbredden kan ha många orsaker, t ex skillnader i vattentillgång, näringstillgång, klimat eller geokemiska förhållanden. Den kan också föräntledas av årliga variationer under växtsäsongen eller variationer beroende på den långsamma evolutionen av en biotop /4-1/. Strävan att kartlägga denna variationsbredd, och att bättre kunna kvantifiera den, är en viktig del i de fortsatta biosfärsstudierna.

Under KBS-studierna har omvandlingsfaktorer beräknats för grundvattenutsläpp av olika nuklider till tre typer av primärrecipient (brunn, sjö, brackvattenhav). Faktorerna har beräknats med hjälp av en compartmentmodell för biosfärsspridning (BIOPATH) och data från litteraturen, från kartläggningar av recipientområden och från ovannämnda studier. Det bedöms att en ytterligare detaljering av omvandlingsfaktorerna inte väsentligt skulle kunna förbättra dosberäkningarna, på grund av variationsbredden i naturen och osäkerheter i människans framtida naturanvändning.

BIOPATH-modellen och dess databas har vidareutvecklats under dessa insatser och vissa valideringar har genomförts /4-2/. En fortsatt insats för validering och modellutveckling bedöms önskvärd för att utvärdera den för olika ändamål lämpligaste nivån av reservoaruppdelning.

4.4 Forskningsprogram 1987 - 1992

4.4.1 Variationsbredd och osäkerheter

De långa transporttiderna genom geosfären medför att eventuella konsekvenser för människan av ett slutförvar för radioaktivt avfall ger sig tillkänna först efter mycket långa tider – för vissa utformningar först efter en tidsperiod som är längre än den tid människan existerat som art.

Förändringar av betydelse för säkerhetsbedömningen sker i olika tidsskalor:

| Tidsskala | Exempel på tänkbara förändringar |
|-------------|--|
| 100 år | Recipientförändringar som igenväxning av sjöar etc. |
| 10 000 år | Klimatiska förändringar som istider etc. |
| 1 milj år | Evolutionsanknutna förändringar som uppkomst av nya arter etc. |
| 100 milj år | Geologiska förändringar som bergskedjebildning etc. |

Analyser av spännvidden av möjliga förändringar och deras karaktär är av betydelse för att kunna bedöma säkerhetsanalysens resultat och vilka fortsatta insatser som är meningsfulla. Dessa analyser bör inriktas på förändringar inom tidsskalan 100 - 10 000 år, då effekter av recipientförändringar och klimatiska förändringar dominerar bilden.

En studie pågår för att belysa recipienternas naturliga åldrande (exempelvis sjöar som växer igen och havsvikar som grundas upp) och hur parametrar av vikt för dosbelastningen förändras. Studien förväntas erfordra detaljeringar och uppföljningsinsatser under 1987. Kompletterande studier av effekter av människans påverkan som utdikning, torvtäkt och liknande verksamhet kommer att erfordras. Resultaten kommer också att utnyttjas för att vidareutveckla BIOPATH-modellen, speciellt med hänsyn till tidsberoende förändringar.

Evolutionära förändringar utanför den spännvidd som återspeglas av de nuvarande ekosystemen på jorden bedöms inte kunna studeras på ett meningsfullt sätt f n.

En uppföljning av den internationella verksamheten inom området är väsentlig, då ovan diskuterade problematik är generell.

4.4.2 Dataunderlag

De fortsatta insatserna för uppbyggnaden av biosfärsdatabasen kommer främst att knytas till de isotoper och recipienter som dominerar riskbilden samt till områden där påtagliga reduktioner i nuvarande osäkerheter för dosuppskattningar kan förväntas.

Vissa av de områden som utväljs för geologiska undersökningar kommer samtidigt att karakteriseras vad avser möjliga primärrecipienter för grundvatten, utspädnings- och avrinningsförhållanden, naturlig aktivitet i mark och ytvatten etc, jfr KBS-3 och /4-3/. Studierna möjliggör en beskrivning av de ursprungliga radiologiska förhållandena och ger indata för modellering av biosfärstransporter av radionuklider.

En stor del av variationsbredden i den internationella databasen bedöms vara föranledd av inte identifierade olikheter i klimat, biotoper och kemiska förhållanden.

I syfte att om möjligt reducera denna variationsbredd kommer SKB att med SSI och andra diskutera möjligheterna till att skapa en gemensam skandinavisk databas för data av betydelse för biosfärsspridning av radionuklider. För detta behöver databasens struktur och kvalitetskontrollrutiner etableras under 1987-88. Insamlingen av data kommer att pågå under lång tid. Oavsett om ett samarbete kan etableras måste en väl dokumenterad och analyserad databas vara framme i god tid till säkerhetsanalyserna för lokaliseringsansökan 1998 - 2000.

Det omfattande grundmaterial rörande tungmetallers rörlighet i svenska jordar och sjöar, som tagits fram av Naturvårdsverket och Sveriges Lantbruksuniversitet, kommer att utnyttjas i de fortsatta studierna, liksom data från uranprospektering.

4.4.3 Recipientstudier

Radionuklider som strömmar från den reducerande grundvattenmiljön upp i biosfären kommer att passera in i oxiderande förhållanden. Övergången sker ofta i jord eller sediment. Redoxövergången påverkar många radionuklidens löslighet och den biologiska aktiviteten i zonen. Många av dessa fenomen är föga klarlagda och en översiktlig studie planeras bli genomförd under 1987-88. Denna studie och erfarenheterna från de pågående sedimentundersökningarna, i samband med recipients naturliga åldrande, ger därefter underlag till eventuellt ytterligare insatser. Möjliga undersökningar berör utfällningar eller kemiska reaktioner vid kontakter mellan grundvatten och ytliga vatten.

Som en förstudie till detta kommer en provtagning att göras i distinkta utströmningsområden i sjöars sediment för att kartlägga kemiska och fysiska skillnader mot omgivande sediment.

Långtidsförsök med tillsats av speciella nuklider i väl definierade sediment kan bli aktuella i en slutfas för att studera vissa aktinidens rörlighet i sedimenten.

4.4.4 Modeller

En fortlöpande modellutveckling är ett nödvändigt komplement till datainsamling och dataanalys. Utvecklingsinsatserna inom SKB kommer att knytas, dels till BIOPATH-modellen, dels till förenklade modeller som tas fram för användning i samband med probabilistiska säkerhetsanalyser, jämför med avsnitt 6.4.

Försök till validering av spridningsberäkningar i geosfär och biosfär kommer att göras genom studier

av naturliga analogier. Sådana större insatser kommer främst att genomföras i internationellt samarbete. SKB följer det av SSI initierade BIOMOVs-projektet, där ett flertal grupper från olika länder gemensamt kommer att söka genomföra vissa verifikationer och valideringar av spridningsmodeller i biosfären /4-4/. I detta arbete deltar även Studsvik Energiteknik med BIOPATH.

SKB avser inte att initiera egna försök förrän inriktning och resultat av BIOMOVs-projektet visar om de för geologisk slutlagring speciella problemen har fått en tillfredsställande täckning. Möjligheterna att utnyttja nedfallet från Tjernobyloyckan för att validera biosfärs-spridningsmodeller är under utredning.

4.4.5 Övriga studier

En dominerande effekt på dosbelastningen från ett givet utsläpp erhålles från egenskaperna i den primärrecipient som mottar grundvattenutflödet till biosfären. Bland olika recipienter visar sig bergbrunnar ge de ogynnsammaste exponeringsförhållandena. Dosen från en brunn påverkas kraftigt av den utspädning av radioaktiviteten som erhålles i brunnen. Under perioden 1987–1992 avses försök göras för att validera olika beräkningsmodeller för denna utspädning, dels i samband med sprickzonsstudierna, dels i samband med utbyggnaden av det underjordiska berglaboratoriet.

Stråldoser och bedömning av därmed sammanhängande hälsoeffekter bearbetas och utvärderas på bred bas av flera nationella och internationella grupper. Rekommendationer utfärdas av den internationella strålskyddskommissionen (ICRP).

SKB kommer att följa detta arbete och dess tillämpningar på avfallshandtering och avfallsförvaring. De

egna insatserna inom området förutses bli begränsade och inskränka sig till bevakning av nuklider som ur slutförvarssynpunkt är av betydelse. Ett huvudansvar för de nationella insatserna ligger hos Statens Strålskyddsinstitut.

Även strålningens inverkan på andra organismer än människan bedöms vara utanför det direkta intresseområdet för SKB vid de dosnivåer ett acceptabelt slutförvar kan ge upphov till.

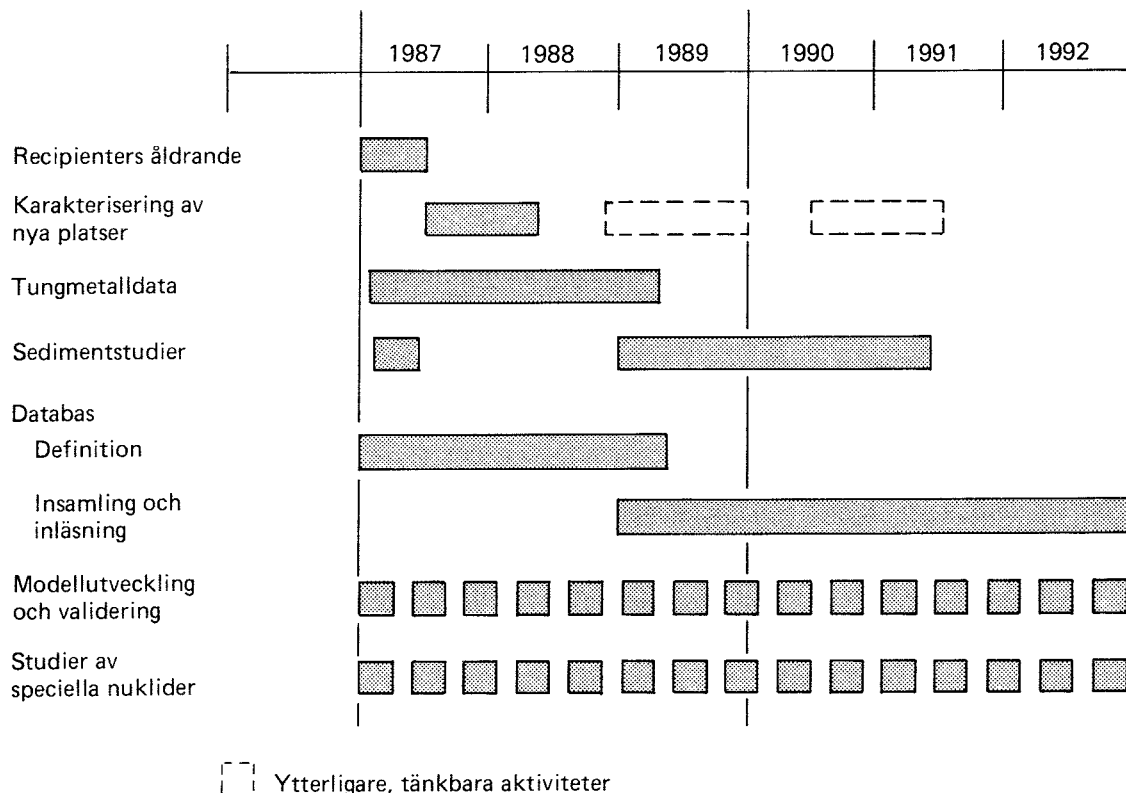
Vissa studier av mikroorganismers förmåga att påverka transportförhållanden för radionuklider och korrosion av kapslar redovisas i kapitel 5.

Modell- och metodutveckling för radiologisk driftsäkerhet vid kärnkraftstationer, CLAB och SFR, samt av drifterfarenheter, kommer att bevakas och tillämpas under hanteringsskedet inför slutförvaring av det använda kärnbränslet.

Risken för frigörelse och spridning av icke radioaktiva, toxiska ämnen kommer att beaktas. Insatser kan bli nödvändiga som följd av alternativa barriärstudier eller slutförvaring av speciella avfallstyper.

4.4.6 Tidplaner

Tidplanen för biosfärsinsatser redovisas i Figur 4-1. Arbetet inom området bedöms kunna drivas i lugn takt. Planläggningen syftar bl a till att söka åstadkomma en jämn sysselsättningsnivå bland utnyttjade forskare, så att bakgrund och kunnande finns tillgängliga om problemområden skulle dyka upp. I nuvarande skede styrs insatserna av behovet att kartlägga osäkerheter och variationsbredder, för att under 1990-talet alltmer fokuseras på insatser som motiveras av plats-specifika och systemspecifika förhållanden.



Figur 4-1. Tidplan för biosfärsstudier.

5 KEMI

Inom kemiprogrammet undersöks de kemiska förhållanden som påverkar förvarets långsiktiga säkerhet. Målsättningen är i huvudsak att kunna beskriva utläckage och spridning av radioaktiva ämnen ut från förvaret och genom berget.

Arbetet består i att ta fram kemiska grunddata och modeller samt att validera dessa modeller med försök i laboratorium och fält och med undersökningar av naturliga analogier.

Kemiprogrammet omfattar ett stort antal undersökningar. En uppdelning har här gjorts på följande områden:

- Geokemi, och då framförallt grundvattnets kemi i geosfären och det störda närområdet.
- Radionuklidkemi, dvs kemin för avfallens ”viktiga” radionuklider i närområdet och geosfären.
- Kemisk transport i närområdet och geosfären av radionuklider och inaktiva specier (gas, korrodanter, radiolysprodukter etc).
- Validering av kemiska transportmodeller genom:
 - laboratorieförsök,
 - in-situ-försök,
 - studium av naturliga analogier.

De geokemiska undersökningarna är innehålls- och tidplanemässigt starkt knutna till övriga geologiska fältundersökningar.

Inriktningen av kemiprogrammet är också beroende av de tekniska förslagen till hur det radioaktiva avfallet ska behandlas och slutförvaras. Hitintills har vi utgått från avfallsformer, inkapsling och förvarsutformning sådana de presenterats i t ex KBS-1, 2 och 3. Nya idéer om avfallens behandling och slutförvaring kräver kompletterande kemiundersökningar. De alternativa utvecklingslinjer som övervägs och de kemiundersökningar, som i så fall är motiverade, berörs i det följande.

Flera av de undersökningar som nu pågår och planeras är dock av så pass allmän karaktär att de är grundläggande för alla rimliga förslag till slutförvaring.

5.1 Geokemi

5.1.1 Bakgrund

Kapselkorrosion, buffertstabilitet, upplösning av avfallsmatrisen och rörligheten av radionuklider i förvaret och omgivande berg påverkas i hög grad av grundvattnets kemiska sammansättning. För att kunna bedöma förvarets långsiktiga säkerhet är det därför nödvändigt att känna till grundvattnets normala sammansättning och de variationer, som är tänkbara av naturliga orsaker eller på grund av den påverkan på

vattnet som förvaret självt kan tänkas utöva.

Vattnets kemiska och framförallt isotopkemiska sammansättning ger dessutom en inblick i de hydrologiska förhållandena i ett förvarsområde och är ett stöd för övriga undersökningar av grundvattnets rörelser.

Mineralen påverkar grundvattnet både kemiskt och isotopkemiskt och studeras därför parallellt.

5.1.2 Mål för FoU-verksamheten

De geokemiska undersökningarna har följande syfte:

- Etablera tillräcklig kunskap om de kemiska egenskaper hos grundvatten och mineral, som bestämmer kapselupplösning, buffertstabilitet, bränsleupplösning och radionuklidmigration.
- Bestämma vilka kemiska förändringar i den naturliga miljön, som förvaret och eventuellt inströmmade vatten med annan sammansättning kan åstadkomma i närområdet.
- Underbygga den hydrologiska modellen för vattenströmningen i förvaret med geokemisk information.

Den första punkten innebär dels fortsatt provtagning av vatten och mineral, dels en ökad användning av geokemiska modeller för att t ex beskriva grundvattnets Eh, pH och karbonathalt. En utvidgning till regelbunden och kvantitativ analys av lösta gaser, naturliga komplexbildare och redoxaktiva mineral eftersträvas.

Den andra punkten förutsätter likaså användning av geokemiska modeller och då inte enbart jämviktmodeller utan också reaktionsmodeller med inslag av heterogena reaktionssystem, t ex oxidation eller aktinidreduktion med reducerande mineral. Utöver teoretiska beräkningar behövs även kinetiska undersökningar i simulerade laboratoriesystem och, om möjligt, in-situ. Exempel på problemställningar är redoxreaktioner i närområdet.

Den tredje och sista punkten är svårast att uppfylla. Isotopkemiska analyser är av betydelse och det är därför nödvändigt att provtagningen förbättras så långt det är möjligt, t ex genom att helt undvika spolvatten vid borrningen och att provtagning sker mot borrhålens botten vid uppehåll i borrningen. Provtagning i underjordsutrymmen har också visat sig fördelaktigt (artesiska förhållanden). Ett underjordiskt berglaboratorium i ett tidigare ostört område ger ett unikt tillfälle till geokemiska undersökningar enligt alla tre punkterna. Permanenta provtagare från markytan och i underjordsanläggningen kan följa förändringen i vattensammansättningen med tiden och inflödet på grund av länshållningen.

5.1.3 Nuvarande kunskapsläge

Inför KBS-3-rapporten genomfördes ett stort antal typområdesundersökningar. Grundvattenprover togs

regelbundet och analyserades. Sprickmineral karteras också, och på några av områdena gjordes en mer ingående karakterisering.

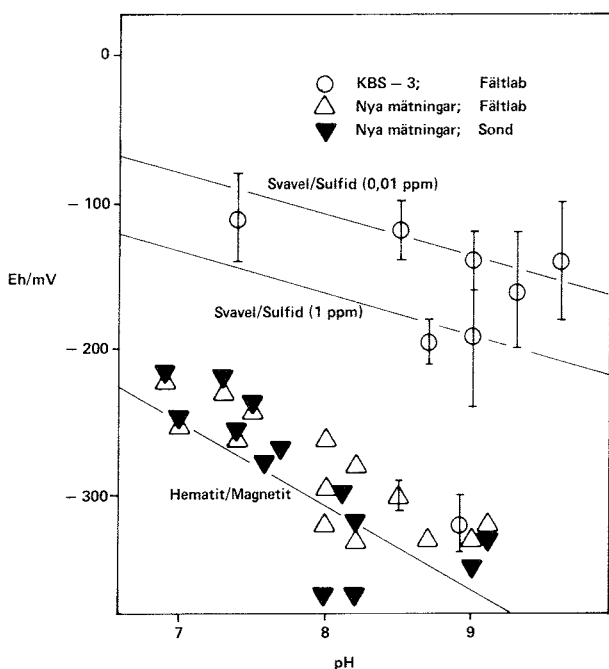
Alla vattenprover togs med samma utrustning och samma provtagningsstrategi, dvs två eller flera borrhål på ett område valdes ut för vattenprovtagning efter den geohydrologiska undersökningen. Ett antal konduktiva zoner i borrhålet isolerades med manschetter och vatten pumpades upp till markytan där elektrokemisk mätning av Eh och pH genomfördes och ett stort antal vattenprover isolerades. Vattenproverna skickades vidare till externa analyslaboratorier.

Samma utrustning och i stort sett samma metodik har använts senare i Taavinunnanen och Klipperås.

Erfarenheterna från undersökningarna finns sammanfattade /5-1/.

Sedan 1984 är ny utrustning i bruk för vattenprovtagning och analys under fältförhållanden - den så kallade "kemivagnen". Elektrod-mätningar av Eh och pH genomförs nere i provtagningszonen med en speciellt utvecklad sond. De vanligaste grundvattenkomponenterna analyseras direkt i fält liksom redoxkänsliga spårämnen. Spolvattnet som används vid borrhningen märks med färgämne och halten kvarvarande spolvatten mäts på plats i kemivagnen. Resultaten lagras i en fältdator och skickas regelbundet in för central sammanställning och utvärdering.

Man provtar numera vatten på ett tidigare stadium. En speciell seismisk teknik (tube-wave) har använts framgångsrikt för att snabbt lokalisera vattenförande sprickor.



Figur 5-1. Sammanställning av fältmätningar av Eh och pH i djupa grundvatten. De nya mätningarna har till största delen utförts med borrhålssond (▼) och i det nya mobila laboratoriet (△). Sond och laboratorium är sammankopplade.

Linjerna är beräknade. Högre värden förklaras av små mängder luftsyre (oxiderar sulfid till svavel) i tidigare mätningar som rapporterades i KBS-3 (○).

Kvaliteten på analysresultaten har förbättrats väsentligt i och med den nya tekniken. Provtagning och analys med kemivagnen har genomförts i Fjällveden, Klipperås och Finnsjön, se Figur 5-1.

Vattnets sammansättning är i hög grad beroende av uppehållstid eller grad av isolation i berget. Ur den synpunkten vore det önskvärt att ta prov av alla tänkbara kategorier - från starkt vattenförande zoner till bergpartier med relativt låg konduktivitet. Hittills har som regel bra prover erhållits ur ett mellanregister. Den pågående utvecklingen av tidig provtagning och vattenfri borrhning öppnar förhoppningsvis möjligheten att ta okontaminerade vattenprover även ur starkt vattenförande zoner. För provtagning av lågkonduktiva partier krävs utveckling av ny teknik.

Utvärdering

De grundvattenanalyser som hittills genomförts har främst tagit sikte på att utreda den normala vattensammansättningen på förvarsdjup i granitisk berggrund och de avvikelser som kan förekomma, t ex salt grundvatten. Stor uppmärksamhet har ägnats åt sådana grundvattenparametrar som har betydelse för förvarets säkerhet, t ex redoxförhållanden, pH, halt av oorganiska och organiska komplexbildare, sulfid, klorid etc.

Kemiska samband som reglerar pH och karbonathalt, liksom redoxförhållanden, har beskrivits med enkla modeller redan i samband med KBS-3-studien. På senare tid har avancerade geokemiska modeller och beräkningsprogram funnit en ökad användning. Ett sådant datorprogram är EQ3/6, som bl a använts för att tolka redoxmätningar /5-2/.

Inledande försök har också gjorts att använda geokemiska modeller som inkluderar transport av upplösta ämnen.

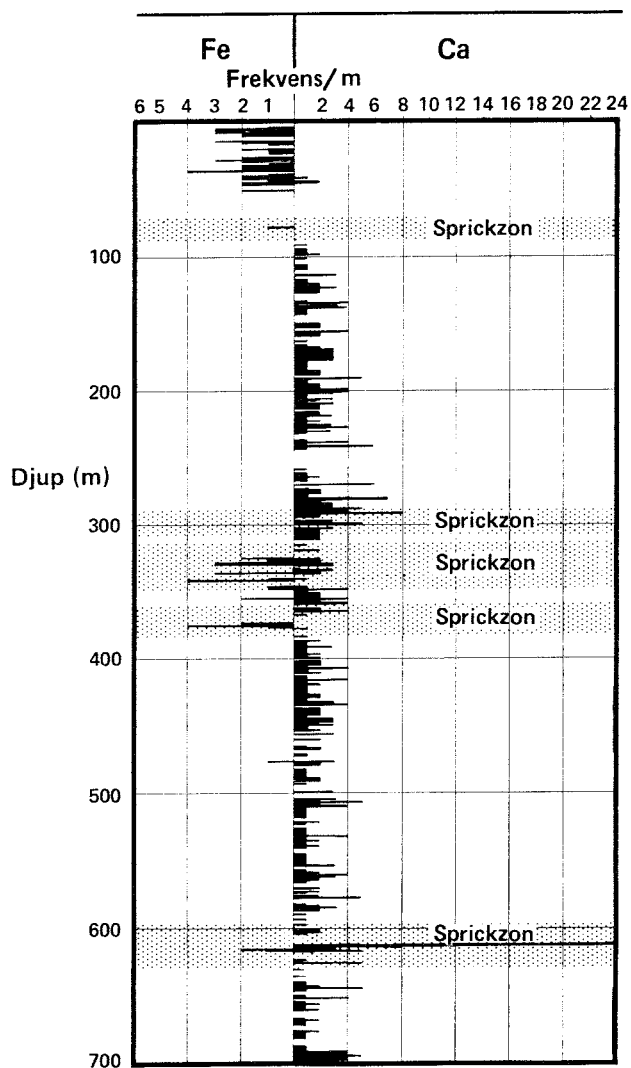
Den kemiska utvecklingen av grundvattensammansättningen kan även spåras i sprickmineralen. I borrhkärnor från typiska inströmningsområden kan man t ex se hur ungt kolsyrerikt, ytnära grundvatten löst upp kalcitmineral i vattenförande sprickor. Äldre djupa grundvatten är mättade eller till och med övermättade med avseende på kalcit. Det beror i sin tur på att kalcium tillförts eller pH höjts genom bergmineralens inverkan. Vertikala strömningsförhållanden och kemiska grundvatten/mineral-samband markeras på så sätt i sprickmineralen /5-3/, se Figur 5-2.

Isotopkemiska undersökningar används traditionellt för att beskriva grundvattnets ursprung och "historia". Halten av de stabila isotoperna syre-18 och deuterium i vatten, liksom kol-13 i löst karbonat, provtas och analyseras regelbundet. Dessutom analyseras även de radioaktiva isotoperna tritium i vatten och kol-14 i löst karbonat.

Syre-18 och deuterium visar att åtminstone huvuddelen av vattnet är av meteoriskt ursprung (nederbörd).

Tritium kan genom sin korta halveringstid avslöja snabb inströmning, men är oftast genom sin närvaro ett tecken på grav provkontamination med spolvatten eller annat ytnära vatten.

Kol-14 ger i princip en lämplig metod att datera grundvatten, men mycket gamla förekommer av olika



Figur 5-2. Järnoxidhydroxid (rost) och kalcit (kalciumkarbonat) i sprickmineral från borrhävar, Klipperrås, borrhål Kl 12. Oxiderande förhållanden (rost) och kalcitupplösning de övre 100 m, följs av reducerande förhållanden och kalcitutfällning längre ned. Spår av oxidation förekommer även i sprickzonerna.

kolföreningar i berget (främst karbonater) kan ge bidrag som är svåra att uppskatta. Kol-13 halten kan i viss utsträckning användas för korrigering.

I flera fall har även andra stabila och radioaktiva isotoper analyserats. Ett gott exempel är uran-234 vars relativa halt (uran-234/uran-238) är ytterst känslig för redoxförhållanden.

I KBS-3-analyserna användes inte de isotopkemiska resultaten i någon större utsträckning. Skälen till detta är flera, men en viktig anledning är de höga kraven på vattenprovrensning då de radioaktiva isotoperna provtas - krav som ofta inte kunde uppfyllas tidigare. Numera har förutsättningarna i det avseendet förbättrats väsentligt.

Redan idag finns exempel på resultat som underbygger slutsatser om hydrologiska förhållanden. Förkomsten av salta vatten i Stripa, Finnsjön och Fors-

mark (SFR) tyder på stagnanta förhållanden. Kalcitupplösning i sprickor tyder på markerad inströmning i Taavinunnanen. Låga halter kol-14, tritium och liknande radioaktiva isotoper tyder i flera fall på hög grad av isolering. Det är svårt men eftersträvansvärt att kvantifiera dessa observationer.

Inom Stripa-projektet pågår en utveckling av ny metodik för analys av isotoper och tolkning av resultat. Här prövas betydligt fler och ovanligare metoder än vad som är aktuellt vid övriga fältundersökningar /5-4/.

Simulering av naturliga system

Bergets mineral har stor betydelse för grundvattnets kemi. En mängd ämnen tillförs vattnet och den största delen av buffertkapaciteten för pH och i ännu högre grad för Eh ligger i mineralen. Åtkomlighet och reaktivitet är av mycket stor betydelse och ibland svåra att omedelbart inse. Reaktionskinetiken undersöks därför i simulerade system i laboratoriet.

Det är speciellt redoxkinetiken som är av intresse, dvs hur oxidanter förbrukas och hur aktinider reduceras.

Närzonskemi

Geokemiska modeller används för att förutse de förändringar som förvaret kan åstadkomma på mineral och grundvatten i närområdet. Även förvarets komponenter, såsom kapslings- och återfyllnadsmaterial, tas med i den behandlingen. Inför KBS-3 användes mycket förenklade och försiktiga antaganden och modeller för att beskriva bl a betydelsen av uppvärmningen och utvecklingen av en eventuell redoxfront.

Avancerade geokemiska modeller har senare använts för att utvärdera betydelsen av uppvärmning för mineral, vatten och bentonitlera. Det är arbeten som utförts av specialister vid Strasbourguniversitetet. Därvid har datorprogrammen EQUIL och THERMAL använts /5-5 och 5-6/.

5.1.4 Forskningsprogram 1987 - 1992

Provtagning och analys av vatten

Finnsjön och Ävrö

Vattenprovtagningen är kopplad till de fältundersökningar som bedrivs. För provtagning i borrhål från markytan används kemivagnen. Sådana arbeten pågår i Finnsjön och planeras fortsätta i Ävrö. Utveckling av ny teknik, booster-borring, gasprovtagning etc, introduceras allteftersom den blir tillgänglig.

Underjordiska berglaboratoriet

Under 1987 planeras förstudier starta för ett underjordiskt berglaboratorium. Vattenprovtagning genomförs på ett tidigt stadium och väl skilt från övrig verksamhet, så att man kan beskriva ostörda förhållanden.

Under schaktsänkningen eller tunneldrivningen följs de kemiska förändringarna kontinuerligt i fasta installerade provtagare i utvalda borrhål från markytan. Detta provtagningssystem är ännu inte utvecklat, men en utrustning liknande den som används i URL-anläggningen i Kanada torde vara användbar

(Westbay Casing). Vatteninströmning i övriga borrhål förhindras.

Nere i berglaboratoriet är möjligheten att ta representativa vattenprover mycket god, eftersom man här kan påräkna artesiska förhållanden. Prover kommer att tas ur borrhål från tunnlar och schakt på liknande sätt som nu sker i Stripa och Forsmark (SFR). Även i underjordsanläggningen är det viktigt att den kemiska provtagningen kan komma in i ett tidigt skede.

Fasta provtagare installeras i konduktiva partier i den underjordiska anläggningen för att följa förändringar med tiden. Man kan då se om och när t ex ytvatten, havsvatten eller färgämnesmärkt spolvatten från ovanjordsborrningarna når underjordsanläggningen och jämföra detta med hydrologiska observationer och beräkningar.

Teknik för provtagning av vatten under jord finns men behöver utvecklas något. Mätningar med in-situ-sond för pH och Eh är i hög grad önskvärd även under jord. Kemivagnen eller den utrustning som där ingår kan användas för att utföra huvuddelen av övriga analyser på platsen. Man får på så sätt betydligt bättre och snabbare analyser.

Forsmark - SFR

Provtagningen i SFR-anläggningen fortsätter. Analyserna utvidgas till att omfatta det som senare också blir aktuellt i berglaboratoriet, dvs mätning med pH/Eh-sond, analys av geokemiskt betydelsefulla spårämnen som t ex järn, aluminium, kisel och sulfid, karakterisering av organiskt material och gasanalyser.

Det är även möjligt att använda kemivagnen i SFR-anläggningen.

Utrustningen för underjordsprovtagning kan utvecklas i samband med SFR-provtagningen.

Övriga områden

Borrhål i tidigare områden är aktuella för utprovning av utrustning och för punktvis insamling av större mängder djupt grundvatten för specialundersökningar, t ex organiska ämnen.

Insamling av vatten från källor inom ett undersökningsområde med avsikt att lokalisera eventuell uppströmning av djupt grundvatten har diskuterats. Det är någorlunda enkelt att genomföra. SKB överväger att prova i något tidigare försöksområde.

Provtagning och analys av sprickmineral

Sprickmineralogiska undersökningar eftersträvas på flertalet försöksplatser med syftet att förklara vattnets kemiska sammansättning och indikera geohydrologiska förhållanden på platsen.

Utvärdering och redovisning av resultat

Den stora mängden vattenanalysdata som produceras granskas och reduceras på samma sätt som i KBS-3-rapporten. Såväl primära som behandlade data lagras i SKBs databassystem. Här lagras även tidigare analysresultat. Dessutom redovisas resultaten i rapporter som tidigare. Där redogörs också för hur primärdata har behandlats.

Sprickmineralanalyserna redovisas tills vidare endast i rapportform.

En sammanhållen geokemisk utvärdering för varje undersökningsområde enligt de riktlinjer som anges i /5-1/ eftersträvas. Häri bör ingå följande:

- En noggrann bedömning av vattenanalysernas relevans utifrån såväl hydrologiska mätningar som vattenanalyser.
- En geokemisk utvärdering av vatten- och mineral-sammansättning med användning av avancerade geokemiska modeller.
- En bedömning, så långt det är möjligt, av vattnets ursprung och uppehållstid utifrån geokemisk information från grundvatten och sprickmineral.

Reaktionskinetiska undersökningar

Laboratoriesimuleringar av berg-vatten-systemet för att klarlägga bergets reducerande kapacitet och reaktionshastighet pågår och kommer att fortsätta. Ett in-situ-försök med liknande syfte övervägs.

Närzonskemi

Geokemiska modellberäkningar av utvecklingen i närområdet, t ex vattensammansättning och mineralomvandling, pågår och kommer att fortsätta. En utveckling av kopplade modeller, transport/kemiska reaktioner, har initierats.

För det fall man vill utgå från betydligt högre förvarstemperaturer än 100°C är det nödvändigt att särskilt utreda betydelsen av detta för närområdet. Det kräver bl a en databas för aktuellt temperaturområde, eftersom man inte kan extrapolera existerande data till temperaturer mycket högre än 100°C.

5.2 Radionuklidkemi

5.2.1 Bakgrund

Radionuklidens löslighet och rörlighet bestäms av deras kemiska egenskaper och den kemiska miljö som råder i och utanför förvaret. Uppgifter om löslighet, sorption och diffusion ligger till grund för beräkningar av tänkbara utsläpp i biosfären i händelse av kapselgenombrott.

Allmänt sett är löslighet och rörlighet låg för de allra flesta radionuklider i grundvatten. De undantag som finns, och framförallt de mekanismer som skulle kunna tänkas förändra bilden ogynnsamt, ägnas särskild uppmärksamhet, t ex radiolys, redoxreaktioner, komplex- och kolloidbildning.

5.2.2 Mål för FoU-verksamheten

De radionuklidkemiska undersökningarna har följande målsättning:

- Mäta och sammanställa de kemiska basdata som behövs för att beskriva löslighet, oorganisk speciering och medfällning av radionuklider i och utanför förvaret.

- Fastställa möjliga halter, stabilitet och mobilitet av upplösta radionuklider i form av kolloider, humin-komplex eller andra aggregat, t ex mikrober.
- Beskriva radionuklidens växelverkan med berg och återfyllnadsmaterial i form av redoxreaktioner, yt-sorption och diffusion.
- Fastställa radiolysens omfattning och inverkan i närområdet.

Den första punkten sker till stor del i internationellt samarbete – dels för att utföra mätningar av lösningskemiska konstanter, dels för att sammanställa en allmänt accepterad och väldokumenterad databas.

Egna mätningar görs där så erfordras och modern datateknik används för såväl lagring av data som kemiska modellberäkningar. Det är eftersträvansvärt att samtliga beräkningar som ingår i en slutredovisning genomförs med en och samma redovisade databas.

Den andra punkten innefattar analys och karakterisering av de aggregat, t ex kolloider, huminämnen (humus- och fulvosyror) och mikrober, som finns i grundvattnet. Därtill kommer försök med upptag och rörlighet av radionuklider i sådan form. Till sist ingår modellbehandling av radionuklid-speciering och transportegenskaper, så långt det är möjligt.

Den tredje punkten innebär såväl laboratorieförsök som modellstudier med inriktning att förstå den fysikalisk-kemiska processen för retention i berget och att förse transportmodellerna med fördröjningskonstanter eller submodeller för ytsorption och diffusion. Det är också viktigt att visa att postulerade reaktioner mellan radionuklider och mineral verkligen äger rum, t ex reduktion av teknetium och neptunium.

Beträffande den fjärde punkten så finns redan nu goda möjligheter att beräkna strålfältet utanför och inuti en avfallskapsel som funktion av tiden. Det finns också en radiolyskinetisk modell som ger möjligheter att beräkna radiolysens omfattning. Nya kapslingskoncept kräver nya beräkningar.

För att validera den använda radiolysmodellen krävs radiolysförsök med urandioxid och helst även högaktivt avfall, se avsnitt 2.3.5.

5.2.3 Nuvarande kunskapsläge

Löslighet, speciering och medfällning

Termodynamiska jämviktskonstanter som beskriver radionuklidens löslighet och speciering i grundvattnet tas fram på många olika ställen runt om i världen. SKB samarbetar med CEA i Frankrike för att komplettera data för några viktiga ämnen /5-7/.

Internationellt samarbete pågår inom IAEA och OECD/NEA för att granska och sammanställa jämviktskonstanterna. Den ur vår synpunkt viktigaste ansträngningen att producera en noggrann, konsistent och väldokumenterad termodynamisk databas för radionuklider görs av OECD/NEA /5-8/. Ett antal internationella experter är engagerade. SKB stöder detta och följer arbetet noga.

Avancerade kemiska beräkningsmodeller som t ex EQ3/6 och PHREEQE för att beskriva radionuklid-

kemin i grundvattnet har introducerats och används alltmer /5-2/.

Fasta lösningar av olika aktinider (plutonium, neptunium m fl) i uran sänker deras löslighet avsevärt. Upplösningen av aktinider i använt bränsle försvåras härigenom. Redan upplösta aktinider kan vidare medfällas med uran om upplöst uran senare blir övermättat på grund av reduktion. Medfällningsfenomenet är välkänt och förväntas uppträda även i andra sammanhang av betydelse för radionuklidmigration, t ex då korrosionsprodukter bildas eller mineralen omvandlas. Svårigheten ligger i att utveckla en kvantitativ modell. Detta har emellertid goda utsikter att lyckas för kemiskt så pass närbesläktade ämnen som aktiniderna /5-9/. Experimentellt och teoretiskt arbete pågår.

Organiska komplex, kolloider och mikrober

Radionuklider transporteras i vatten, dels i löst, dels i partikelbunden form. Kunskapen om hur lågmolekylära komplexbildare påverkar löslighet och speciering av de olika radionukliderna är förhållandevis stor. Högmolekylära ämnen som humus- och fulvosyror kan också bilda komplex med radionuklider. Dessa ämnens betydelse för transport av radionuklider i djupa grundvattnet är däremot i stort sett okänd. Sedan KBS-3-rapporten skrevs har sådana ämnen isolerats från ytliga vatten och använts i komplexbildningsförsök. En teoretisk modell för dessa komplexbildningsreaktioner har också utvecklats /5-10/.

Sorption av radionuklider på inaktiva partiklar framstår som den troligtvis viktigaste mekanismen för radiokolloidbildning. En laboratorieundersökning har nyligen genomförts och utvärderats /5-11/. Halten naturliga kolloider är antagligen mycket lägre än vad som förutsattes i KBS-3 säkerhetsanalys.

Mikrober kan binda olika radionuklider som därigenom kommer att transporteras i "partikelbunden" form. Mikrobiella processer kan även tänkas ha geokemisk betydelse. Frågan har utretts i samband med förvarsstudier i Schweiz /5-12/ och England /5-13/. En förstudie av mikrobtransportens potentiella betydelse har genomförts på uppdrag av SKB /5-14/.

Radionuklidreaktioner

Behovet av att påvisa bergets reducerande kapacitet gentemot syre och andra oxidanter har redan diskuterats, se avsnitt 5.1.3. Det är också angeläget att finna bergets redoxbuffertkapacitet för oxiderade radionuklider och den hastighet med vilken reaktionerna sker. En reduktion minskar i allmänhet såväl löslighet som rörlighet. Försök att påvisa detta har pågått sedan en tid tillbaka.

Sorption och diffusion

Inför KBS-3-rapporten genomfördes ett stort antal försök med sorption av radionuklider på bergbitar och diffusion av radionuklider i bentonitlera och bergbitar.

Under senare år har framförallt laboratorieförsök med diffusion i berg genomförts /5-15 – 5-17/, se Figur

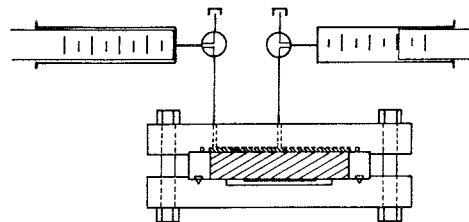
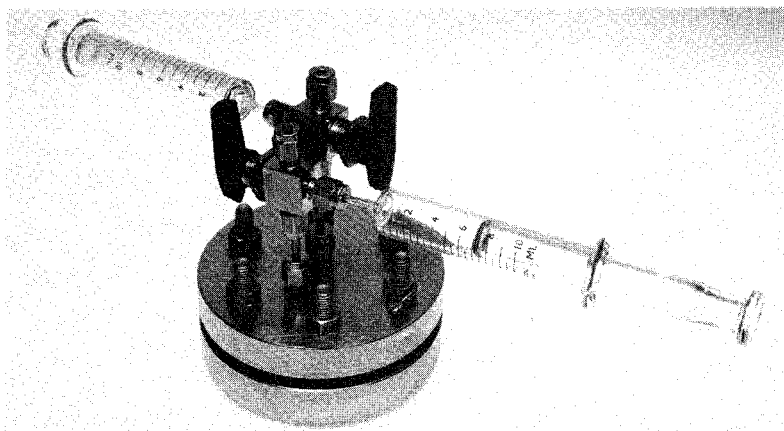
5-3. Successivt har en inriktning skett mot förståelsen av sorptions- och diffusionsförloppen på mineralytor, liksom mot en modellering av dessa processer. Modeller för ytsorption finns för övrigt redan implementerade i vissa geokemiska beräkningsprogram.

Sorption och diffusion av radionuklider i betong har studerats ingående med inriktning på förhållandena i SFR. Den speciella kemiska miljön i betong, t ex högt pH och hög halt av kalcium, har analyserats och beskrivits /5-18/.

Radiolys

Radiolys utanför en kapsel med använt bränsle och inuti kapseln, om den skulle penetreras, har behandlats och redovisats i KBS-3-rapporten. Uppskattningarna byggde på beräkningar av strålfältet utanför och inuti en kapsel, en antagen exponerad bränsleyta och teoretiska beräkningar med en modell för radiolyskinetiken. Modellen hade prövats på försök med gamma- och betaradiolys av vatten i bentonitlera.

Sedan dess har kompletterande beräkningar gjorts av bildningen av salpetersyra och organiska ämnen /5-19/ samt effekten av samtidig beta- och alfaradiolys /5-20/. Alfaradiolysförsök har genomförts och jämförts med teoretiska beräkningar /5-21/, se Figur 5-4. Radiolysmodellen har fungerat bra och resultaten hittills stöder de ursprungliga bedömningarna i KBS-3-rapporten. Beräkningar har också gjorts med inriktning att belysa betydelsen av radiolys i cementingjutet låg- och medelaktivt avfall /5-22/.



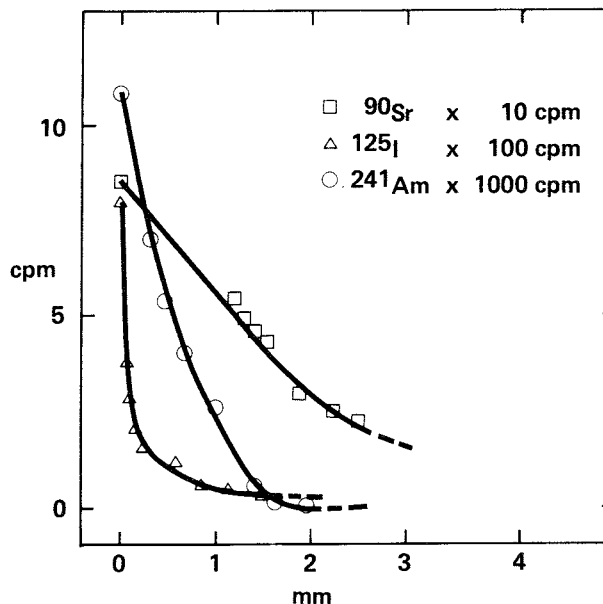
Figur 5-4. Utrustning för att mäta vätgasproduktion i alfabestrålad våt kompakterad bentonitlera. Strålkällan innehåller ^{241}Am och ger 30 MBq (nominell aktivitet). Diametern på den aktiva ytan är 25 mm.

5.2.4 Forskningsprogram 1987-1992

Löslighet, speciering och medfällning

Fortsatta mätningar av termodynamiska lösningskemiska konstanter för aktinider i naturvattensystemet förutses. Tyngdpunkten hittills har legat på karbonatjonen som den viktigaste liganden. Ett ökat intresse för andra ligander förväntas, t ex fosfatjoner.

Fortsatta medfällningsförsök förutses av tre olika slag – inaktiva försök av grundläggande karaktär, försök som simulerar naturliga förhållanden och labora-



Figur 5-3. Uppmätt inträngning av radionuklider i granit från en vattenlösning. Kontakttiderna är för strontium 164 dygn, jod 421 dygn och americium 1202 dygn. Strontium går som väntat snabbare in än americium. Anmärkningsvärd är den obetydliga inträngningen av jod.

torieförsök med radionuklider. Det kan bli aktuellt att undersöka även andra typer av medfällning än med uran.

SKB planerar att med hjälp av sina vetenskapliga konsulter bygga upp en "egen" dokumenterad databas på radionuklid- och geokemiområdet. Den förutses till allt väsentligt vila på OECD/NEAs databas. Databasen liksom lämpliga beräkningsprogram, t ex EQ3/6 och PHREEQE, bör kunna hållas allmänt tillgängliga /5-23/.

Kolloider, huminkomplex och mikrober

Mängden och arten av sådana ämnen i naturliga grundvatten undersöks.

För kolloider innebär detta att provtagningsmetoder måste utvecklas och lämpliga analysmetoder provas ut.

För huminämnen gäller att relativt stora mängder måste samlas in för vidare karakterisering och experiment. En separationslinje byggs upp, där huminämnen som insamlats från stora volymer grundvatten kan analyseras och isoleras för ytterligare experiment.

Ytterligare försök med radionuklider och naturliga kolloider planeras.

Ytterligare försök med radionuklider och naturliga organiska komplexbildare kommer också att genomföras. Möjligheterna att bygga upp en modell som beskriver denna typ av komplexbildare utreds experimentellt och teoretiskt.

En fortsättning på gjorda förstudier av mikrobernas betydelse planeras. Utvecklingen i speciellt England kommer att följas noga.

Sammanfattningsvis kan sägas, att tyngdpunkten i undersökningarna kommer att ligga på naturliga organiska komplexbildare såsom humus- och fulvosyror. De är allmänt av stor betydelse för spårämnen i naturvatten. Relativt omfattande studier har påbörjats.

En satsning på ytligare liggande förvar skulle innebära vatten med dels lägre jonstyrka, dels högre förväntad halt av organiska ämnen. Detta behöver i så fall beaktas ur kolloid- och komplexbildningssynpunkt.

Radionuklidreaktioner

Laboratorieförsök med reduktion av redoxkänsliga radionuklider såsom uran, neptunium och teknetium pågår sedan en längre tid. Ytterligare försök med uran genomförs nu och en ökad satsning på denna del av radionuklidkemin förutses. In-situ-försök med liknande inriktning övervägs.

Vittringsprocesser förväntas öka sorptionen av radionuklider. Detta skall om möjligt undersökas närmare.

Sorption och diffusion

Laboratorieförsök med sorption och diffusion av radionuklider i bergmineralen fortsätter, men nu med inriktningen att få fram underlag för de mera avancerade modellerna för sorption och diffusion, dvs ytdiffusion, ytkomplexering, ytreaktion etc. En ökad förståelse av fenomenen och framtagningen av submodeller, som kan användas i transportmodellerna, prioriteras.

Laboratorieförsöken med sorption och diffusion i betong kommer att fortsätta med inriktning mot alternativa förvarskoncept för högaktivt avfall. Även betongens inverkan på omgivningen och betongens egen kemiska och strukturella förändring behöver ytterligare belysas.

Bentonit med tillsatser, sk getters, har föreslagits. En utredning av detta innebär experiment med radionuklid diffusion och -reaktion i sådant blandmaterial

samt studier av tillsatsmaterialens effekt på bentoniten och övriga närområdeskomponenter.

Radiolys

Fortsatta försök och kompletterande modellberäkningar förutses. En viktig utveckling på området är experiment i samband med undersökningarna av det använda bränslet, se avsnitt 2.3.

Ett ventilerat slutförvar ger andra villkor för radiolys, vilket i så fall behöver analyseras.

5.3 Kemisk transport

5.3.1 Bakgrund

Transportberäkningar för upplösta ämnen i närområdet är viktiga vid analysen av förvarets funktion och säkerhet. Såväl uttransporten av upplösta radionuklider som intransporten av inaktiva ämnen, vilka påverkar buffertmaterialen, kapseln och avfallet, är av betydelse. Även uttransporten av inaktiva ämnen, vilka påverkar buffertmaterialen och berget, är betydelsefull.

Beräkningsmodeller för transport av radionuklider i fjärrområdet är nödvändiga redskap i säkerhetsanalysen.

Utöver de geokemiska och radionuklidkemiska basdata, som redan behandlats i föregående avsnitt, är det valda bergets hydrauliska egenskaper, utformningen av deponeringsutrymmen och de komponenter som ingår, viktiga grunddata för uppskattningar eller beräkningar av transport i närområdet.

Grundläggande för alla beräkningar av radionuklidtransport i fjärrområdet är också de geohydrologiska modellerna för vattenflöde i sprickigt berg.

5.3.2 Mål för FoU-verksamheten

Målsättningen är att beskriva följande:

- Förändringar i närområdets kemiska miljö på grund av transportberoende processer.
- Transport av radionuklider ut ur närområdet.
- Spridning och kvarhållning av radionuklider ute i berget.

Den första punkten avser en hel rad transportberoende kemiska processer som påverkar korrosion, buffertstabilitet, porositet i omgivande berg och utvecklingen av en redoxfront i buffert eller berg.

Nya förvarskoncept har stor inverkan, t ex val av avfallsmängd, kapslings- och återfyllnadsmaterial, bergart, förvarsdjup och grundvattenförhållanden.

Den andra punkten avser uttransporten av radionuklider ur närområdet. Ökad kunskap om närområdets hydrologiska egenskaper, nya modeller för radionuklidfrigörelse från avfallet och val av alternativa förvarsutföranden, är av avgörande betydelse för utvecklingen på det här området.

Den sista punkten avser radionuklidmigrationen i berget.

5.3.3 Nuvarande kunskapsläge

Närområdet

Transporten av följande ämnen i närområdet har analyserats i samband med KBS-3-rapporten:

- Korroderanter: Sulfid-, sulfat- och järnjoner, syre.
- Radiolysprodukter: Oxidanter, vätgas.
- Komplexbildare: Karbonatjoner, humussyror.
- Radionuklider.
- Bentonit-reaktanter: Kalcium, kalium.

För de transportekvationer som man ställt upp har det varit tillräckligt med analytiska lösningar, vilket bekräftats genom jämförelser med mer avancerade lösningar med en integrerad-finit-differens-metod /5-24/.

Betydelsen av diffusionsmotståndet i det långsamt strömmande vattnet i berget intill bufferten och kapseln har påvisats /5-24/.

Utvecklingen av en radiolysfront har förutskickats och beräknats utifrån förenklade antaganden om redoxreaktioner mellan järnmineral och radiolysgenererade oxidanter /5-25 – 5-27/.

Betydelsen av uppvärmning för transporten har endast analyserats med avseende på ökat vattenflöde genom konvektion /5-28/. Några kopplade fenomen (Onsager-effekter, t ex termodiffusion), har inte beaktats på grund av de mycket små temperaturgradienter som varit aktuella.

Fjärrområdet

I KBS-3 behandlades dispersion i flödesriktningen liksom fördröjning på grund av ytsorption, K_d , och diffusion av radionuklider in i bergets öppna mikrosprickor.

Sedan har denna utveckling fortsatt. Modeller för dispersion i flödesriktningen, exempelvis kanalbildning, /5-29 och 5-30/, är viktiga att validera. Transport av radionuklider i starkt uppsruckna partier av berget, sprickzoner, har analyserats teoretiskt /5-31 och 5-32/. Fördröjningen av migrerande radionuklider i sprickzoner användes aldrig i KBS-3.

Utvecklingen av modeller som kopplar transportmodeller och geokemiska modeller har påbörjats. Användning förutses för såväl när- som fjärrområdet /5-33/.

5.3.4 Forskningsprogram 1987-1992

Närområdet

Modellerna för transport av radionuklider ut ur närområdet utvidgas till att ta hänsyn till kedjesönderfall, lösningsbegränsningar och en noggrannare beskrivning av geometrin hos förvaret.

Kemiska förändringar, Eh, pH och mineralomvandlingar i närområdet, beskrivs med kopplade modeller transport/geokemi. Transport av gas ut ur närområdet beskrivs med modeller.

Behovet av ovan anförda utveckling uppstår framförallt vid analys av alternativa förvarsutformningar, andra avfallskapslar, t ex järn eller keramer, och andra

återfyllnadsmaterial, t ex betong.

I den mån högre temperaturer blir aktuella bör man särskilt se över de kemiska problem som det medför.

Fjärrområdet

Den redan påbörjade utvecklingen av modeller, som kopplar transport med en noggrann beskrivning av kemin, dvs geokemimodeller, fortsätter. Målet är att beräkna förändringen i vattnets sammansättning längs flödesvägen så att samtidigt radionuklidens utfällning, upplösning, sorption m m kan beräknas. Flerdimensionell transport och matrisdiffusion byggs in. Utvecklingen av detaljerade modeller för ytsorption och diffusion tas tillvara och inkluderas i transportmodellerna.

5.4 Validering av transportmodeller

5.4.1 Bakgrund

I analysen av förvarets funktion och säkerhet används beräkningsmodeller för frigörelse och transport av radionuklider. Dessa modeller och bakomliggande beskrivande modeller måste prövas - valideras - mot oberoende försök och observationer. Av praktiska skäl är det nödvändigt med en blandning av exempel där olika delar av och aspekter på modellerna prövas. Laboratorieförsök, in-situ-försök och studier av exempel i naturen - naturliga analogier - används för detta ändamål.

Fördelen med att i laboratoriet efterlikna naturliga förhållanden ligger givetvis i möjligheterna att helt kontrollera försöksbetingelserna. Detta är av särskild vikt för försök med radionuklider, som dels sorberas kraftigt, dels ställer krav på en radiologiskt säker hantering.

In-situ-försök är lämpliga för att validera modeller för vattenströmning i berg och för de fall där det inte går eller är svårt att simulera ostörda förhållanden i laboratoriet, t ex diffusion i ostört berg och redoxprocesser.

Säkerheten för ett slutförvar ska bedömas i en tidskala, som är otillgänglig för planerade försök. Exempel på frigörelse och migration av radionuklider i naturen kan däremot tjäna som studieobjekt i detta avseende.

5.4.2 Mål för FoU-verksamheten

Målsättningen är att, med laboratorieförsök, in-situ-försök och studier av naturliga analogier, validera de kemiska transportmodeller som används för att beskriva frigörelse och spridning av radionuklider från ett slutförvar. En kombination av resultat från de uppräknade verksamhetsområdena torde täcka alla valideringsaspekter.

En viktig uppgift i sammanhanget är själva bevakningen av området, dvs att befintliga modeller ständigt prövas på de försöks- och undersökningsresultat som framkommer här och annorstädes. Likaså ska transportmodellernas behov vara styrande för valet av valideringsundersökning.

5.4.3 Nuvarande kunskapsläge

Laboratorieförsök

Borrkärnor, som tagits så att de innehåller en naturlig vattenförande spricka, har sedan slutet av 1970-talet använts för hydrodynamiska flödestester och migrationsförsök med radionuklider /5-34/. Resultaten har analyserats med transportmodeller där blandning, diffusion in i öppna mikroporer, ytsorption och dispersion ingår /5-35/.

In-situ-försök

Målet för spårförsök in-situ har i första hand varit att studera grundvattenströmningen. Detta är en viktig uppgift eftersom vattenflödets storlek och fördelning i hög grad styr de processer som är viktiga för förvarets säkerhet, se avsnitt 3.1 och 3.3.

Migrationsförsök med verkliga eller simulerade radionuklider har varit svåra att genomföra och tolka. Även svagt sorberande ämnen kan fördröjas så kraftigt att högt flöde, kort migrationssträcka eller lång observationstid krävs.

Försök med sorberande radionuklider eller radionuklidliknande ämnen mellan borrhål från markytan har genomförts i Studsvik /5-36/ och Finnsjön /5-37/. Här har flödet ökat genom pumpning i provtagningshålet. Resultaten har tolkats med transportmodeller och redovisats i KBS-3.

In-situ-försök med såväl sorberande som icke sorberande ämnen har genomförts i en enskild spricka i Stripa inom OECD/NEA projektet. Trots den relativt korta migrationssträckan krävdes det att man friborrade sprickan och analyserade ytan för att bestämma de sorberande ämnens transport. Resultaten från försöken har rapporterats /5-38/.

Ett storskaligt försök med icke sorberande spårämnen, det sk 3D-försöket, pågår också i Stripa inom ramen för OECD/NEA projektet /5-39/.

Spårförsök med vattentrogna spårämnen i Stripa har även gjorts helt på SKBs uppdrag. I de sk kranshålsförsöken undersöks vattenflödet i en liten men väldefinierad bergmassa /5-40/.

Sedan 1982 har en serie av delvis annorlunda in-situ spårämnesförsök pågått i Stripa för att undersöka diffusionsegenskaperna och åtkomligheten i det förbundna mikroporsystemet i ostört berg. Icke sorberande spårämnen injiceras under lågt övertryck i ett relativt tunt borrhål utom räckhåll för den störda zonen runt tunneln. Två sådana försök är genomförda och analyserade /5-41 och 5-42/. Resultatet redovisades i KBS-3. Det sista försöket i serien, som pågått sedan 1982, har avbrutits för provtagning och analys.

Sammanfattningsvis kan man framhålla att in-situ-försök med såväl vattentrogna spårämnen som med sorberande radionuklidliknande ämnen har genomförts. Resultaten har använts för att validera transportmodeller. Användningen av egna och andras laboratorieförsök och in-situ-försök för validering av modeller för radionuklidtransport följs upp systematiskt.

Naturliga analogier

En vägledande slutsats från översikter av tidigare gjorda undersökningar är att det inte finns någon ana-

logi, som i alla avseenden efterliknar förhållandena i ett slutförvar. Däremot går det att skilja ut naturliga processer som är gemensamma /5-43/.

Oklo-reaktorn i Gabon i Afrika undersöktes relativt grundligt av internationell expertis under IAEAs ledning. Resultaten från dessa och senare undersökningar analyserades med inriktningen att belysa radionuklidens omfattning och inverkan på den omedelbara omgivningen och frigörelsen av radionuklider ur "bränslet" /5-44/.

En ytterligare genomgång och sammanställning av undersökningsmaterial från Oklo har gjorts i /5-45/. Speciellt anmärkningsvärt är att "bränslet" varit så lite påverkat. Aktinider och sällsynta jordartsmetaller har dessutom hållits på plats medan teknetium, alkalimetaller och alkaliska jordartsmetaller inte oväntat har varit rörliga. En del av dessa senare ämnen har kvarhållits av omgivande sandsten.

Toriumförekomsten i Morro do Ferro i Brasilien har hittills undersökts främst med inriktning på spridning av radionuklider i biosfären /5-43/. Sverige (SKB) har här deltagit tillsammans med USA, Brasilien och Schweiz (NAGRA).

Borrkärnor från Kråkemåla (Sverige), Grimsel och Böttstein (Schweiz) har undersökts i samarbete med schweiziska NAGRA. Målsättningen har varit att bestämma rörligheten hos främst uran, vinkelrätt mot en vattenförande spricka i granitiskt berg. I de svenska proven från Kråkemåla kan man se att uran varit rörligt inom 3 cm från sprickan /5-46/.

5.4.4 Forskningsprogram 1987-1992

Laboratorieförsök

Försök med radionuklidmigration i öppna sprickor som friborrats och tagits in i laboratoriet fortsätter. Ansträngningar görs för att i så hög grad som möjligt efterlikna den naturliga kemiska miljön, dvs karbonatkontrollerat pH och syrefria, reducerande förhållanden.

Ökade insatser förutses för att validera modeller för förbrukning av oxidanter, reduktion av aktinider medfällning och bakteriell inverkan.

In-situ-försök

Försök med vattentrogna spårämnen förutses inom ramen för sprickzonsundersökningarna, i Stripa projektet och i det underjordiska berglaboratoriet, se avsnitt 3.1, 3.4 och 7.3.

Försök med sorberande ämnen övervägs. Bergens reducerande egenskaper gentemot syre och redoxkänsliga radionuklider kan bli föremål för in-situ-undersökningar beroende på hur förundersökningar utfaller.

Naturliga analogier

I samarbete med England (UKDOE), Schweiz (NAGRA) och Brasilien genomförs en undersökning av naturliga analogier i Poços de Caldas i Brasilien /5-47/. Arbetet påbörjades i maj 1986 och planeras pågå i tre år. SKB har ansvaret för projektledningen, se vidare avsnitt 7.6.

Inhemska uranmineraliseringar undersöks intensivt så att underlag finns om några år för att eventuellt

komplettera Poços de Caldas-projektet med en fortsatt undersökning i Sverige. Förstudier har visat, att de svenska jämförbara analogierna inte är lika enkla och tydliga, men berg och grundvattenförhållanden är å andra sidan mera lika förväntade förvarsförhållanden /5-48/.

De gemensamt av SKB och NAGRA stödda studierna av naturliga radionuklidens fördelning kring öppna sprickor i borrhävar från granitiskt berg kommer troligen att fortsätta. Diskussioner pågår.

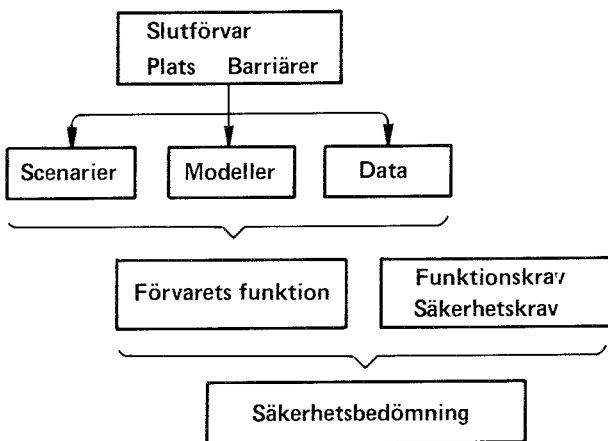
Uranmineraliseringarna i Alligator Rivers-området i Australien /5-43 och 5-49/ och Cigar Lake i Kanada /5-49/ har föreslagits av respektive värdland som lämpliga objekt för internationella naturliga analogi-studier. Båda förekomsterna uppvisar intressanta drag. Så ligger t ex uranmalmen i Cigar Lake nere i berget isolerad av ett skal av sekundärt bildad lera. I Alligator Rivers finns uranet med tillhörande ämnen nära markytan och deltar följaktligen i pågående transportprocesser, där partiklar och troligen även huminämnen deltar.

Vi avvaktar för närvarande förundersökningarna och planeringen av Alligator Rivers- och Cigar Lake-projekten. Ett framtida svenskt deltagande kan bli aktuellt.

6 SÄKERHETSANALYS

6.1 Bakgrund

Innan man kan analysera säkerheten hos ett slutförvar måste förvarsplats och tekniska barriärer definieras samt deras växelverkan med varandra och omgivningen identifieras. Härigenom kan förvarets och ingående komponenters funktion definieras för olika valda externa förutsättningar (scenarier). En analys av förvarets funktion uttryckt i relevanta termer med hänsyn till funktionskrav och säkerhetskrav kallas säkerhetsanalys, se Figur 6-1.



Figur 6-1. Principschema för funktions- och säkerhetsanalyser.

Under olika faser av utveckling och licensiering av ett slutförvar för använt bränsle kommer syftet med funktionsanalysen att ändras. Under ett tidigt skede utvärderas förvarets delfunktioner för prioritering av forsknings- och utvecklingsinsatser. Så småningom måste man finna en balans mellan säkerhetsbarriärerna; systemet ska optimeras med avseende på funktion och kostnad på en acceptabel säkerhetsnivå. Under licensieringsskedet måste det slutligen formellt visas att systemet uppfyller samhällets krav på säkerhet. Olika syften ställer olika krav på funktionsanalysen.

Efter en genomgång av målsättningarna i avsnitt 6.2, diskuteras i avsnitt 6.3 scenarioval och scenarioanalys samt acceptanskriterier. I avsnitt 6.4 behandlas utvecklingen av modeller och databas för analys av förvarets funktion och i avsnitt 6.5 de funktions- och säkerhetsanalyser som avses bli genomförda under den närmaste sexårsperioden.

6.2 Mål för FoU-verksamheten

I ett tidigt skede drevs utvecklingen av förvarsidén parallellt med de genomförbarhetsstudier som lagen krävde. Den strategi som valdes för funktionsanalysen i KBS-1 och KBS-3 innebar att förenklingar kunde göras, så länge dessa inte ledde till att de radiologiska konsekvenserna av förvarets existens underskattades.

Efter slutförande av KBS-3-rapporten har målen för den utveckling som bedrivs på funktions- och säkerhetsanalysområdet omformulerats. De nya målen tar sikte på det slutliga valet av en förvaringsplats och konstruerandet av själva förvaret.

De övergripande målen är att:

- genomföra en slutlig säkerhetsanalys av det verkliga förvaret,
- kunna göra mer realistiska analyser för att bättre kvantifiera säkerhetsmarginalerna.

Utvecklingsinsatserna syftar till att förbättra möjligheterna till:

- prioritering av forskning och utveckling,
- utvärdering av ett antal möjliga förvaringsplatser och ett antal icke platsspecifika konstruktionsprinciper som utgångspunkt för ett rangordnande,
- optimering av förvarskonstruktionen för den slutgiltigt valda platsen. För detta måste de närliggande insatserna inriktas på att bygga upp de databaser och modeller som erfordras för olika alternativa utformningar,
- att bedöma osäkerheterna i förutsägelseerna rörande förvarsfunktion, radiologiska konsekvenser och övergripande säkerhet, samt bedöma resultatets känslighet med avseende på variation i konstruktionsparametrar och osäkerhet i databasmaterialet.

6.3 Scenarier och acceptanskriterier

För genomförandet av en relevant funktionsanalys måste de för analysyfte, utformning och plats relevanta externa förhållandena definieras.

Scenarier kan väljas för att representera ändringar i:

- omgivningsförhållanden som kan påverka förvarets funktion, föranledda av t ex nedisningar eller att människor tränger in i förvaret,
- naturförhållanden eller användning av naturresurser som kan påverka de radiologiska konsekvensbedömningarna, t ex torrläggning av Östersjön eller storskaliga dietförändringar.

Scenarier kan också representera Extremsituationer eller bortfall av någon enstaka skyddsbarriär (t ex vissa scenarier som redovisas i KBS-3).

Scenarier måste väljas med hänsyn till analysens syfte, så att adekvata fall redovisas både vad gäller konsekvenser för säkerhet och sannolikhet för att det inträffar. SKBs insatser för scenarioval och scenariodefinition kommer att bedrivs i viss samordning med det internationella samarbete som nyligen initierats inom OECD/NEA, och med hänsyn till de genomgångar av alternativa systemutformningar som planeras.

En systematisk genomgång av scenarier relevanta för svenska förhållanden och för hittills studerade systemutformningar kommer att göras under 1987.

Ansvaret för utveckling och definition av acceptanskriterier för slutförvarsanläggningar ligger främst hos myndigheter och samhälle. Kriteriernas utformning kan starkt påverka både medel och metodik för säkerhetsanalyserna. Exempel på väsentliga frågeställningar är:

- På vilken nivå (komponenter-totalsystem) sätts acceptanskriterierna?
- På vilket sätt förs sannolikhetsbegreppet in i kriterierna?
- Hur hanteras små dosbidrag och populationsdoser?
- Hur behandlas de långa tidsrymderna?
- Hur hanteras osäkerhetsbegreppen?
- Hur kommer strålskyddsriktlinjernas optimeringskrav att tillämpas?

SKB kommer att följa den nationella och internationella utvecklingen inom området och i samråd med myndigheterna skapa en bas för kriterieuppbyggnad. För närvarande kan inga direkta insatser definieras för den kommande sexårsperioden.

6.4 Modeller och data för funktions- och säkerhetsanalyser

6.4.1 Bakgrund

Man kan förvänta sig mycket stor tidsmässig förskjutning mellan deponeringen av det använda bränslet och utläckaget från kapslarna med eventuell följande miljöpåverkan. Därför måste man lita till beräkningar och bedömningar av förvarets funktion, baserade på korttidsexperiment och matematisk modellering av delfunktioner.

En mycket viktig ingrediens i SKBs funktionsanalysutveckling är det modellarbete som äger rum på olika nivåer. Begreppet modell används här för alla stadier i utvecklingen: en begreppsmässig modell utvecklas ofta till en matematisk beräkningsmodell som sedan utvecklas till ett datorprogram. Här kommer ordet "modell" oftast att vara synonymt med ordet "datorprogram". Tre olika nivåer kan särskiljas (distinktionerna kan ibland vara svåra att göra):

- Detaljerade, forskningsrelaterade modeller av olika processer och fenomen knutna till områden som hydrologi, geokemi, materialvetenskap, och deras växelverkan (forskningsrelaterade modeller).
- Modeller av total radionuklidtransport i förvarets närzon, fjärrzon och i biosfären (analysmodeller).

| Program | Användningsområde | Egenskaper |
|-------------------|---------------------------------------|---|
| HYPAC/GWHRT | Geohydrologi | 3-D, homogent medium, dubbel porositet Påtvingad konvektion Diverse randvillkor Finita element |
| QEQCAL | Närzonsmigration | Designspecifik, en kapsel Diffusion genom lerbarriären till bergsprickor |
| LCHCAL | Närzonsmigration | Kedjesönderfall Löslighetsbegränsningar |
| NUCDIF | Fjärrzonsmigration | 1-D, matrisdiffusion Enstaka nuklid Randvillkor: kongruent upplösning Halvanalytisk |
| TRUCHN (TRUMP) | Närzons- och fjärrzonsmodellering | Allmän 1-D, 2-D eller 3-D Kedjesönderfall Godtyckligt randvillkor Integrerade finita differenser |
| BIOPATH | Biosfärmodellering och dosberäkningar | Compartimentteori |

Figur 6-2. Fristående analysmodeller använda i SKBs funktionsanalyserbete.

- Modeller för osäkerhets- och känslighetsanalyser (probabilistiska systemanalysmodeller i den meningen att sannolikhetsfördelningar kan ges för indata för att representera osäkerheter).

Den grundläggande forskningen, insamlingen av data och den detaljerade modelleringen utgör den vetenskapliga grund på vilken analysarbetet vilar. De detaljerade forskningsmodellerna är ofta för komplicerade och behandlar ett alltför snävt område för att kunna användas i övergripande analyser av förvarets funktion. Resultat från forskningsmodeller kan däremot i många fall användas som indata till analysmodeller.

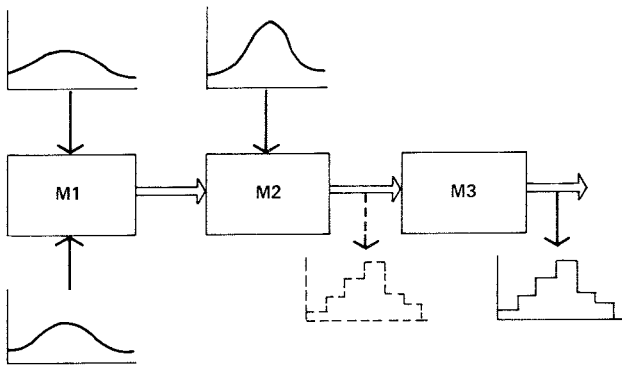
Av stor betydelse för funktionsanalysutvecklingen är också SKBs centraliserade databas. Systemet är baserat på databasprogrammet MIMER och implementerat på en VAX-11/750 levererad av Digital Equipment. Databasen ger analytikern omedelbar tillgång till geovetenskapliga och barriärrelaterade data från typområdesundersökningar och laboratoriestudier för vidare utvärdering och statistisk bearbetning. Det senare är speciellt viktigt för förenklade analysmodeller och osäkerhetsanalyser i vilka starkt bearbetade data med fördelningar används.

6.4.2 Nuvarande kunskapsläge

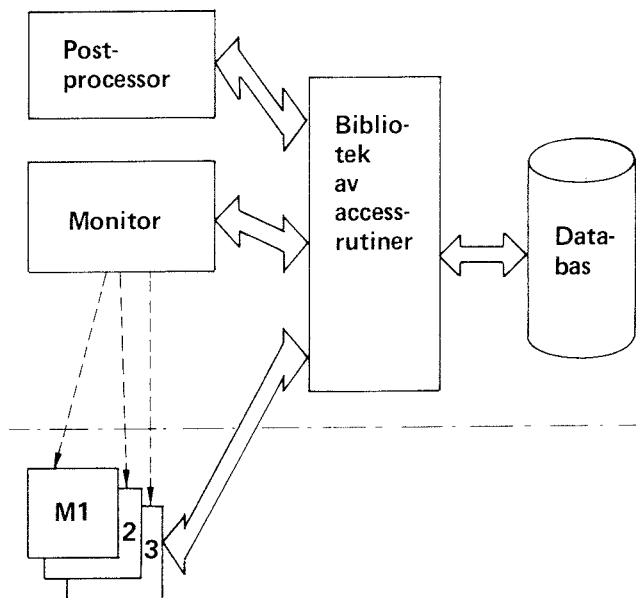
Utvecklingen och användningen av detaljerade forskningsmodeller och motsvarande insamling av data beskrivs i andra kapitel i FoU-planen. Analysmodeller som använts i KBS-arbetet och som kommer att användas även i framtiden finns beskrivna i Figur 6-2. Flera av dessa kan även betraktas som forskningsmodeller.

SKB inledde vid årsskiftet 1984-85 utvecklingen av en probabilistisk systemanalysmodell, ett datorprogrampaket kallat PROPER, avsett att utgöra ett verktyg för prioritering av forsknings- och utvecklingsinsatser, bedömningar i platsvalsprocessen, säkerhetsanalyser m m.

Systemet är i första hand avsett för analyser av förvarets funktion vad gäller frigörelse och transport av radionuklider från bränsleinslutningen till biosfären.



Figur 6-3. Principschema för PROPERs funktion. Ett antal kopplade submodeller (M1, M2 och M3), ges indata med hjälp av stickprovstagning från fördelningar. Data mellan submodeller utgörs av tidsserier. Statistik i form av histogram el dyl kan erhållas.



Figur 6-4. PROPERs struktur. Monitorn som är själva styrprogrammet styr beräkningarna med olika submodeller. Resultaten bearbetas i postprocessorn.

ren. Stora krav har ställts på systemets flexibilitet vad gäller möjligheten att koppla ihop ett godtyckligt urval av analysmodeller från någon typ av modellbibliotek. Indata anges som sannolikhetsfördelningar för att representera osäkerheter. Beräkningsresultaten bearbetas statistiskt för utvärdering av deras osäkerhet och för känslighetsanalyser, se Figur 6-3.

En första version av programpaketet är i det närmaste helt färdigställd. Det består av ett styrprogram och ett antal analysmodeller eller undermodeller, se Figur 6-4, som kan kopplas ihop relativt godtyckligt utan ingrepp i någon programkod. Överföringen av osäkerheter i indata till osäkerhet i resultatet sker med Monte Carlo-teknik, vilket medför att analysmodellerna måste göras något förenklade, eller på annat sätt anpassade.

Standardiserad, strukturerad programmering har använts vid utvecklingsarbetet som ett led i en strävan att underlätta dokumentation och underhåll av systemet och göra det flyttbart mellan olika datorer.

De undermodeller som för närvarande finns i biblioteket är först och främst ett antal som var för sig behandlar geohydrologin, närzonen, fjärrzonen och biosfären baserat på KBS-3-utförandet på förvaret. Förutom dessa finns modeller för användning i en av NEA initierad jämförelsestudie, se avsnitt 7.10.

Systemet är naturligtvis inte bundet till KBS-3-utförandet, utan fungerar i princip även för alternativa utformningar med andra undermodeller.

I utvecklingsarbetet ingår även:

- validering av modellernas begreppsmässiga riktighet,
- numerisk verifiering av beräkningsmodellernas algoritmer,
- användning av kvalitetssäkringsprocedurer i samband med programutvecklingsarbetet.

Direkt validering genom jämförelser mellan resultat från modeller och observationer av naturliga fenomen sker i första hand på forskningsmodellnivå. Detta arbete beskrivs i andra kapitel.

Transportmodellerna NUCDIF och TRUCHN som används i KBS-3 har använts i en verifieringsstudie inom ramen för NEA-projektet INTRACOIN, initierat och lett av kärnkraftinspektionen /6-1/. HYPAC/GWHRT verifieras för närvarande i ett liknande projekt för hydrologimodeller, HYDROCOIN /6-2/.

I en strävan att upprätthålla god kvalitetssäkring i programutvecklingsarbetet för PROPER har en särskild programmeringsstandard tagits fram. Ytterligare procedurer och dokumentation är under utarbetande.

6.4.3 Forskningsprogram 1987-1992

De viktigaste utvecklingsinsatserna under perioden 1987-1992 framgår nedan. Arbetet bedrivs med sikte på att vid årsskiftet 1988-89 resultera i en uppsättning modeller för en generisk pilotanalys. Detta innebär att insatser måste vara genomförda rörande:

- testning, verifiering, validering/kalibrering, dokumentation av första generationens analysmodeller (i stort sett vidareutveckling av de nu befintliga) samt av PROPER styrprogram och utvärderingsrutiner,
- känslighetsanalysprocedurer för PROPER,
- förbättrad resultatpresentation för PROPER,
- principstudier av andra generationens analysmodeller (ger möjlighet till jämförelser).

En ny uppsättning modeller bedöms kunna utvecklas, så att de kan användas för platsutvärdering 1992. För att uppnå detta krävs under andra halvan av perioden insatser rörande:

- platsspecifika andra generationens analysmodeller inklusive tester, dokumentation, validering-kalibrering, verifiering etc,
- ytterligare förbättrad resultatpresentation för PROPER.

Analysmodellerna har för närvarande vissa svagheter som kräver att säkerhetsmarginaler tillämpas vid analyserna. Geohydrologimodellerna är baserade på att det sprickiga berget behandlas som ett poröst medium. Transportmodellerna behandlar endast enstaka kapslar. De modeller som är utformade speciellt för PROPER tar dessutom inte hänsyn till kedjesönderfall. Viss berättigad kritik har också framförts mot alltför detaljerad modellering av biosfären för långa tidsperioder, se kapitel 4. För nästa generation modeller planeras därför följande insatser:

- *Geohydrologi:*
 - Bättre behandling av sprickigt medium.
 - Eventuella platsspecifika modeller.
 - Användning av geostatistik.

- *Radionuklidtransport:*

- Modeller för hela förvaret.
- Införande av kedjesönderfall (för PROPER).

- *Biosfären:*

- För tider < 10 000 år - compartmentmodell.
- För tider > 10 000 år - jämförelse med naturlig erosion och omsättning av radionuklider.

I den fortsatta utvecklingen av analysmodeller kommer stor vikt att läggas vid beräkningsprogrammets snabbhet för användning i PROPER. Validering kan sällan ske direkt, utan måste genomföras med något slags kalibreringsprocedur, där beräkningsresultaten jämförs med resultat från andra modeller som har blivit validerade.

För att uppnå delmålen enligt ovan krävs också fortlöpande, stödjande utvecklingsarbete rörande:

- numeriska metoder i allmänhet,
- dokumentation,
- administrativa rutiner och kvalitetssäkringsprocedurer såsom ändringskontroll, standardiserad testning och dokumentation etc,
- rutiner för utnyttjande av data från databasen,
- statistiska rutiner i stil med precisionsmätning, variansreduktion, korrelationshantering och automatiserad känslighetsanalys; speciellt för PROPER.

Utvecklingsarbetet ska också hjälpa till att bygga upp en allmän erfarenhet för att underlätta modellering och beräkningar på alternativa förvarsprinciper.

6.5 Genomförande av funktions- och säkerhetsanalyser

Under perioden 1987-1992 kommer analyserna främst att genomföras för utvärdering och jämförelse av dels alternativa utformningar av barriärsystemet, dels potentiella platser för detaljundersökningar.

Som framgått ovan bedöms PROPER-systemet kunna utnyttjas fullt ut för dessa ändamål från ca 1989. Deterministiska analyser kommer också att genomföras med de större analysmodellerna.

Parallellt med alternativstudierna kommer funktionsanalyser av komponenter och delsystem att utnyttjas för att styra FoU-insatserna till områden som dominerar osäkerheten.

I säkerhetsanalyserna visar sig vissa nuklider dominera riskbilden medan andra är ointressanta. Det bedöms lämpligt att under sexårsperioden systematiskt analysera ett antal nuklider för att se om de på grundval av generiska, icke plats- eller systemspecifika data, kan avföras som ointressanta. Exempel på kandidater för sådana studier är kol-14, selen-79, zirkonium-93, teknetium-99, tenn-126, jod-129 samt cesium-135.

7 INTERNATIONELLT SAMARBETE

Utvecklingen inom kärnavfallsområdet sker i stor utsträckning i internationell samverkan och växelverkan. De flesta länder med ett större kärnkraftprogram har gjort upp planer för hantering av olika former av radioaktivt avfall och har påbörjat den forskning och utveckling som anses krävas. I ett internationellt perspektiv pågår därför idag en mycket omfattande verksamhet i form av experiment, modellutveckling, platsundersökningar, datasammanställningar etc inom kärnavfallsområdet, varav de svenska insatserna naturligtvis endast utgör en liten del.

I vilken utsträckning man för svensk del kan få direkt nytta av det som görs i andra länder beror i första hand på följande två faktorer:

- Tekniska och geologiska likheter i förvarsutformning och plats.
- Tidplaner för genomförande av forskningsprogram, storskaleförsök och demonstrationsprojekt samt byggande/drift av slutförvar.

Den nytta man för svensk del kan ha av andra länders forskning kan ligga på flera olika plan:

- Bidrag till metod och modellutveckling.
- Vidgat och förstärkt dataunderlag.
- Belysning av andra alternativ för förvars- och barriärutformning, materialval etc.
- Bidrag till att förstärka den allmänna tilltron till systemet genom bl a demonstrations- och storskaleförsök.

En viktig del av SKBs program är därför att på ett genomtänkt och effektivt sätt följa och ta tillvara den forskning och utveckling som sker i andra länder. Detta underlättas av det stora intresse som föreligger internationellt för det svenska arbetet. En detaljerad genomgång av den internationella forskningen och SKBs uppföljning av denna ges i /7-1/. I det följande ges en sammanfattning av de viktigaste programmen med relevans för den svenska verksamheten. Vidare ges en översikt över de olika internationella samarbetsprojekt i vilka SKB är direkt engagerat.

7.1 Utländsk FoU av vikt för SKBs program för slutförvaring av använt bränsle

USA

Planerna i USA är att bygga två slutförvar – det första i salt, basalt eller tuff och det andra eventuellt i kristallint berg. Tidplanerna i USA styrs i hög grad av "Nuclear Waste Policy Act" /7-2/.

Lagen fastslår att den federala regeringen har ansvaret för slutförvaringen av högaktivt avfall och använt bränsle. Det åligger DoE, Department of Energy, att bygga slutförvaret.

Lagen innehåller detaljerade anvisningar om hur platsurvalet skall gå till och när olika faser i den processen skall vara avklarade. Det första slutförvaret måste enligt lagen kunna börja användas senast 31 januari 1998.

För svenskt vidkommande har programmet för förvaring i kristallint berg störst intresse. Denna del är för närvarande under omprövning och man har nyligen beslutat att skjuta på planerade platsundersökningar till mitten av 1990-talet. Sverige har goda kontakter med USA rörande programmet för kristallint berg och svenska experter medverkar i programmet.

Hela det amerikanska kärnavfallsprogrammet är mycket omfattande. Metodiken för platsval och platsutvärdering av "first repository", liksom modellutveckling, studier av avfallsformerna och säkerhetsanalysen, är av värde för Sverige, även om förvarsmediet är ett annat. Inom flera områden - bränslelakning, geokemi, geoteknik, modellutveckling m fl - finns etablerade kontakter mellan svenska och amerikanska experter.

Kanada

AECL (Atomic Energy of Canada Ltd) är den federala organisation som har ansvaret för Kanadas kärnkraftprogram. AECL svarar också för forskning och utveckling rörande förbehandling och slutförvaring av kärnbränsleavfall. Det delstatsägda kraftföretaget Ontario Hydro ansvarar för mellanlagring och transport av använt kärnbränsle. Ansvarsfördelningen mellan den federala regeringen och delstatsregeringarna, då det gäller slutförvaret, är ännu inte fastlagd. Kanadas program för slutförvaring omfattar tre faser:

- Utvärdering av metoder för slutförvaring (concept assessment).
- Platsval (site selection).
- Demonstration av slutförvar (demonstration of disposal vault).

Den första fasen pågår f n. I ett 10-årsprogram genomför man forskning för att etablera en vetenskaplig bas för geologisk slutförvaring och för tekniska kriterier för platsval och förvarsutformning. År 1988 skall ett förslag till slutförvarsmetod presenteras för myndighetsgranskning. En omfattande granskning förutses, med bl a "public hearings", vilken 1990-91 ger en slutbedömning av den granskade metoden. Regelrätta platsundersökningar och platsval beräknas ske under 1990-talet. När en plats valts ut, avser man att genomföra en 20-årig demonstrationsperiod, som avslutas med att demonstrationsanläggningen byggs ut till ett slutförvar, som alltså kommer att tas i drift efter år 2010.

Berggrunden i Kanada påminner mycket om den skandinaviska, varför mycket av de geologiska undersökningarna i Kanada är av svenskt intresse. Av spe-

ciellt intresse är det s k URL (Underground Research Laboratory)-projektet som nu pågår och där man går ned med ett schakt till ca 450 m djup i berggrunden. SKB har preliminärt överenskommit med AECL om att delta i URL, se avsnitt 7.4. Kanada ligger också långt framme inom kemiområdet och när det gäller studier av använt bränsle.

Finland

Ansvar för kärnavfallshanteringen i Finland åvilar enligt finsk lag kärnkraftproducenterna. De två kraftbolagen IVO och TVO har bildat ett gemensamt bolag – YJT – som skall samordna erforderlig forsknings- och utvecklingsverksamhet.

För använt kärnbränsle eftersträvar man sådana överenskommelser att det använda bränslet kan sändas utomlands för sluthantering. För Loviisareaktorer na har man ett sådant avtal med Sovjetunionen. Övrigt kärnbränsle skall mellanlagras och slutförvaras i Finland. För mellanlagring byggs en anläggning i Olkiluoto som beräknas bli klar i slutet av 1987. Plats för ett slutförvar kommer att väljas omkring år 2000 och slutförvaring beräknas starta omkring år 2020.

I början av 1986 presenterades en lista på 101 intressanta områden för ett slutförvar, som vilka utvalts vid en inventering. Under perioden 1986-1992 planeras orienterande undersökningar 5-10 av dessa områden. Dessa följs av detaljerade undersökningar på 2-3 områden fram till år 2000, då den slutliga platsen väljs. På denna görs ytterligare undersökningar fram till en ansökan om tillstånd omkring år 2010.

Likheterna mellan den svenska och finska berggrunden innebär att informationsutbytet är särskilt värdefullt.

Frankrike

Ansvar för att genomföra slutförvaring av kärnavfall i Frankrike ligger hos ett fristående organ – ANDRA – inom atomenergikommissariatet, CEA. Forsknings- och utvecklingsarbeten genomförs främst av CEA. Salt, skiffer och lerformationer samt kristallint berg är aktuella för lokalisering av den underjordiska försöksanläggningen. En plats skall enligt planerna utses till 1987-88. Om valet faller på kristallint berg så blir detta av stort intresse för svensk del. SKB har ett konkret samarbete med CEA inom områdena radionuklidkemi och buffert/återfyllnad, se avsnitt 7.8.

Västtyskland

I Västtyskland avser man att slutförvara sitt högaktiva avfall i en saltformation i Gorleben. Ingen annan plats är f n aktuell. I Gorleben genomförs ett omfattande undersökningsprogram, inkluderande schaktdrivning ned till förvarsdjup, som beräknas bli klart i början av 1990-talet. Man skulle då kunna ta i drift en slutförvarsanläggning i slutet av 1990-talet.

De geologiska studierna i salt är av litet intresse för svensk del. Västtyskland är emellertid det land, jämte Sverige, som mest systematiskt har undersökt direktdeponeringsalternativet. Dessa studier redovisades våren 1985 i en omfattande studie, PAE, Project Andere Entsorgungstechniken /7-3/. PAE-projektet drivs vidare, bl a med inriktning på demonstration i

fullstor skala av vissa moment, t ex kapseltillverkning och hantering av inkapslat bränsle. SKB följer det fortsatta arbetet på direktdeponering i Västtyskland genom informationsutbyte med PAE-projektet.

Schweiz

Enligt atomenergilagen i Schweiz skall kärnkraftföretagen lägga fram en plan för säker slutförvaring av radioaktivt avfall. Den schweiziska staten och kärnkraftföretagen har gemensamt bildat NAGRA (Nationale Genossenschaft für die Lagerung Radioaktiver Abfälle) för att ta hand om det radioaktiva avfallet.

NAGRA har nyligen publicerat sin studie - Projekt Gewähr - /7-4/, en motsvarighet till KBS-3-rapporten. Deponeringen av högaktivt avfall skall ske på stort djup i kristallint berg. En försöksstation i berg, motsvarande den svenska Stripa-gruvan, har byggts i Grimsel i Alperna.

Tidplanerna är ännu vaga. Man förutsätter ett platsval omkring år 2000 och att slutförvaret tas i drift omkring år 2020.

SKB har nära kontakter med NAGRA och det schweiziska programmet. Inom områdena glaslakning, kapselmateriell och naturliga analogier sker direkt samarbete och koordinering av insatserna, se vidare avsnitt 7.5, 7.6, 2.3 och 2.4.

Storbritannien

Under 1970-talet initierades i Storbritannien ett program för geologiska undersökningar för slutförvar i granitformationer. I december 1981 uppskötts fortsatt verksamhet inom detta program för åtminstone 50 år framåt, med motiveringen att man visat att slutförvaring i princip var möjlig samt att man utan problem säkert kan mellanlagra högaktivt avfall under en sådan tidsperiod. Således väntar inga ytterligare beslut om slutförvaring av HLW inom de närmaste decennierna. FoU i Storbritannien ägnas därför nu enbart teknik för förglasning samt lagring och modellstudier. Dessutom deltar man aktivt i bl a Stripa-projektet, Poços de Caldas-projektet och NEAs sea-bed disposal-studier, se avsnitt 7.3 och 7.6.

EG

EG driver ett omfattande och väl samordnat program inom kärnavfallsområdet. Bl a genomför man intressanta program för modellering av nuklidmigration och för säkerhetsanalyser.

Studier i en underjordisk försöksanläggning, byggd i lera i Mol, Belgien, genomförs inom EGs ram. Likaså sker samordning av studierna vid den franska förvarsanläggningen och vid Gorleben, Västtyskland.

Internationella organisationer

Övergripande internationellt samarbete sker inom FN:s atomenergiorgan IAEA och inom OECDs kärnenergiorgan, NEA. Dessa organisationer är naturliga fora för informationsutbyte genom bl a expertmöten, symposier och konferenser inom olika ämnesområden. Inom OECD/NEAs ram genomförs också en del viktiga samarbetsprojekt, varav Stripaprojektet är

ett exempel. SKB deltar aktivt i dessa båda organisationers verksamhet, bl a i OECD/NEAs Radioactive Waste Management Committee, som utgör referensgrupp för NEAs hela verksamhet i fråga om radioaktivt avfall, se avsnitt 7.10.

7.2 SKBs samarbetsavtal med utländska organisationer

Med hänsyn till nu gällande tidplaner och tillgänglig berggrund är det, som framgår av vad som redovisats ovan, framför allt Kanada, USA och Frankrike som kan ge för Sverige väsentliga bidrag till utvecklingen på området. Dessutom förutses en fortsatt samverkan med bl a Schweiz och Finland inom olika FoU-områden. Utvecklingen i Västtyskland kan eventuellt ge nyttiga erfarenheter ifråga om inkapsling av använt bränsle och hanteringsteknik.

För närvarande har SKB formella bilaterala avtal med följande organisationer i andra länder:

- USA - DoE (Department of Energy).
- Kanada - AECL (Atomic Energy of Canada Ltd).
- Schweiz - NAGRA (Nationale Genossenschaft für die Lagerung Radioaktiver Abfälle).
- Frankrike - CEA (Commissariat à l'Energie Atomique).
- EG - EURATOM.

Informationsutbyte utan formella avtal finns dessutom med:

- Västtyskland,
- Belgien,
- Storbritannien,
- Japan,
- Finland och övriga nordiska länder.

De formella avtalen är likartade till sin uppbyggnad och täcker informationsutbyte och samarbete inom hantering, behandling, lagring och slutförvaring av radioaktivt avfall. Utbyte av aktuell information (rapporter) samt resultat och metoder från forskning och utveckling är huvudpunkter i avtalen. Anordnande av gemensamma seminarier och korta besök av specialister till andra partens anläggningar är andra exempel på vad som ryms inom avtalens ram. Med ca ett års intervall sker allmänna genomgångar av parternas avfallsprogram och verksamhetsplanering inom avtalens ram.

Vid utbyte av personal under längre tidsperioder eller omfattande direkt projektsamarbete sluts i regel särskilda avtal inom det allmänna avtalets ram.

Genom avtalen ges specialister inom kärnavfallsområdet ökade möjligheter till kontakter för ett givande utbyte av aktuell information.

7.3 STRIPA-projektet

7.3.1 Bakgrund

I samband med att KBS-arbetet startades 1976-77, etablerades ett underjordiskt berglaboratorium i den numera nedlagda järngruvan vid Stripa, 15 km norr om Lindesberg. Syftet var att i representativ miljö (granitiskt urberg) studera dels den naturliga geologiska barriären, dels pröva olika egenskaper hos föreslagna tekniska barriärer.

Stripa väckte redan på ett tidigt stadium internationellt intresse genom den då unika möjligheten att relativt snabbt kunna starta fältförsök i bra granitiskt berg på 350-400 m djup. Redan år 1977 inleddes ett svensk-amerikanskt samarbete - The Swedish American Cooperative Program (SAC) - med SKB och Department of Energy i USA som finansierare.

Inriktningen på detta samarbete var att utveckla teknik för att mäta vissa egenskaper hos den s k Stripa-graniten, bl a termomekaniska, geofysiska samt geokemiska egenskaper. Resultaten från detta program har redovisats i ett stort antal rapporter /7-5/.

Den höga internationella klass som den svensk-amerikanska forskningen uppvisade, samt det stora intresset från OECDs medlemsländer för fortsatt forskning, resulterade i ett utökat internationellt samarbete, det s k Stripa-projektet. Detta startade i maj 1980 som ett autonomt OECD/NEA-projekt med SKB som samordnande part. Fas 1 genomfördes åren 1980-1985, följd av en fas 2, som påbörjades 1983 och som i huvudsak beräknas vara avslutad under 1986.

Forskning har bedrivits inom följande fyra huvudområden:

- Geohydrologiska undersökningar av Stripa-graniten samt migrationsförsök på nuklider i enkla och komplexa spricksystem.
- Kemiska undersökningar av grundvattnet i Stripa-graniten.
- Teknik för att upptäcka samt karakterisera spricksystem i granit.
- Studium av bentonitlera för användning som återfyllnads- och tätningssmassa i en uppsprucken berggrund.

7.3.2 Uppnådda resultat

Resultaten från Stripa-projektet har dels rapporterats vid två seminarier ordnade av OECD/NEA /7-6, 7-7/, dels i ett antal tekniska rapporter utgivna av projektet /7-8 - 7-16/. Hittills finns resultat avrapporterade från fas 1 och vissa preliminära resultat från fas 2.

Forskningen har bl a visat att det fordras en serie olika typer av undersökningar och mätningar, innefattande speciellt anpassade geofysiska och hydrologiska undersökningar, för att kunna bestämma utbredning samt läge för de svaghetsplan som finns i berget. Metoder har också utvecklats för att bestämma migrationsbenägenheten hos absorberande samt icke absorberande spårämnen i singulära sprickor respektive komplexa spricksystem. Ett omfattande program för vattenprovtagning, innefattande kemiska analyser av

grundvattnet i Stripa, har genomförts som ett komplement till migrationsförsöken. Resultaten från dessa försök har ökat kunskapen om det i granit förekommande grundvattnets kemiska karaktär och ursprung.

När det gäller de tekniska aspekterna på utformningen av ett förvar, så har försöken med bentonitlera som återfyllningsmassa, under likartade temperaturförhållanden som förväntas råda i ett bergförlagt slutförvar, bekräftat tidigare utförda laboratorieförsök och teoretiska beräkningar. De borrhåls-, schakt- och tunneltätningförsök som utförs inom ramen för fas 2 befinner sig i sin slutfas. Dessa försök har till uppgift att fastställa bentonitlerans tätande egenskaper.

7.3.3 Mål för fas 3 av Stripa-projektet

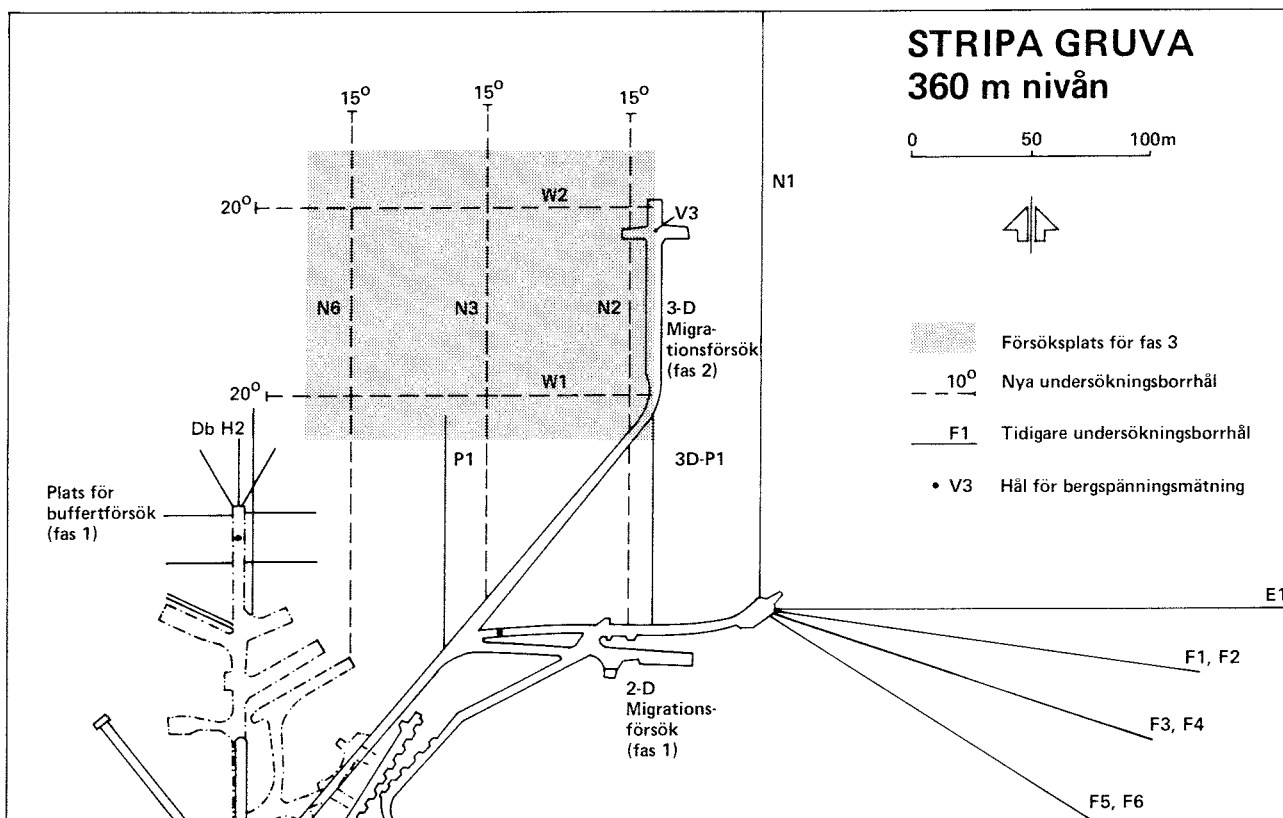
Resultaten från fas 1 och 2 har visat att avgörande steg har tagits när det gäller utvecklingen av metoder och teknik för att detaljundersöka berget vid en tänkt förvaringsplats, samt när det gäller ingenjörstekniska lösningar för tätning av bergmassan. Det fortsatta arbetet syftar till att tillämpa hittills vunna erfarenheter på en ostörd granitisk bergvolym. Dessutom kopplas den utvecklade mättekniken till ett matematiskt modellarbete, så att teoretiskt beräknade värden kan jämföras med de i fält uppmätta. Parallellt med detta sker en vidareutveckling av teknik för fältmätningar.

På det tekniska området är nästa steg att finna lämpliga metoder för injektering samt att bestämma långtidsegenskaperna för material för tätning av sprickor etc.

7.3.4 Programmet för fas 3 av Stripa Project

Baserat på nämnda inriktning har ledningen för Stripa-projektet rekommenderat respektive medlemsland, att en fas 3 av projektet genomförs under åren 1986-1991. Ett program finns framtaget /7-17/. Fas 3 av Stripa-projektet är en direkt fortsättning och bygger på det arbete som utförts inom faserna 1 och 2, men även nya forskningsaktiviteter kommer in. En ostörd granitisk bergvolym (ca 125 m x 125 m x 50 m) kommer att undersökas, se Figur 7-1. En matematisk modell för grundvattenflöde kommer att utvecklas och jämföras med i fält uppmätta värden. Tidigare erhållna resultat har visat att modeller, som behandlar berget som ett poröst medium, inte i detalj kan beskriva de förhållanden som råder i en sprucken granitisk bergvolym av ifrågavarande storlek. Den matematiska modell som skall prövas bygger på en kombinerad deterministisk och statistisk beskrivning av grundvattenströmningen i ett diskret sprickmönster i tre dimensioner.

Undersökningarna i Stripa har visat att det inte är realistiskt att beskriva en spricka som en spalt med konstant vidd mellan två planparallella ytor. Istället verkar det snarast som om vattnet rinner genom slumpmässigt orienterade kanaler i sprickan. Den idag förhärskande hypotesen, när det gäller kanalströmning, är att vatten i en kanal, i ett oregelbundet mönster, blandar sig med vatten från andra kanaler och att det finns områden med stillastående eller nästintill stillastående vatten, där diffusion dominerar som transportmekanism. Fas 3 innefattar en fortsätt-



Figur 7-1. Principbild visande försöksplatsen för de planerade geohydrologiska undersökningarna i Stripa fas 3.

ning på spårämnesförsöken från fas 2, i syfte att mer ingående undersöka vattenflödet i sprickor och därmed få kanalströmningsfenomenet vidare belyst. Dessa försök avslutas med ett storskaligt spårämnesförsök i den ovan nämnda ostörda bergvolymen. Resultaten från dessa undersökningar kommer också att jämföras med beräknade värden.

Utvecklingen av avancerade mätmetoder och instrument för bergundersökningar fortsätter under fas 3. Insatserna avser dels en högupplösande och riktningsskännande borrhålsradar, dels förbättrad teknik för högupplösande seismik i borrhål.

Ett nytt forskningsområde i fas 3 är teknik för att mäta sprickors hydrauliska längd och vidd. Dessa mätningar är tänkta att komplettera den sprickkartering, som görs i samband med att en tunnel slutligen drivs genom försöksområdet. Detta är en viktig information för att kunna modellera vattenströmning i berg och optimera den tekniska utformningen.

Av betydelse för den tekniska utformningen av slutförvaret är användningen av tätande material för att begränsa eller förhindra migrationen av radioaktiva ämnen från förvaret. En omfattande forskningsinsats ingår i fas 3. Bl a kommer egenskaperna hos olika material för tätinjektering av berg att studeras. Troligen genomförs ett storskaligt injekteringsförsök. Särskilt viktigt är stabiliteten på lång sikt i förväntad miljö vid ett slutförvar.

7.4 URL-projektet

URL-projektet är en av de mest betydande komponenterna i Kanadas avfallsprogram. Ett underjordiskt forskningslaboratorium kommer att inrättas 450 m under marknivån /7-18/.

Målen för projektet är att:

- belysa möjligheten att tolka flyg-, mark- och borrhålsmätningar,
- analysera geohydrologiska och geokemiska förhållanden i ostörd berggrund,
- genomföra ett storskaligt geohydrologiskt avsänkningsexperiment,
- studera hur bergmassan reagerar på berguttag,
- studera hur bergmassan reagerar på varierande last och temperatur,
- prova buffert- och återfyllningsmaterial samt utföra och prova schakt- och borrhålstätning,
- studera transportfenomen i en sprucken bergmassa,
- studera slutförvarssystem med flera komponenter vid normala och förhöjda tryck och temperaturer.

URL har placerats i en stor granitformation i sydöstra Manitoba, den sk Lac du Bonnet-batoliten. Platsen valdes 1979 och geologiska undersökningar påbörjades 1980.

En mycket omfattande geohydrologisk karakterisering genomfördes och grundvattenstrycket registrerades regelbundet i närmare tvåhundra mätpunkter. 1983 påbörjades schaktsänkning till 250 m nivån. De

geohydrologiska och geokemiska förändringarna registrerades fortlöpande. I förväg gjorda beräkningar av tryckförändringar och vatteninläckning till schaktet överensstämmer bra med uppmätta värden.

Schaktsänkningen kommer under 1987–88 att fortsätta till 450 m djup där experimenttunnlar skall byggas. Under schaktsänkningen passeras en sprickzon.

Karakterisering av berget sker både under och efter schaktsänkningen. Under bergdrivningen karteras och fotograferas schaktväggarna. Vidare kommer man att installera instrument som registrerar förskjutningar och vattenstryck.

Experimentprogrammet efter det att schaktet gjorts färdigt är ännu på planeringsstadiet. De större experimenten beräknas starta i början av 1990-talet.

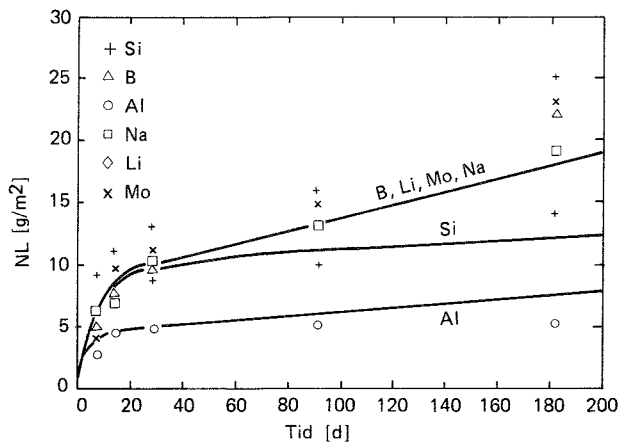
7.5 JSS-projektet

JSS-projektet startade 1982. Det är ett samarbetsprojekt mellan CRIEPI (Japan), NAGRA (Schweiz) och SKB för studier av radioaktivt glas. Målen för projektet var ursprungligen att:

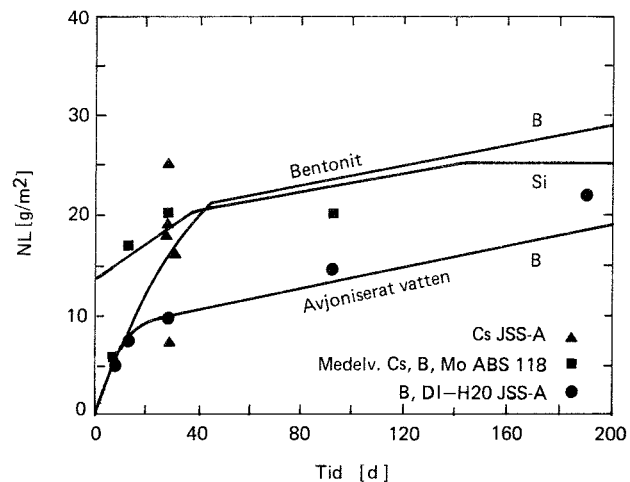
- undersöka om radioaktivt glas i något avseende visar ett annat beteende vid kontakt med vatten, än ett kemiskt identiskt icke-radioaktivt glas,
- bygga upp en oberoende databas för det glas, som var tänkt att levereras från COGÉMA som följd av ingångna uppdragsavtal.

De sålunda beslutade undersökningarna utfördes i projektets fas I-III, som nu är praktiskt taget avslutade och rapporterade /7-19 – 7-23/. De data som erhållits har haft så hög kvalitet att de bedöms kunna tjäna som underlag för att utveckla en prediktiv modell för glaslakning under förvarsförhållanden. Projektet utvidgades därför hösten 1984 med en fas IV som omfattar utvecklingsarbete för en sådan modell. I denna fas har dessutom kompletterande experimentellt underlag tagits fram för reaktionerna med såväl vatten som med övriga komponenter i avfallspaketet, dvs bentonit och korrosionsprodukter från stål. Modellen, som består av en geokemisk del (PHREEQE /7-24/) och en kinetisk del, beskrivs i slutrapporten för fas IV /7-25/ och i detalj i /7-26/. Preliminära resultat från fas IV visar att modellutvecklingen är mycket lovande /7-27/ (experimentella resultat) och /7-28, 7-29/ (modellering). De tillgängliga experimentella resultaten för reaktioner med såväl vatten som vatten/bentonit kan beskrivas väl redan på nuvarande utvecklingsstadium, se Figur 7-2 och 7-3.

Den kinetiska delen av modellen innehåller experimentellt bestämda data för reaktionshastigheter. Av dessa data är reaktionshastigheten vid förhållanden nära mätnadskoncentrationer av avgörande betydelse för noggrannheten i de långtidsprognoser som görs med hjälp av modellen. Efter fas IV, som nu håller på att avrapporteras, står det klart att bättre data för dessa långtidsreaktionshastigheter krävs för tillförlitliga förutsägelser om glasets lakningsbeständighet över långa tidsperioder. Detta har föranlett att projektet fortsätter i en avslutningsfas, fas V, för tiden till och med 1987.



Figur 7-2. Jämförelse mellan lagningsresultat (punkter) från radioaktivt glas i avjoniserat vatten (statisk test, temp 90°C, glasareal/vätskevolym = 10 m⁻¹) och modellberäkningar (kurvor). NL = Normaliserad massförlust för respektive grundämne.



Figur 7-3. Samma jämförelse som i Figur 7-2, men med bentonit närvarande.

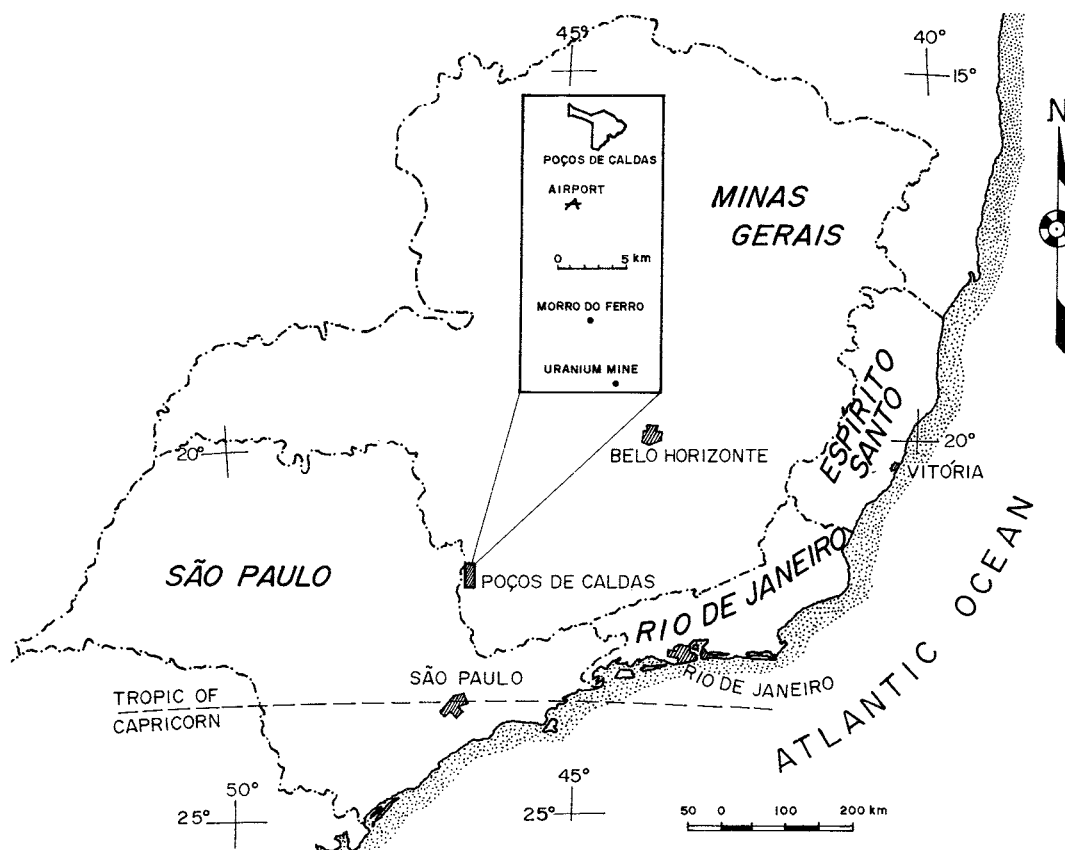
7.6 Poços de Caldas-projektet

Projektet avser studier av naturliga analogier till frigörelse och spridning av radionuklider från ett slutförvar. Undersökningarna är knutna till två närbelägna platser i Poços de Caldasområdet i Minas Gerais, Brasilien: toriumförekomsten i Morro do Ferro och urangruvan Osamu Utsumi, C-09, se Figur 7-4. Avsnitt 5.4.4 behandlar den övergripande planen för SKBs studier av naturliga analogier till radionuklidmigration.

Sverige (SKB), Storbritannien (DOE), Schweiz (NAGRA) och Brasilien (Rio de Janeiro Universitet, CNEN och NUCLEBRAS) deltar i projektet.

Projektet skall pågå i tre år, enligt ett avtal som gjorts upp mellan SKB, DOE och NAGRA, vilka är de direkta finansierarna. Brasilien står för värdskapet och bidrar med viss utrustning och arbetsinsatser. SKB ansvarar för projektledningen.

Den inledande fasen startade i maj 1986 med borrning och provtagning i Osamu Utsumi-gruvan.



Figur 7-4. Kartbild över Poços de Caldas och Morro do Ferro, Brasilien.

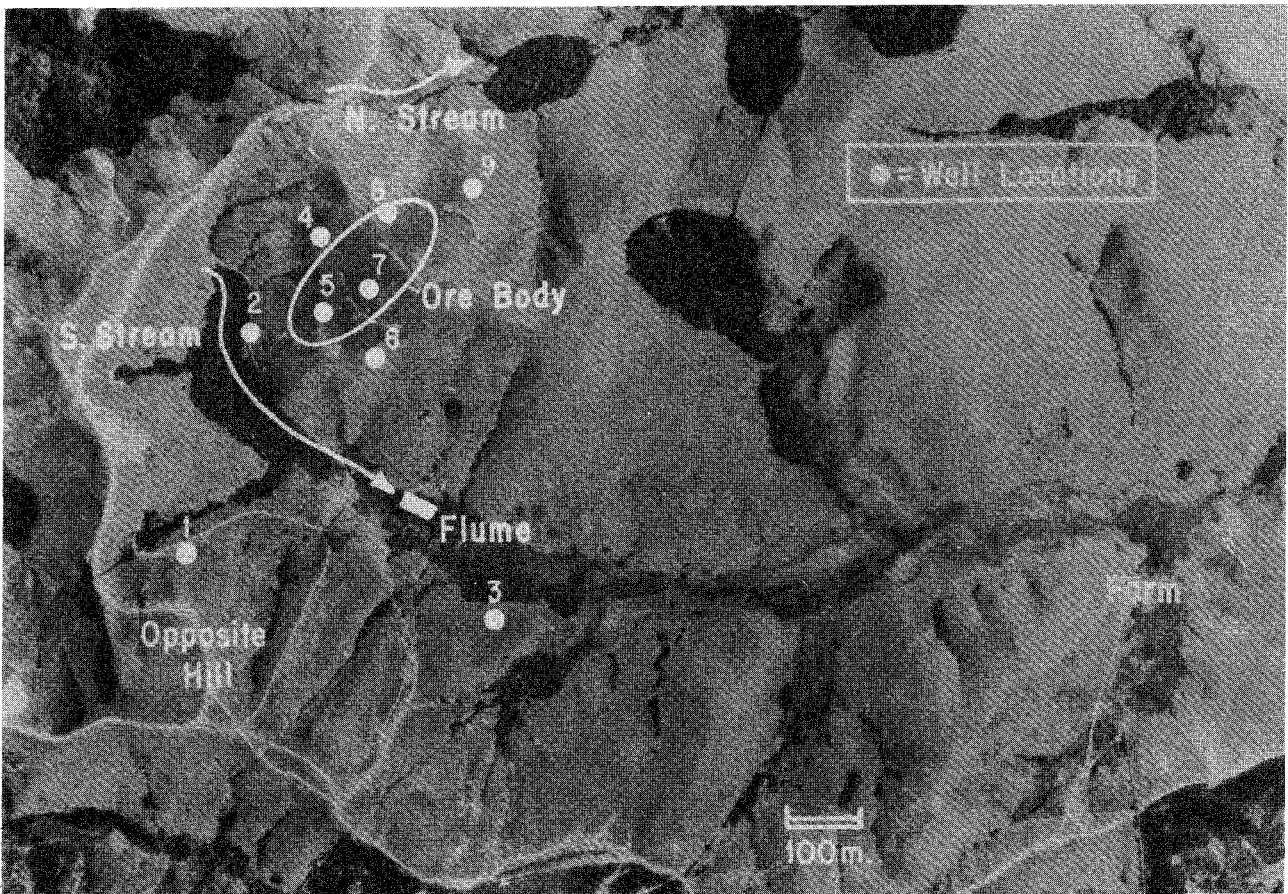
Morro do Ferro

Morro do Ferro bildar en 140 m hög kulle i landskapet. Mineralerna är starkt vittrade och grundvattennivån låg. Torium finns bundet till linser av lerminal. Totala mängden torium har uppskattats till 30 000 ton. Därav mobiliseras andelen $7,3 \times 10^{-7}$ per år, det mesta i form av erosion. En liten andel följer med grundvattnet (5×10^{-10} per år). Utöver torium finns ovanligt rika förekomster av sällsynta jordartsmetaller. Brytning av torium, och på senare tid sällsynta jordartsmetaller, har övervägts och därför finns såväl prospekteringshål som en provbrytningstunnel in i berget. /7-30 och 7-31/

En stor del av avrinningen samlas upp i ett litet vattendrag, som längre ned flyter förbi en liten bondgård, se Figur 7-5.

Den naturliga radioaktiviteten är hög. Gammastrålningen är 100 - 250 mGy per år inom ett område på 30 000 m². Halten ²²⁸Ra i marken är så hög att blad från växter i området kan autoradiograferas. /7-32/

Toriumförekomsten upptäcktes i början av 1950-talet. Under 1960-talet och några år in på 1970-talet pågick radiobiologiska studier i samarbete mellan Katolska Universitet i San Paulo och New York Medical Center. Frigörelsen och spridningen av torium, dess radioaktiva döttrar och de sällsynta jordartsmetallerna har studerats sedan 1979. SKB och NAGRA har deltagit i programmet under tiden 1982 - 1984. Man har då i huvudsak undersökt spridningen i biosfären och upptaget i närboende människor /7-31 och 7-32/, se Figur 7-6. Transporten av radionuklider och radionuklidliknande ämnen med grundvattnet nere i berget är relativt lite undersökt hitintills /7-33/.



Figur 7-5. Flygbild över Morro do Ferro med tidigare provtagningsplatser markerade.

| | Torium | Neodym | Lantan | Cerium | Antal prov |
|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|---------------|------------|
| Malmkroppen | 5 150 ± 490 | 2 320 ± 240 | 4 340 ± 410 | 9 360 ± 1 220 | 101 |
| Området utanför malmkroppen | 140 ± 20 | 380 ± 30 | 890 ± 50 | 1 220 ± 90 | 104 |
| Träskområdet nedströms | 130 ± 15 | 260 ± 30 | 550 ± 50 | 890 ± 70 | 40 |

Figur 7-6. Fördelningen av torium och sällsynta jordartsmetaller i Morro do Ferro. Halterna angivna i mg/kg.

Osamu Utusumi-gruvan

Urangruvan Osamu Utusumi C-09 är ett dagbrott och en betydande urangruva i Brasilien /7-34/. Driften ligger tillfälligt nere. NUCLEBRAS, som driver gruvbrytningen, har gett sitt tillstånd till undersökningar och medverkar även med personal.

Uranet förekommer som utfällningar intill mycket tydligt markerade redoxfronter, som i sin tur följer det vattenförande sprickssystemet. Förutsättningarna att undersöka redoxövergångar, i samband med sprickbundet vattenflöde i kristallint berg och åtföljande uranutfällning, är de bästa tänkbara.

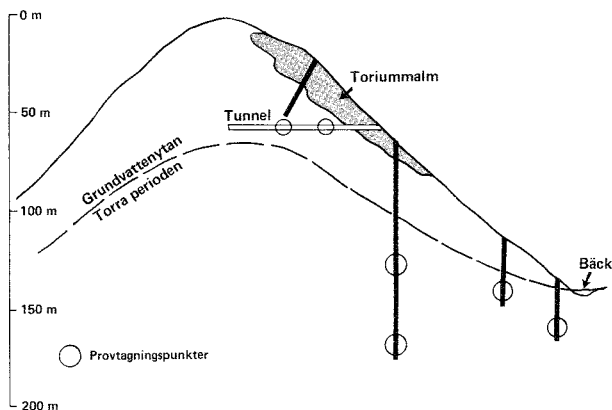
Poços de Caldas-projektet

Det pågående projektet är uppdelat på två delprojekt som är knutna till urangruvan C-09, Projekt 1, respektive Morro do Ferro, Projekt 2. De två delprojekten behandlar följande:

- 1 Bestämning av speciering och kemisk transport av naturliga radionuklider och sällsynta jordartsmetaller i ett sprickflödessystem i kristallint berg under dels oxiderande, dels reducerande betingelser.
- 2 Bildning och rörlighet av kolloidburna radionuklider i naturliga grundvatten (här innefattas även huminämnen i kolloidbegreppet).

De viktigaste målen för de två delprojekten är följande:

- 1 – Validera jämviktsmodeller för olika vatten/mineralsystem.
 - Förstå mekanismerna för upplösning och utfällning av uran och andra element kring redoxfronten.
 - Jämföra retentionsfaktorer från in-situ-mätningar med laborativvärden.
 - Bestämma förekomst och omfattning av diffusion i bergets mikrosprickor.
 - Bestämma inflytandet av mikrober och mikrobiella processer på nuklidmigrationen.

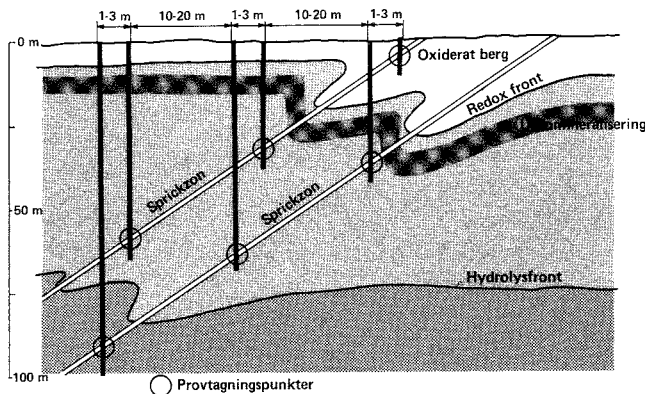


Figur 7-7. Schematisk bild av den planerade provtagningen i borrhål och tunnel i Morro do Ferro, Brasilien.

- 2 – Karakterisera och haltbestämma naturliga kolloider och organiska komplex i grundvattnet.
 - Bestämma andelen torium, radium och sällsynta jordartsmetaller som transporteras i form av kolloider och organiska komplex.

Det första året ägnas i huvudsak åt en förberedande undersökning av C-09 gruvan, inkluderande borrhning, provtagning och analyser av de viktigaste proven. Andra året kommer provtagningen att koncentreras till Morro do Ferro. De flesta vatten- och mineralanalyserna planeras för andra året, se Figur 7-7 och 7-8.

Det tredje året är avsett att ägnas åt sammanställning, tolkning och rapportering av resultat.



Figur 7-8. Schematisk bild av provtagningshålen i urangruvan C-09, Poços de Caldas, Brasilien.

7.7 Bränslelakning - Workshops

Studier av lakning/korrosion av högaktivt bränsle bedrivs endast vid ett fåtal laboratorier i världen. Det experimentella arbetet är dessutom tidsödande och komplicerat, eftersom det måste utföras i "hot cell". Det är därför väsentligt att de forskare, som arbetar med dessa undersökningar, får tillfälle till informellt informationsutbyte med framförallt utländska kollegor, för att diskutera resultat, experimentella problem och planerade studier. De "Spent Fuel Workshops", som startades på initiativ av SKB 1981, har blivit ett effektivt forum för detta informationsutbyte.

Dessa "workshops", av vilka nu sammanlagt fem stycken hållits, organiseras för närvarande årligen efter ett roterande schema, där värdskapet cirkulerar mellan Sverige, Kanada och USA. Inbjudna är i första hand representanter för de laboratorier i dessa tre länder, som bedrivit forskning på utbränt bränsle längst. Dessutom har även deltagit representanter från andra länder som studerar använt bränsle som avfallsform, i första hand Frankrike och Västtyskland.

7.8 Samarbete med CEA, Frankrike

7.8.1 Lerfrågor

CEA och SKB har samordnat viss forskning rörande smektitrik lera så att jämförelser kan göras mellan vårt referensmaterial och fransk lera. Dels studeras

förändringar av lerornas egenskaper med avseende på temperatur- och strålningspåverkan, dels reologiska egenskaper baserade på mätningar i respektive länders laboratorier.

I ett försök i Stripa-gruvan utförs i samarbete studier av vattenupptagning i fransk högkompakterad lera samt av kemiska förhållanden, på grund av kontakt mellan lera och stål, i värmare med temperatur upp till 170°C. Försöket kompletterar tidigare undersökningar inom den s k Buffer Mass Test i Stripa-projektet /7-16/.

Programmet pågår och skall avslutas under 1988.

7.8.2 Kemifrågor

Inom ramen för det bilaterala samarbetsavtalet mellan CEA och SKB genomförs experiment för att ta fram basdata om aktinidernas kemi i grundvatten, dvs löslighet, redoxkemi och komplexbildning med karbonatjoner m m.

CEA-laboratorierna har utomordentligt goda förutsättningar för experiment med aktinider, såsom plutonium och neptunium. Experiment med uran och torium genomförs främst vid institutionen för oorganisk kemi, KTH.

Svenska forskare har deltagit i planering och utförande av experimenten i Frankrike. Forskare från CEA har deltagit i arbetet vid institutionen för oorganisk kemi, KTH.

Erfarenheterna av samarbetet är mycket goda och verksamheten utvidgas nu till att omfatta komplexbildning mellan aktinider och huminämnen. Detta innebär ett svenskt deltagande också med forskare från Tema Vatten, Linköpings Universitet.

7.9 Övriga internationella projekt

SKB medverkar i flera andra internationella samarbetsprojekt, förutom de redan omnämnda. De viktigaste är HYDROCOIN, INTRAVAL samt BIOMOVS.

HYDROCOIN

Detta projekt leds av kärnkraftinspektionen, (SKI), och avser en internationell jämförelse och verifiering av olika datorprogram för beräkning av grundvattenströmning. Projektet startade 1981 och omfattar 14 organisationer i 11 olika länder. Arbetet planeras genomfört under 1987. SKB medverkar med de modeller som utvecklats och använts för våra arbeten med KBS-3 och SFR. En utförlig redovisning av HYDROCOIN-projektet finns i /7-35/.

Studierna omfattar:

- betydelsen av de numeriska lösningsmetodernas kvalitet för beräkningsresultaten,
- modellers förmåga att beskriva fältmätningar,
- redovisning av hur modelleringen av varierande fysikaliska problem påverkar slutresultatet.

Studierna bedrivs på tre nivåer.

Det primära målet med nivå 1 är att verifiera den numeriska noggrannheten i de olika datorprogrammen. Sju testfall finns framtagna och SKB har genomfört beräkningar på fyra av dessa beräkningsfall.

Nivå 2 syftar till validering av modeller mot fält- eller laboratorieundersökningar. Fem testfall finns framtagna och SKB har genomfört beräkningar på ett av dessa. Testfallet avser termisk konvektion och ledning runt en cylindrisk värmekropp.

Nivå 3 syftar till känslighetsanalyser av sju beräkningsfall. SKB kommer att genomföra en känslighetsstudie för de modellberäkningar som tidigare genomförts för Fjällveden, som är ett av de specificerade fallen /7-36/.

INTRAVAL

En uppföljning av projektet HYDROCOIN och det tidigare projektet INTRACOIN /7-37/ planeras av SKI. Det nya projektet kallas INTRAVAL och syftar till en validering av datorprogram för nuklidtransport. F n pågår en definitions- och planeringsfas där SKB medverkar. Man avser att nyttja resultaten från utvalda laboratieförsök, fältförsök, studier av naturliga analogier och simuleringar till att validera geosfärsmodeller. För detta ändamål har en speciell grupp bildats som diskuterar organisation och innehåll i projektet. Det sista mötet i den gruppen är utsatt till november 1986. Gruppens arbete skall resultera i en rapport som läggs till grund för projektets fortsättning.

BIOMOVS

Detta projekt leds av strålskyddsinstitutet, (SSI), och avser en internationell jämförelse och verifiering av datorprogram för radionuklidtransport i biosfären. Projektet startade 1985 och Studsviks datormodell BIOPATH, som utnyttjas av SKB, ingår i jämförelsen genom att Studsvik Energiteknik medverkar. SKB deltar ej aktivt, men följer projektet fortlöpande och har ett stort intresse av att ta del av resultaten.

7.10 Samarbete inom OECD Nuclear Energy Agency

Ett av OECD/NEAs huvudområden för samarbete är det radioaktiva avfallets hantering i medlemsländerna. Frågan handläggs av Radioactive Waste Management Committee (RWMC), där även SKB är representerat genom Tönis Papp. Samarbetet bedrivs genom att vissa arbeten genomförs i gemensamma internationella projekt och att arbetsgrupper bildas för att underlätta informationsutbyte eller ta fram gemensamt besluts- eller samordningsunderlag.

Seminarier och workshops arrangeras inom viktiga områden för att dokumentera och diskutera utvecklingsläge och framtida arbetsinriktning, se t ex /7-38/.

Nedan förtecknas de grupper och projekt inom området för radioaktivt avfall där SKB deltar med personal eller finansiering.

Grupper

PAAG (Performance Assessment Advisory Group) är rådgivande till RWMC i frågor rörande samarbetet om medel och metoder för funktions- och säkerhetsanalyser av slutförvaringssystem.

Medlem från SKB: Tönis Papp (ordförande).

Advisory Group on In Situ Research and Investigations är rådgivande till RWMC i frågor rörande verksamheten i de olika underjordiska berglaboratorierna.

Medlem från SKB: Bengt Stillborg.

PSAC (Probabilistic Safety Assessment Code) Users Group utgör en samarbetsgrupp mellan de som utvecklar och använder matematiska modeller för probabilistiska analyser av förvarssystem. Huvudvikten ligger vid att samordna utvecklingen och jämföra kvaliteten på modellerna.

Medlem från SKB: Nils Kjellbert.

Cooperative Program for the Exchange of Scientific and Technical Information Concerning Nuclear Installations Decommissioning Projects utgör ett forum för informationsutbyte och samarbete om olika nedläggnings- och rivningsprojekt i världen.

Medlem från SKB: Hans Forsström. SKB finansierar vidare en programkoordinator, Shankar Menon, Studsvik Energiteknik AB.

Projekt

Stripa - se avsnitt 7.3. Projektchef och ansvarig för projektadministrationen är Bengt Stillborg.

Medlemmar från SKB: P-E Ahlström (ordf i Joint Technical Committee), Hans Carlsson (ledamot av Joint Technical Committee) och Bengt Stillborg (projektchef).

ISIRS, (International Sorption Information Retrieval System) bygger upp en databas och utgör ett informationscentrum rörande sorptionsdata för nuklider av intresse inom avfallsområdet.

Svensk medlem: Bert Allard, Linköpings Universitet, finansierad genom SKB.

NEAs Chemical Thermodynamic Data Base System analyserar och kvalitetskontrollerar grunddata för viktiga nuklider för uppbyggnad av en databas.

Svenska deltagare: Bert Allard, Linköpings Universitet och Ingmar Grenthe, KTH, finansierade genom SKB.

NEA arrangerar därutöver tre à fyra workshops varje år inom forsknings- och utvecklingsområdet, där SKBs personal eller konsulter deltar aktivt.

8 ORGANISATION OCH GENOMFÖRANDE

8.1 SKBs uppgifter och organisation

Svensk Kärnbränslehantering AB - SKB - har av sina ägare, de svenska kärnkraftföretagen, givits uppdraget att utveckla, planera, bygga samt driva anläggningar och system för hantering och omhändertagande av använt kärnbränsle och radioaktivt avfall från de svenska kärnkraftverken.

SKB ägs av Forsmarks Kraftgrupp AB (FKA), OKG AB, Sydsvenska Värmekraft AB (SVAB, ägs av Sydkraft AB) och Statens Vattenfallsverk (Vattenfall).

Inom ramen för uppdraget från nämnda kärnkraftföretag kommer SKB även att svara för den omfattande forskning och utveckling som ingår i det här redovisade programmet.

SKB är organiserat på tre enheter:

- Forskning och utveckling (FoU).
- Planering och systemanalys (PoS).
- Anläggningar.

Dessutom finns stabsenheter för information och för ekonomi och administration. En särskild grupp svarar i samverkan med SwedPower för samordning av konsulttjänster till utländska kunder.

Huvudansvaret för forskningsprogrammets genomförande ligger inom SKB på FoU-avdelningen. Denna har en chef och tio akademiskt utbildade specialister, som var och en svarar för olika ämnesområden inom forskningen.

8.2 Myndigheternas roll

Inom området radioaktivt avfall finns det tre myndigheter, som har ett direkt ansvar knutet till frågor som behandlas i detta forskningsprogram.

Statens Kärnbränslenämnd (SKN) har som huvuduppgift att övervaka genomförandet av programmet för den slutliga hanteringen av använt kärnbränsle samt utvecklingen av anläggningar i kärnkraftprogrammet. SKN skall således utöva tillsyn över hur SKB genomför den allsidiga forskningsverksamheten som stadgas i kärntekniklagen. Vidare skall SKN granska detta FoU-program och även de årliga PLAN-rapporterna, som redovisar planer och beräknade kostnader för avfallssystemet. De former som SKN kommer att tillämpa för att följa och granska den system- och platsvalsprocess som redovisas i detta FoU-program, har ännu inte definierats. SKN bedriver även viss kompletterande forskning kring olika slutförvaringsmetoder.

Statens Kärnkraftinspektion (SKI) svarar för statens övervakning av bl a den tekniska säkerheten hos kärntekniska anläggningar och system. För att få underlag för denna myndighetsfunktion bedriver SKI viss egen forskning inom avfallsområdet. Flera av de projekt som SKI initierat eller finansierat har direkt anknytning till SKBs verksamhet och behov.

Statens Strålskyddsinstitut (SSI) svarar för statens övervakning av strålskyddsfrågor vid bl a kärntekniska anläggningar. Detta gäller såväl det inre som det yttre strålskyddet. Liksom SKI driver SSI egen forskning, som i många fall har direkt anknytning till SKBs verksamhet och behov.

För att samordna myndigheternas forskning på avfallsområdet har en samrådsnämnd för kärnavfallsfrågor (KASAM) inrättats.

Även vissa andra myndigheter har uppgifter som berör kärnavfallsfrågor, bl a Statens Naturvårdsverk, vilket dock har relativt begränsade beröringspunkter med föreliggande forskningsprogram.

För att gränsområdet mellan de nämnda myndigheternas och SKBs ansvar på forskningsområdet skall bli bevakat, sker ett fortlöpande samråd på berörda områden. Vissa projekt drivs även med delad finansiering mellan myndigheter och SKB.

8.3 FoU-insatsernas genomförande

För att FoU-verksamheten skall bli effektiv krävs det definierade mål och avgränsade ramar. Samtidigt måste det finnas en sådan flexibilitet i planeringen, att programmet fortlöpande kan anpassas till de resultat som uppnås, såväl inom den egna verksamheten som internationellt. Detta innebär att SKB, som har det direkta ansvaret för programmet, också har ansvar för att successivt anpassa programmet till kunskapsläget vid olika tidpunkter.

FoU-insatserna kommer att genomföras främst genom uppdrag från SKB till universitet och högskolor, forskningsinstitutioner, konsulter, industrier eller andra svenska och utländska grupper med erforderlig kompetens. Uppgiften för SKBs egen personal är i första hand att planera, initiera och koordinera arbetet samt att sammanställa och dokumentera resultatet och att svara för tillämpningen. En viktig uppgift är också att följa utvecklingen nationellt och internationellt inom relevanta forskningsområden. Detta är en förutsättning för att styra uppdragen och arbetet så att lämpliga och effektiva kontaktnät skapas och nödvändig kompetens och kvalitet skapas och vidmakthålls.

Inom flera specialistområden finns särskilda referensgrupper, där SKBs egna specialister ingår, tillsammans med forskare från universitetsinstitutioner, industrin, konsulter eller andra organ. I dessa referensgrupper redovisas och prövas regelbundet mål, inriktning, innehåll och resultat från olika projekt. Prövningen ger underlag för en fortlöpande revision och prioritering av arbetet.

Ett mål för FoU-arbetet är att ta fram erforderligt underlag för att kunna lämna in en platsspecifik lokaliseringansökan omkring år 2000. Detta kräver bl a analys och utvärdering av olika alternativ avseende utformning och lokalisering av slutförvaret.

De i förvaret ingående komponenternas funktion påverkas dels av egna karakteristika, dels av den miljö

som definieras av omgivande geologi och övriga komponenter i förvaret. Samfunktionen mellan förvarets komponenter är avgörande för valet av ett framtida förvarssystem. För att få en riktig avvägning av forsknings- och utvecklingsarbetet på olika alternativ organiseras inom SKB särskilda samfunktionsanalysgrupper. I dessa ingår representanter för berörda områden. Grupperna definierar de analyser som skall göras och de modeller som kan användas samt utvärderar resultaten och deras relevans med hänsyn till osäkerheter i data och modeller. I dessa utvärderingar kommer säkerhet, kostnadsbedömningar, teknisk genomförbarhet och utvecklingspotential för olika alternativ att spela en framträdande roll.

Vid KBS-studierna genomfördes samfunktionsanalyserna i kampanjform vid sammanställningen av huvudrapporterna, där samtliga områdesansvariga deltog. I den framtida FoU-verksamheten kommer samfunktionsanalysen för de olika alternativen att pågå fortlöpande, med varierande intensitet och parallellt med specialstudier för de enskilda komponenterna. Detta möjliggör en fortlöpande styrning av inriktningen av specialstudierna till relevanta områden och en successiv förändring av prioriteringarna mellan de olika studerade alternativen.

Av naturliga skäl kommer samfunktionsanalyserna i ett tidigt skede att vara av mer kvalitativ och översiktlig karaktär än under 1990-talet, då slutligt systemval och optimering planeras ske.

För att vetenskapligt pröva och diskutera forskningsresultaten kommer, liksom tidigare, erhållna resultat att ges en omfattande internationell spridning. Detta sker genom publicering i egna tekniska rapporter och i vetenskapliga tidskrifter, genom deltagande i konferenser och genom en öppen och omfattande kontaktverksamhet. En årlig sammanfattande redovisning lämnas i SKB Annual Report.

Ett viktigt och nödvändigt inslag i FoU-programmet utgör det informationsutbyte och de möjligheter till bilateralt samarbete, som följer av de avtal som tecknats med motsvarande organisationer i andra länder, se kapitel 7.

8.4 Finansiering

SKBs forskningsverksamhet finansieras, enligt ”Lag om finansiering av framtida utgifter för använt kärnbränsle m m” (SFS 1981:669), med medel ur de fonder som byggs upp genom en särskild avgift på kärnkraftproduktionen. Fonderna förvaltas av kärnbränslenämnden (SKN), som också utbetalar forskningsmedel till SKB.

8.5 Information

Som framhållits i annat sammanhang, eftersträvar SKB en stor öppenhet och möjlighet till insyn i sin verksamhet. Detta gäller i synnerhet forskningsarbetet. Kraven från samhället och från allmänheten på information om och insyn i den verksamhet, som har att göra med hantering och slutförvaring av radioaktivt avfall, har ökat starkt på senare tid. I syfte att möta dessa ökade krav kommer SKB att förstärka sina resurser att, utöver den normala tekniska redovisningen, lämna lättillgänglig information till intresserade.

SKB kommer att fortlöpande informera om planer, pågående arbeten och resultat från den verksamhet som föranleds av detta forskningsprogram.

REFERENSER

Kapitel 2

- 2-1 Kärnkraftavfallets Behandling och Slutförvaring.**
Alternativa Slutförvarsmetoder.
Underlagsrapport till FoU-program 86.
SKB september 1986.
- 2-2 Kärnbränslecykelns slutsteg.**
Använt kärnbränsle KBS-3. Del I Allmänt. Avsnitt 4.5 Slutförvar för använt kärnbränsle.
SKBF/KBS, Stockholm, 1983.
- 2-3 PUSCH R, NILSSON J and RAMQVIST G, 1985:**
"Final Report of the Buffer Mass Test - Volume 1: Scope, preparative field work, and test arrangement".
Stripa Project Technical Report TR 85-11, July 1985, SKB, Stockholm.
- PUSCH R, BÖRGESSON L and RAMQVIST G, 1985:**
"Final Report of the Buffer Mass Test - Volume II: Test results".
Stripa Project Technical Report TR 85-12, July 1985, SKB, Stockholm.
- PUSCH R, 1985:**
"Final Report of the Buffer Mass Test - Volume III: Chemical and physical stability of the buffer materials".
Stripa Project Technical Report TR 85-14, November 1985, SKB, Stockholm.
- 2-4 KNUTSSON S, 1983:**
"On the thermal conductivity and thermal diffusivity of highly compacted bentonite".
SKBF/KBS Technical Report TR 83-72, October 1983.
- 2-5 PROJEKT GEWÄHR 1985.**
"Endlager für Hochactive Abfälle: Bautechnik und Betriebsphase".
NAGRA PROJEKTBERICHT NGB 85-03 (1985).
- 2-6 PUSCH R, 1985:**
"The borehole, shaft and tunnel sealing test", in Radioactive Waste Disposal; In situ experiments in Granit, OECD/NEA, Proceedings of the 2nd NEA/Stripa Project Symposium, page 132, Paris.
- 2-7 Boliden WP-Contech AB, 1985.**
"NAK WP-Cave Project. Report on the research and development stage, May 1984 to October 1985."
SKN Report 16 (1985).
- 2-8 KATAYAMA B, 1976:**
"Leaching of Irradiated LWR Fuel Pellets in Deionized and Typical Ground Water".
Report: BNWL-2057.
Battelle Pacific Northwest Laboratory, Richland, WA.
- 2-9 EKLUND U-B and FORSYTH R S, 1978:**
"Leaching of Irradiated UO₂ Fuel".
KBS Technical Report 70, Stockholm.
- 2-10 WILSON C N, 1985:**
"Results from NNWSI Series 1 Spent Fuel Leach Tests".
Report: HEDL-TME 84-70.
Westinghouse Hanford Co., Richland, WA.
- 2-11 OVERSBY V M and WILSON C N, 1986:**
"Derivation of a Waste Package Source Term for NNWSI from Results of Laboratory Experiments", in "Scientific Basis for Nuclear Waste Management-IX", ed. L.O. Werme, p. 337, the Materials Research Society, Pittsburgh, PA.
- 2-12 SCHRAMKE J A, SIMONSON S A and COLES D G, 1984:**
"A Report on the Status of Hydrothermal Testing of Fully Radioactive Waste Forms and Basalt Repository Waste Package Components".
Report: SD-BWI-TI-253, Rev. O.
Battelle Pacific Northwest Laboratory, Richland, WA.
- 2-13 GRAY W J, McVAY G L, BARNER J O, SHADE J W and COTE R W, 1984:**
"Evaluation of Spent Fuel As a Waste Form in a Salt Repository", in "Scientific Basis for Nuclear Waste Management-VII, ed. G.L. McVay, p. 437, North-Holland Publ. Co., New York.
- 2-14 VANDERGRAAT T T, 1980:**
"Leaching of Irradiated UO₂ Fuel".
AECL Technical Record, TR-100.
- 2-15 JOHNSON L H, 1982:**
"The Dissolution of Irradiated UO₂ Fuel in Groundwater".
AECL Report, AECL-6837.
- 2-16 JOHNSON L H, BURNS I, JOLING H H and MOORE C J, 1981:**
"The Dissolution of Irradiated UO₂ Fuel under Hydrothermal Conditions".
AECL Technical Record, TR-128.

- 2-17 JOHNSON L H and JOLING H H, 1982:**
 "The Dissolution of Irradiated Fuel under Hydrothermal Conditions", in "Scientific Basis for Nuclear Waste Management-IV", ed. S.V. Topp, p. 321, North-Holland Publ. Co., New York.
- 2-18 STROES-GASCOYNE S, JOHNSON L H, BEELEY P A, and SELLINGER, D M, 1986:**
 "Dissolution of Used CANDU Fuel at Various Temperatures and Redox Conditions", in "Scientific Basis for Nuclear Waste Management-IX", ed. L.O. Werme, p. 317, the Materials Research Society, Pittsburgh, PA.
- 2-19 SHOESMITH D W, SUNDER S, JOHNSON L H, and BAILEY M G, 1986:**
 "Oxidation of CANDU UO₂ Fuel by the Alpha-Radiolysis Products of Water", in "Scientific Basis for Nuclear Waste Management-IX", ed. L.O. Werme, p. 309, the Materials Research Society, Pittsburgh, PA.
- 2-20 JOHNSON L H, BURNS K I, JOLING H H, and MOORE C J, 1983:**
 "Leaching of ¹³⁷Cs, ¹³⁴Cs, and ¹²⁹I from Irradiated UO₂ Fuel".
 Nucl. Techn. 63 470.
- 2-21 Systemstudie Andere Entsorgungstechniken, Technischer Anhang 9.**
 Auslaugungsversuche an unbestrahlten und bestrahlten Kernbrennstoffen in Salzlaugen.
 KWU AG, Oktober 1984.
- 2-22 FORSYTH R S, SVANBERG K and WERME L O, 1984:**
 "The Corrosion of Spent UO₂ Fuel in Synthetic Groundwater", in "Scientific Basis for Nuclear Waste Management-VII", ed. G.L. McVay, p. 179, North-Holland Publ. Co., New York.
- 2-23 BRUNO J, FORSYTH R S, and WERME L O, 1985:**
 "Spent UO₂ Fuel Dissolution. Tentative Modelling of Experimental Apparent Solubilities", in "Scientific Basis for Nuclear Waste Management-VIII", p. 413, the Materials Research Society, Pittsburgh, PA.
- 2-24 FORSYTH R S, WERME L O and BRUNO J, 1986:**
 "The Corrosion of Spent UO₂ Fuel in Synthetic Groundwater".
 Nucl. Mat. 138 (1986) 1.
- 2-25 LÖNNERBERG B, LARKER H och AGESKOG L, 1983:**
 "Encapsulation and handling of spent nuclear fuel for final disposal".
 SKBF/KBS Technical Report TR 83-20, May 1983.
- 2-26 The Swedish Corrosion Research Institute and its reference group.**
 "Corrosion resistance of a copper canister for spent nuclear fuel".
 SKBF/KBS Technical Report TR 83-24, April 1983.
- 2-27 SANDERSON A, SZLUHA T F, TURNER J L and LEGGATT R H, 1983:**
 "Feasibility study of electron beam welding of spent nuclear fuel canisters".
 SKBF/KBS Technical Report TR 83-25, April 1983.
- 2-28 HENRIKSON S och de POURBAIX M, 1979:**
 "Korrosionsprovning av olegerat titan i simulerade deponeringsmiljöer för upparbetat kärnbränsleavfall."
 Slutrapport.
 KBS Technical Report TR 79-14, May 1979.
- 2-29 MATTSSON H and OLEFJORD I, 1984:**
 "General corrosion of Ti in hot water and water saturated bentonite clay".
 SKB/KBS Technical Report TR 84-19, December 1984.
- 2-30 MATTSSON H and OLEFJORD I, 1986:**
 "ESCA investigation of the reaction products formed on titanium exposed to water saturated bentonite clay", in: "Scientific Basis for Nuclear Waste management-IX", ed.: L.O. Werme, p. 483, Materials Research Society, Pittsburgh, PA.
- 2-31 The Swedish Corrosion Institute and its reference group.**
 "Aluminium oxide as an encapsulation material for unprocessed nuclear fuel waste – evaluation from the viewpoint of corrosion".
 SKBF/KBS Technical Report TR 80-15, March 1980.
- 2-32 IKEDA B M and McKay P, 1985:**
 "The corrosion of titanium grades 2 and 12", in: AECL Technical Record TR-350, p. 135.
- 2-33 The NAGRA Working Group on Container Technology.**
 "An assessment of the Corrosion resistance of the highlevel waste containers proposed by NAGRA".
 NAGRA Technical Report 84-32, February 1984.
- 2-34 SIMPSON J P, SCHENK R and KNECHT B, 1986:**
 "Corrosion rate of unalloyed steels and cast irons in reducing granitic groundwaters and chloride solutions", in: "Scientific Basis for Nuclear Waste Management-IX", ed.: L.O. Werme, p. 429, Materials Research Society, Pittsburgh, PA.

- 2-35 MARSH G P, TAYLOR K J, BLAND I D, WESTCOTT C, TASKER P W and SHARLAND S M, 1986:**
 "Evaluation of the localized corrosion of carbon steel overpack for nuclear waste disposal in granite environments", in: "Scientific Basis for Nuclear Waste Management-IX", ed.: L.O. Werme, p.421, Materials Research Society, Pittsburgh, PA.
- 2-36 ONOFREI M, RAINE D and BROWN L, 1985:**
 "Ceramic materials for advanced containment", in: AECL Technical Record TR-350, p. 194.
- 2-37 FETT T, KELLER K and MUNZ D, 1985:**
 "Determination of crack growth parameters of alumina in 4-point bending tests".
 NAGRA Technical Report 85-51.
- 2-38 SIMPSON J P, 1983:**
 "Experiments on container materials for Swiss highlevel waste disposal projects. Part I".
 NAGRA Technischer Bericht 83-05.
- 2-39 SIMPSON, J P, 1984:**
 "Experiments on container materials for Swiss highlevel disposal projects. Part II".
 NAGRA Technical Report 84-01.
- 2-40 TAYLOR K J, BLAND I D and MARSH G P, 1984:**
 "Corrosion studies on containment materials for vitrified high-level nuclear waste".
 AERE-G2970.
- 2-41 SHARLAND S M and TASKER P W, 1985:**
 "A mathematical model of crevice and pitting corrosion: Part I - The physical model".
 AERE Report TP.1123.
- 2-42 SHARLAND S M, 1985:**
 "A mathematical model of crevice and pitting corrosion: Part II - The mathematical solution".
 AERE Report TP.1124.
- 2-43 NERETNIEKS I, 1986:**
 "Some aspects on the use of iron canisters for HLW", in: "Scientific Basis for Nuclear Waste Management-IX", ed.: L.O. Werme, p. 411, The Materials Research Society, Pittsburgh, PA.
- 2-44 BERGMAN B and FORBERG S, 1985:**
 "Ceramic containers for spent nuclear fuel. I. Homogeneous sealing of rutile containers at low temperatures", in: "Scientific basis for Nuclear Waste Management-VIII", eds.: C.M. Jantzen, J.A. Stone and R.C. Ewing, p. 421, The Materials Research Society, Pittsburgh, PA.
- 2-45 Tekniska Röntgencentralen AB.**
 "Feasibility study of detection of defects in welded copper".
 SKBF/KBS Technical Report TR 83-32, April 1983.
- 2-46 Kärnbränslecykelns slutsteg.**
 Använt kärnbränsle KBS-3. Del III Barriärer. Avsnitt 9 Buffert- och återfyllningsmaterial. SKBF/KBS, Stockholm, 1983.
- 2-47 PUSCH R, NILSSON J and RAMQVIST G, 1985:**
 "Final Report of the Buffer Mass Test - Volume 1: Scope, preparative field work, and test arrangement".
 Stripa Project Technical Report TR 85-11, July 1985, SKB, Stockholm.
- PUSCH R, BÖRGESSON L and RAMQVIST G, 1985:**
 "Final Report of the Buffer Mass Test - Volume II: Test results".
 Stripa Project Technical Report TR 85-12, July 1985, SKB, Stockholm.
- PUSCH R, 1985:**
 "Final Report of the Buffer Mass Test - Volume III: Chemical and physical stability of the buffer materials".
 Stripa Project Technical Report TR 85-14, November 1985, SKB, Stockholm.
- 2-48 ANDERSON D M, 1984:**
 "Smectite alteration". Proceedings of a Workshop convened at the Shoreham Hotel Washington, D.C. December 8-9, 1983.
 SKB/KBS Technical Report TR 84-11, November 1984.
- 2-49 PUSCH R, ERLSTRÖM M and BÖRGESSON L, 1985:**
 "Sealing of rock fractures. A survey of potentially useful methods and substances".
 SKB Technical Report TR 85-17, December 1985.

Kapitel 3

- 3-1 Kärnbränslecykelns slutsteg.**
 Använt kärnbränsle KBS-3. Del I-IV.
 SKBF/KBS, Stockholm, 1983.
- 3-2 OHLSSON O, FALK L, SANDBERG E, CARLSTEN S, MAGNUSSON, K-Å, 1985:**
 Results from Borehole Radar Reflection Measurements, p. 190-202, Proc 2nd NEA/Stripa Project Symp, OECD/NEA, Paris.

- 3-3 AHLBOM K, ANDERSSON P, EKMAN L, GUSTAFSSON E, SMELLIE J, TULLBORG E-L, 1986:**
Preliminary Investigations of Fracture zones in the Brändan Area, Finnsjön Study Site.
SKB Technical Report TR 86-05, February 1986.
- 3-4 BLACK J H, 1985:**
Crosshole Investigations. Preliminary Results of Single-Borehole Hydraulic Tests and Early Crosshole Sinusoidal Measurements, p. 214-229, Proc 2nd NEA/Stripa Project Symp, OECD/NEA, Paris.
- 3-5 AECL 1985.**
The Geoscience Program.
Proc 17th Information Meeting of the Nuclear Fuel Waste Management Program.
AECL TR-299.
- 3-6 AECL 1986.**
General Meeting.
Proc 20th Information Meeting of the Canadian Nuclear Fuel Waste Management Program.
AECL TR-375.
- 3-7 HANCOX W T, WHITAKER S H, 1986:**
An Innovative Approach to Characterizing Sites for Nuclear Fuel Waste Disposal.
Proc 26th Annual Conf, Canadian Nucl Ass, Toronto June 8-10.
- 3-8 OECD 1985.**
Proc 2nd NEA/Stripa Project Symp, OECD/NEA, Paris.
- 3-9 THUNVIK R, BRAESTER C, 1980:**
Hydrothermal Conditions around a Radioactive Waste Repository.
SKBF/KBS Technical Report TR 80-19, December 1980.
- 3-10 AHLBOM K, CARLSSON L, OLSSON O, 1983:**
Final Disposal of Spent Nuclear Fuel - Geological, Hydrogeological and Geophysical Methods for Site Characterization.
SKBF/KBS Technical Report TR 83-43, May 1983.
- 3-11 MÖRNER N A, 1977:**
Rörelser och instabilitet i den svenska berggrunden.
KBS Technical Report TR 18, August 1972.
- 3-12 RÖSHOFF K, LAGERLUND E, 1977:**
Tektonisk analys av södra Sverige, Vättern - N Skåne.
KBS Technical Report TR 20, September 1977.
- 3-13 HENKEL H, HULT K, ERIKSSON L, 1983:**
Neotectonics in Northern Sweden - Geophysical Investigations.
SKBF/KBS Technical Report TR 83-57, May 1983.
- 3-14 LAGERBÄCK R, WITSCHARD F, 1983:**
Neotectonics in Northern Sweden - Geological Investigations.
SKBF/KBS Technical Report TR 83-58, May 1983.
- 3-15 FLODÉN T, 1977:**
Tectonic Lineaments in the Baltic from Gävle to Simrishamn.
KBS Technical Report TR 59, December 1977.
- 3-16 KULHANEK O, WAHLSTRÖM R, 1977:**
Earthquakes of Sweden 1891-1957, 1963-1972.
KBS Technical Report TR 21, September 1977.
- 3-17 RINGDAL F, GJÖYSTDAL H, HUSEBYE, E S, 1977:**
Seismotectonic Risk Modelling for Nuclear Waste Disposal in the Swedish Bedrock.
KBS Technical Report TR 51, October 1977.
- 3-18 BÅTH M, 1979:**
Fracture Risk Estimation for Swedish Earthquakes.
KBS Technical Report TR 79-27, October 1979.
- 3-19 PUSCH R, 1977:**
The Influence of Rock Movement on the Stress/Strain Situation in Tunnels or Boreholes with Radioactive Canisters Embedded in a Bentonite/Quartz Buffer Mass.
KBS Technical Report TR 22, August 1977.
- 3-20 STEPHANSSON O, 1977:**
Deformationer i sprickigt berg.
KBS Technical Report TR 29, September 1977.
- 3-21 PUSCH R, 1978:**
Inverkan av glaciation på en deponeringsanläggning belägen i urberg 500 m under markytan.
KBS Technical Report TR 89, March 1978.
- 3-22 STEPHANSSON O, MÄKI K, GROTH T, JONASSON P, 1978:**
Finit elementanalys av bentonitfyllt bergförvar.
KBS Technical Report TR 104, July 1978.
- 3-23 PELTONEN E, RYHÄNEN V H, SALU J-P, VIENO T K, VUORI S J, 1986:**
Concept and Safety Assessment for Spent Fuel Disposal in Finland.
Int Symp on the Siting, Design and Construction of Underground Repositories for Radioactive Waste.
Hanover, March 1986, IAEA-SM-289/28.

- 3-24 VUORI S, PELTONEN E, VIENO T K, 1986:**
Safety of the Disposal of Spent Fuel and other LWR Wastes in Hard Bedrock, p. 583–590. 9th FORATOM Congress (ENC 86). Geneve June 1986.
- 3-25 MÖRNER N A ed, 1980:**
The Fenno-scandian Uplift in Earth Rheology, Isostasy and Eustasy. John Wiley & Sons, New York.
- 3-26 TULKKI P, 1977:**
The Bottom of the Bothnian Bay, Geomorphology and Sediments. Havsforsk inst, Finland, skr 241,5.
- 3-27 TALBOT C, SLUNGA R, 1986:**
The Pattern of Active Faults in the Baltic Shield. GFF, Stockholm (i tryck).
- 3-28 SLUNGA R, 1985:**
The Seismicity of Southern Sweden 1979-1984. Final Report. FOA Stockholm (1985).
- 3-29 MASSARSCH R, 1983:**
Inverkan av jordbävningar på underjordsanläggningar. Inst f jord- och bergmekanik, Rapport 16, KTH, Stockholm, (1983).
- 3-30 BÅTH M, 1985:**
Superficial Granitic Layering in Shield Areas. Tectonophysics 118, p. 75-83.
- 3-31 RICHARDSON A M, BROWN S M, HUSTRULID W A, RICHARDSON D L, 1986:**
An Interpretation of Highly Scattered Stress Measurements in Foliated Gneiss. Proc Int Symp Rock Stress and Rock Stress Measurements. Stockholm 1-3 Sept., CENTEK Luleå, p. 441-447.
- 3-32 PRICE R A, FLINN E A, 1981:**
International Lithosphere Program, Episode No 3, p. 13-17.
- 3-33 MÖRNER N A ed 1986:**
PPPL - a Part of the Swedish ILP. Report 1986. Stockholms Universitet.
- 3-34 Kärnbränslecykelns slutsteg.**
Förglasat avfall från upparbetning. KBS-1. Del I-V. KBS, Stockholm 1977.
- 3-35 OLKIEWICZ A, STEJSKAL V, 1986:**
Geological and Tectonic Description of the Klipperås Study Site. SKB Technical Report TR 86-06, June 1986.
- 3-36 SEHLSTEDT S, STENBERG L, 1986:**
Geophysical Investigations at the Klipperås Study Site. SKB Technical Report TR 86-07, July 1986.
- 3-37 GENTZSCHEIN B, 1986:**
Hydrogeological Investigations at the Klipperås Study Site. SKB Technical Report TR 86-08, June 1986.
- 3-38 TULLBORG E-L, 1986:**
Fissure Fillings from the Klipperås Study Site. SKB Technical Report TR 86-10, June 1986.
- 3-39 BJARNASON B, STEPHANSSON O, 1986:**
Hydraulic Fracturing Rock Stress Measurements in Borehole Gi-1, Gideå Study Site, Sweden. SKB Technical Report TR 86-11, April 1986.
- 3-40 GENTZSCHEIN B, TULLBORG E-L, 1985:**
The Taavinunnanen Gabbro Massif. A Compilation of Results from Geological, Geophysical and Hydrogeological Investigations. SKB Technical Report TR 85-02, January 1985.
- 3-41 LARSSON S-Å, TULLBORG E-L, 1984:**
Fracture Fillings in the Gabbro Massif of Taavinunnanen, Northern Sweden. SKB Technical Report TR 84-08, August 1984.
- 3-42 McCRANK G F D, STONE D, EJECKAM R B, KAMINENI D C, SIKORSKY R I, McEWEN J, 1985:**
Surface and Subsurface Geological Investigations of the East Bull Lake Pluton, Research Area 7, 1. AECL TR-299, p. 143–164.
- 3-43 Industrins Kraft AB, 1985.**
Slutförvaring av använt kärnbränsle. Rapportsammandrag. Platsundersökningsprogrammet. Industrins Kraft AB (TVO), Finland.
- 3-44 ALMÉN K-E, ANDERSSON O, FRIDH B, HANSSON K, JOHANSSON B-E, NILSSON G, OLSSON O, SEHLSTEDT M, WIKBERG P:**
Site Investigations – Equipment for Geological, Geophysical and Hydrochemical Characterization. SKB Technical Report TR 86-16 (i tryck).
- 3-45 HOLMES D C, SEHLSTEDT M, 1985:**
Crosshole Investigations – Design of the Hydraulic Testing System, p. 203–213, Proc. 2nd NEA/Stripa Project Symp, OECD/NEA, Paris.

3-46 OLSSON O, FORSLUND O, LUNDMARK L, SANDBERG E, FALK L, 1985:
The Design of a borehole Radar System for Detection of Fracture Zones, p. 172–189, Proc 2nd NEA/Stripa Project Symp, OECD/NEA, Paris.

3-47 COSMA C, 1985:
Detection of Fractured Zones by Crosshole Seismics, p. 160–171, Proc 2nd NEA/Stripa Project Symp, OECD/NEA, Paris.

Kapitel 4

4-1 AGNEDAL P O, ANDERSSON K, EVANS S, SUNDBLAD B, THAM G, WILKENS A B:
“The dynamics of lake, bog & bay – consequences of exposure to uran related to final storage of spent nuclear fuel.”
Studsvik Energiteknik AB
SKB Technical Report TR 84-17, December 1984.

4-2 BERGSTRÖM U-B, EDLUND O, EVANS S, RÖJDER B, 1983:
“BIOPATH - A computer code for calculation of the turnover of nuclides in the biosphere and the resulting doses to man.”
Studsvik/NW-82/261.

4-3 SUNDBLAD B, LANDSTRÖM O, AXELSSON R:
“Concentration and distribution of natural radionuclides at Klipperåsen and Bjulebo, Sweden”.
Studsvik Energiteknik AB.
SKB Technical Report TR 85-09, October 1985.

4-4 JOHANSSON G:
“Minutes from the first BIOMOVs Coordinating Group Meeting in Boden October, 30 1985”.
SSI-rapport 85-24.

Kapitel 5

5-1 SMELLIE J, LARSSON N-Å, WIKBERG P and CARLSSON L:
“Hydrochemical Investigations in Crystalline Bedrock in Relation to Existing Hydraulic Conditions. Experience from the SKB Test-Sites in Sweden”.
SKB Technical Report TR 85-11, November 1985.

5-2 NORDSTROM D K and PUIGDOMENECH I:
“Redox Chemistry of Deep Groundwaters in Sweden”.
SKB Technical Report TR 86-03, April 1986.

5-3 TULLBORG E-L:
“Fissure Fillings from the Klipperås Study Site”.
SKB Technical Report TR 86-10, June 1986.

5-4 NORDSTROM D K, ANDREWS J N, CARLSSON L, FONTES J C, FRITZ P, MOSER H and OLSSON T:
“Hydrogeological and Hydrogeochemical Investigations in Boreholes – Final Report of the Phase I Geochemical Investigations of the Stripa Groundwaters”.
Stripa Project Technical Report TR 85-06, July 1985.

5-5 FRITZ B, KAM M and TARDY Y:
“Geochemical Simulation of the Evolution of Granitic Rocks and Clay Minerals Submitted to a Temperature Increase in the Vicinity of a Repository for Spent Nuclear Fuel”.
SKB/KBS Technical Report TR 84-10, July 1984.

5-6 FRITZ B and KAM M:
“Chemical Interactions between the Bentonite and the Natural Solutions from the Granite Near a Repository for Spent Nuclear Fuel”.
SKB Technical Report TR 85-10, July 1985.

5-7 GREENTHE I, RIGLET CH and VITORGE P:
“Studies of Metal-Carbonate Complexes. Composition and Equilibria of Trinuclear Neptunium and Plutonium Carbonate Complexes”.
Inorganic Chemistry, 25(1986) 1679.

5-8 MULLER A B:
“International Chemical Thermodynamic Data Base for Nuclear Applications”.
Radioactive Waste Management and the Nuclear Fuel Cycle, 6(1985) 131.

5-9 BRUNO J, GREENTHE I and MUÑOS M:
“The $\text{UO}_2\text{-La}(\text{OH})_3$ Coprecipitation as an Analogue for the $\text{UO}_2\text{-Pu}(\text{OH})_3$ System”, in “Scientific Basis for Nuclear Waste Management IX”, p 715, the Materials Research Society, Pittsburg, PA (1986).

5-10 MARINSKY J, MATHUTHU A, BICKING M and EPHRAIM J:
“Complex Forming Properties of Natural Occurring Fulvic Acids”.
SKB Technical Report TR 85-07, July 1985.

5-11 OLOFSSON U and ALLARD B:
“Formation and Transport of Americium Pseudocolloids in Aqueous systems”.
SKB Technical Report TR 86-02, March 1986.

- 5-12 McKINLEY I G, WEST J M and GROGAN H A:**
 "An Analytical Overview of the Consequences of Microbial Activity in a Swiss HLW Repository".
 NAGRA TR 85-43, December 1985.
- 5-13 WEST J M, HOOKER P J and McKINLEY I G:**
 "Geochemical Constraints on the Microbial Contamination of a Hypothetical UK Deep Geological Repository".
 British Geological Survey Report FLPU 84-8, August 1984.
- 5-14 ENGVALL A-G och HALLBERG R:**
 "Förstudie av mikroorganismers delaktighet i radionuklidmigration".
 Rapport juni 1985.
- 5-15 SKAGIUS K and NERETNIEKS I:**
 "Porosities and Diffusivities of some Non-sorbing Species in Crystalline Rocks".
 SKB Technical Report TR 85-03, February 1985.
- 5-16 SKAGIUS K and NERETNIEKS I:**
 "Diffusivity Measurements and Electrical Resistivity Measurements in Rock Samples under Mechanical Stress".
 SKB Technical Report TR 85-05, April 1985.
- 5-17 SKAGIUS K and NERETNIEKS I:**
 "Diffusion Measurements of Cesium and Strontium in Biotite Gneiss".
 SKB Technical Report TR 85-15, December 1985.
- 5-18 ALLARD B, ELIASSON L, HÖGLUND S and ANDERSSON K:**
 "Sorption of Cs, I and Actinides in Concrete Systems".
 SKB/KBS Technical Report TR 84-15, September 1984.
- 5-19 CHRISTENSEN H:**
 "Formation of Nitric and Organic Acids by the Irradiation of Groundwater in a Spent Fuel Repository".
 SKB/KBS Technical Report TR 84-12, July 1984.
- 5-20 CHRISTENSEN H and BJERGBAKKE E:**
 "Effect of Beta-Radiolysis on the Products from Alfa-Radiolysis of Groundwater".
 SKBF/KBS Technical Report TR 84-03, July 1984.
- 5-21 ERIKSEN T and CHRISTENSEN H:**
 "Hydrogen Production in Alfa-Irradiated Bentonite".
 SKB Technical Report TR 86-04, March 1986.
- 5-22 CHRISTENSEN H and BJERGBAKKE E:**
 "Radiolysis of Concrete".
 SKBF/KBS Technical Report TR 84-02, March 1984.
- 5-23 JENNE E A ed.:**
 "Chemical Modeling in Aqueous Systems. Speciation, Sorption, Solubility and Kinetics".
 American Chemical Society Symposium, Series 93 (1979).
- 5-24 ANDERSSON G, RASMUSON A and NERETNIEKS I:**
 "Migration Model for the Near Field. Final Report".
 SKBF/KBS Technical Report TR 82-24, November 1982.
- 5-25 NERETNIEKS I:**
 "The Movement of a Redox Front Downstream from a Repository for Nuclear Waste".
 SKBF/KBS Technical Report TR 82-16, April 1982.
- 5-26 NERETNIEKS I and ÅSLUND B:**
 "The Movement of Radionuclides Past a Redox Front".
 SKBF/KBS Technical Report TR 83-66, April 1983.
- 5-27 NERETNIEKS I and ÅSLUND B:**
 "Two Dimensional Movements of a Redox Front Downstream from a Repository for Nuclear Waste".
 SKBF/KBS Technical Report TR 83-68, June 1983.
- 5-28 NERETNIEKS I:**
 "Some Notes in Connection with the KBS Studies of Final Disposal of Spent Fuel".
 KBS Technical Report TR 120, September 1978.
- 5-29 RASMUSON A:**
 "Analysis of Hydrodynamic Dispersion in Discrete Fracture Networks Using the Methods of Moments".
 SKB Technical Report TR 85-13, June 1985.
- 5-30 RASMUSON A and NERETNIEKS I:**
 "Radionuclide Transport in Fast Channels in Crystalline Rock".
 Water Resources Research (i tryck).
- 5-31 NERETNIEKS I and RASMUSON A:**
 "An Approach to Modelling Radionuclide Migration in a Medium with Strongly Varying Velocity and Block Sizes Along the Flow Path".
 Water Resources Research 20(1984)1823.

- 5-32 RASMUSON A and NERETNIEKS I:**
 "Radionuclide Migration in Strongly Fissured Zones. The Sensitivity to some Assumptions and Parameters".
 SKB Technical Report TR 85-14, August 1984.
- 5-33 RASMUSON A:**
 "Modelling of Coupled Chemistry and Chemical Transport for a Final Repository of Nuclear Waste in Granitic Bedrock".
 Rapport Mars 1986.
- 5-34 ERIKSEN T:**
 "Radionuclide Transport in a Single Fissure. A Laboratory Study of Am, Np and Tc".
 SKBF/KBS Technical Report TR 84-01, January 1984.
- 5-35 MORENO L, NERETNIEKS I and ERIKSEN T:**
 "Analysis of some Laboratory Tracer Runs in Natural Fissures".
 SKBF/KBS Technical Report TR 84-04, March 1984.
- 5-36 LANDSTRÖM O, ANDERSSON K and TULLBORG E-L:**
 "Migration Experiments in Studsvik".
 SKBF/KBS Technical Report TR 83-18, January 1983.
- 5-37 GUSTAFSSON E and KLOCKARS C-E:**
 "Study of Strontium and Cesium Migration in Fractured Crystalline Rock".
 SKBF/KBS Technical Report TR 84-07, September 1984.
- 5-38 ABELIN H, NERETNIEKS I, TUNBRANT S and MORENO L:**
 "Final Report of the Migration in a Single Fracture. Experimental Results and Evaluation".
 Stripa Project Technical Report TR 85-03, May 1985, SKB, Stockholm.
- 5-39 Stripa Project TR 85-07.**
 Annual Report 1984.
 SKB, July 1985.
- 5-40 ANDERSSON P and KLOCKARS C-E:**
 "Hydrogeological Investigations and Tracer Tests in a Well-Defined Rock Mass in the Stripa Mine".
 SKB Technical Report TR 85-12, September 1985.
- 5-41 BIRGERSSON L and NERETNIEKS I:**
 "Diffusion in the Matrix of Granitic Rock. Field Test in the Stripa Mine. Part 1".
 SKBF/KBS Technical Report TR 82-08, July 1982.
- 5-42 BIRGERSSON L and NERETNIEKS I:**
 "Diffusion in the Matrix of Granitic Rock. Field Test in the Stripa Mine. Part 2".
 SKBF/KBS Technical Report TR 83-39, March 1983.
- 5-43 SMELLIE J ed.:**
 "Natural Analogues to the Conditions around a Final Repository for High-level Radioactive Waste. Proceedings of the Natural Analogue Workshop held at Lake Geneva, Wisconsin, USA (October 1-3, 1984)".
 SKB/KBS Technical Report TR 84-18, December 1984.
- 5-44 CURTIS D and GANCARZ A:**
 "Radiolysis in Nature. Evidence from the Oklo Natural Reactors".
 SKBF/KBS Technical Report TR 83-10, February 1983.
- 5-45 CURTIS D:**
 "The Chemical Coherence of Natural Spent Fuel at the Oklo Nuclear Reactors".
 SKB Technical Report TR 85-04, March 1985.
- 5-46 SMELLIE J A T, MACKENZIE A B and SCOTT R D:**
 "Part I. An Analogue Validation Study of Natural Radionuclide Migration in Crystalline Rock Using Uranium Series Disequilibrium Studies. Part II. A Comparison of Neutron Activation and Alpha Spectroscopy Analyses of Thorium in Crystalline Rocks".
 SKB Technical Report TR 86-01, February 1986.
- 5-47 "Proposed Program of Investigation at Poços de Caldas, Minas Gerais Brazil".**
 May 1986.
- 5-48 KULLMAN F, LÖFROTH B and SMELLIE J:**
 "Uranium Mineralisations in Sweden. A Compilation Report for Potential Natural Analogue Study Sites".
 SGAB Report IRAP 86008, February 1986.
- 5-49 "Natural Analogues Working Group Meeting".**
 Bryssel, November 5-7, 1985.
 CEC Report EUA 10315.

Kapitel 6

- 6-1 INTRACOIN.**
 Final Report Level 1: Code Verification.
 Swedish Nuclear Power Inspectorate Report SKI 84:3 (1984).
- 6-2 HYDROCOIN.**
 Progress Report No 2: January-June 1985.
 Hydrocoin Project Secretariat Report, 1985.

Kapitel 7

- 7-1 Kärnkraftavfallets Behandling och Slutförvaring.**
Internationell och utländsk verksamhet. Underlagsrapport till FoU-program -86. SKB september 1986.
- 7-2 Public Law 97-425 – Jan. 7, 1983.**
“Nuclear Waste Policy Act of 1982”.
- 7-3 Systemstudie Andere Entsorgungstechniken, Abschlussbericht Hauptband.**
Kernforschungszentrum Karlsruhe (Dez 1984).
- 7-4 PROJEKT GEWÄHR 1985.**
NAGRA Projektbericht NGB 85-01 – NGB 85-08 (Jan. 1985).
- 7-5 Swedish-American Cooperative Program on Radioactive Waste Storage on Radioactive Waste Storage in Mined Caverns in Crystalline Rock.**
Technical Information Reports No. 1-54 with various authors.
Den senaste rapporten skrevs av Binnall och McEvoy och har beteckningen LBL-12670, SAC-54, UC-70. Den publicerades i oktober 1985 och innehåller en fullständig lista på samtliga SAC-rapporter.
- 7-6 Geological Disposal of Radioactive Waste In Situ Experiments.**
Proceeding of the NEA Workshops in Stockholm 25th – 27th October 1982. OECD/NEA Paris 1985.
- 7-7 Radioactive Waste Disposal – In Situ Experiments in Granite.**
Proceedings of the 2nd NEA/Stripa Project Symposium in Stockholm 4-6 June 1985. OECD/NEA Paris 1985.
- 7-8 Stripa Project TR 81-02.**
Annual Report 1980. SKBF/KBS 1981.
- 7-9 Stripa Project TR 82-01.**
Annual Report 1981. SKBF/KBS 1982.
- 7-10 Stripa Project TR 83-02.**
Annual Report 1982. SKBF/KBS 1983.
- 7-11 Stripa Project TR 84-01.**
Annual Report 1983. SKBF/KBS 1984.
- 7-12 ABELIN H et al.:**
“Final Report of the Migration in a Single Fracture. Experimental Results and Evaluation.” Stripa Project TR 85-03, May 1985, SKB, Stockholm.
- 7-13 NORDSTROM D K et al.:**
“Hydrogeological and Hydrogeochemical Investigations in Boreholes – Final Report of the phase 1 geochemical investigations of the Stripa groundwaters.” Stripa Project Technical Report TR 85-06, July 1985, SKB, Stockholm.
- 7-14 Stripa Project TR 85-07.**
Annual Report 1984. SKB, July 1985.
- 7-15 CARLSSON L and OLSSON T:**
“Hydrogeological and Hydrogeochemical Investigations – Final Report”. Stripa Project Technical Report TR 85-10, July 1985, SKB, Stockholm.
- 7-16 PUSCH R, NILSSON J and RAMQVIST G, 1985:**
“Final Report of the Buffer Mass Test - Volume 1: Scope, preparative field work, and test arrangement”. Stripa Project Technical Report TR 85-11, July 1985, SKB, Stockholm.
- PUSCH R, BÖRGESSON L and RAMQVIST G, 1985:**
“Final Report of the Buffer Mass Test - Volume II: Test results”. Stripa Project Technical Report TR 85-12, July 1985, SKB, Stockholm.
- PUSCH R, 1985:**
“Final Report of the Buffer Mass Test - Volume III: Chemical and physical stability of the buffer materials”. Stripa Project Technical Report TR 85-14, November 1985, SKB, Stockholm.
- 7-17 Tentative Program for the Stripa Project Phase 3 1986–1991.**
January 28, 1986, SKB.
- 7-18 AECL.**
– The Geoscience Program – Proc 17th Int Meeting of the Nuclear Fuel Waste Management Program. AECL TR-299, (1985).
- 7-19 HERMANSSON H-P, BJÖRNER I-K, CHRISTENSEN H and YOKOYAMA H, 1984:**
“JSS-Project Phase I: Static leaching in distilled water, silicate water and simulated groundwater at 90°C with and without granite. Studsvik’s final report”. JSS Project Technical Report TR 84-01, SKB, Stockholm.
- 7-20 BART G, AERNE E T, GÖRLICH W, GRAUER R, LINDER H, MOKOS M, Z’BERG D and ZWICKY H U, 1984:**
“EIR final report of JSS glass corrosion programme Phase I”. JSS Project Technical Report TR 84-02, SKB, Stockholm.

- 7-21 “JSS-Project Phase I:**
A summary of work performed at Studsvik Energiteknik AB and at Swiss Federal Institute for Reactor Research (EIR)”.
JSS Project Technical Report TR 84-03, SKB, Stockholm.
- 7-22 “JSS-Project Phase II:**
Final report of work performed at Studsvik Energiteknik AB and at Swiss Federal Institute for Reactor Research”.
JSS Project Technical Report TR 85-01, SKB, Stockholm.
- 7-23 “JSS-Project Phase III:**
Static leaching of radioactive glass at 40°C and leaching under dynamic conditions”.
JSS Project Technical Report TR 86-01, SKB, Stockholm.
- 7-24 “Code utvecklade av US Geological Survey”,**
se t ex D L Parkhurst, D C Thorstensen and L N Plummer (original PHREEQE), Water-Resources Investigations 80-96, US Geological Survey, Reston, VA, USA, (1980).
- 7-25 “JSS-Project Phase IV:**
Reactions between radioactive glass, water, bentonite and steel corrosion products; Experiments and model”.
JSS Project Technical Report TR 86-02, SKB, Stockholm.
- 7-26 GRAMBOW B, 1986:**
“A model for leaching of HLW glass under repository conditions”.
JSS Project Technical Report TR 86-03, SKB, Stockholm.
- 7-27 HERMANSSON H-P, BJÖRNER I-K, CHRISTENSEN H, OHE T and WERME L O, 1986:**
“Static leaching of fully radioactive waste glass at 90°C in the presence of bentonite, granite, and stainless steel corrosion products”, in: “Scientific Basis for Nuclear Waste Management-IX”, ed.: L O Werme, p 179, the Materials Research Society, Pittsburgh, PA.
- 7-28 GRAMBOW B B, HERMANSSON H-P, BJÖRNER I-K and WERME L, 1986:**
“Glass/water interactions with and without bentonite present – Experiment and model”, in: “Scientific Basis for Nuclear Waste Management-IX”, ed.: L O Werme, p 187, the Materials Research Society, Pittsburgh, PA.
- 7-29 GRAMBOW B, HERMANSSON H-P, BJÖRNER I-K, CHRISTENSEN H, and WERME L:**
“Reaction of nuclear waste glass with slowly flowing solutions”, presented at American Ceramic Society’s Third International Symposium on Ceramics in Nuclear Waste Management, Chicago, IL, April 27 – May 1, 1986 (i tryck).
- 7-30 WEDOW H, 1967:**
“The Morro do Ferro thorium and rare-earth deposit, Poços de Caldas District, Brazil”, USGS Bull. 1185-D (Washington DC, US Geological Survey).
- 7-31 EISENBUD M, KRAUSKOPF K, PENNA FRANCA E, LEI W, BALLARD R, LINSALATA P and FUJIMORI K, 1984:**
“Natural analogues for the transuranic actinide elements”, Environ. Geol. Water Sci. 6, 1 (1984)1.
- 7-32 LINSALATA P, EISENBUD M and PENNA FRANCA E, 1986:**
“Ingestion estimates of Th and the light rare earth elements based on measurements of human feces”, Health Physics 50, 1 (1986)163.
- 7-33 MIEKELEY N, DOTTO R M, KUCHLER I L and LINSALATA P, 1985:**
“The importance of organic compounds on the mobilization and bio assimilation of thorium in the Morro do Ferro environment”, in: “Scientific Basis for Nuclear Waste Management VIII”, the Materials Research Society, Pittsburgh, PA.
- 7-34 SANTOS R, 1976:**
“Geology and mining development of the C-09 uranium deposit”.
IAEA-AG-162/28, Wien, 1976.
- 7-35 HYDROCOIN.**
Progress Report No 3.
SKI, Stockholm, (1986).
- 7-36 CARLSSON L, WINBERG A, GRUNDFELT B, 1983:**
“Model Calculations of the groundwater flow at Finnsjön, Fjällveden, Gideå and Kamlunge”.
SKBF/KBS Technical Report TR 83-45, May 1983.
- 7-37 INTRACOIN; FINAL REPORT LEVEL 1:**
Code verification.
SKI 84:3, September 1984.
- 7-38 System Performance Assessment for Radioactive Waste Disposal.**
Proceedings of an NEA-workshop,
OECD/NEA, 22-24 October 1985, Paris 1986.

Bilaga

Remissbehandling och expertgranskning av KBS-3. Yttranden och påpekanden relevanta för FoU-program 86.

Regeringen har i sitt tillstånd, att tillföra kärnbränsle till reaktorerna Forsmark 3 och Oskarshamn III, föreskrivit att FoU-programmet även skall omfatta en redovisning av hur de synpunkter och påpekanden, som framförts vid remissbehandlingen och expertgranskningen av KBS-3, har beaktats och avses att beaktas.

De synpunkter som framkommit vid granskningen behandlar dels bevisföringen för att den redovisade utformningen är genomförbar och tillgodoser samhällets krav på säkerhet, dels förslag på insatser för att möjliggöra effektivare systemutformningar eller bättre funktions- och säkerhetsanalyser.

Granskningen har utgjort ett värdefullt underlag för både det FoU-program som redovisades 1984, i anslutning till KBS-3, och föreliggande FoU-program 1986.

Regeringens bedömning, att KBS-3-metoden i sin helhet i allt väsentligt kunnat godtas med hänsyn till säkerhet och strålskydd, har medfört att de fortsatta insatserna i FoU-programmet främst syftar till en allsidig belysning av olika alternativa sätt att utforma slutförvaret.

Bortsett från vissa insatser rörande enskildheter i KBS-3-metoden, kommer en eventuell vidareutveckling av KBS-3-utformningen inte att påbörjas förrän en bred alternativgenomgång gjorts.

Detta medför att vissa insatser föreslagna av granskare om exempelvis fortsatt teknikutveckling och optimering av barriärsystemet kommer att skjutas på framtiden. Andra insatser, exempelvis rörande alternativa utformningar eller material, kommer redan i ett tidigt skede att ingå i olika typer av alternativinventeringar.

I FoU-program 86 del II görs en genomgång av nödvändiga FoU-insatser för att kunna välja plats och utformning för en slutförvaransläggning till år 2000. Sådana åtgärder som faller under perioden 1987-1992 definieras sedan i detalj i del III under respektive ämnesområde.

Insatser som gäller tekniska barriärer och funktionen av dessa är i hög grad knutna till målsättningen att genomföra en bred alternativgenomgång. Insatser inom geovetenskaperna, biosfären och kemiområdet hänför sig främst till en generellt tillämplig vidareutveckling av modeller eller dataunderlag och kommer endast delvis att inriktas med hänsyn till ovan nämnda alternativgenomgångar.

Påpekanden och synpunkter från granskarna har ofta resulterat i kontakter eller samarbete med andra grupper. Dessa kontakter har sedan i sin tur påverkat uppläggningsen av FoU-programmet. Det omfattande erfarenhetsutbyte som etablerats under de senaste tio åren, medför också goda möjligheter till samarbete och arbetsfördelning mellan SKB och utländska grupper, se kapitel 7 i del III. Sådant samarbete återspeglas bl a i de planerade forskningsinsatserna för kapsel- och buffertmaterial.

Önskemål om realistiska beräkningar av förvarets funktion, baserade på troliga parametervärden, framfördes av ett stort antal granskare som följd av de stora säkerhetsmarginaler som tillämpats vid KBS-3-analyserna. Dessa önskemål kommer att beaktas vid de utvärderingar som föregår plats- och systemvalet och vid den slutliga optimeringen. En optimering förutsätter också en vidareutveckling av modeller och databaser, vilket också rekommenderats av många granskare.

Nedan har sådana påpekanden sammanställts, som framkommit vid granskningen av KBS-3 och som har betydelse för det föreliggande FoU-programmet. Vägledande vid genomgången har varit att ta fram sådana yttranden som antingen anger områden där kunskapen bör fördjupas, föreslår alternativa utformningar eller metoder, eller pekar på osäkerheter som berör förvarets säkerhet.

Påpekanden inom samma område redovisas kort med en övergripande rubricering och genom en källmarkering anges de granskare som tagit upp frågan. I den tredje spalten hänvisas till de avsnitt i FoU-programmets del III där sakfrågan behandlas. Efter sammanställningen återfinns en lista som förklarar beteckningarna för de olika granskningsgrupperna.

Ofta tar olika granskningsgrupper upp samma problemområde från olika vinklar och uttrycker sina synpunkter på olika sätt. Detta medför att rubriceringen ofta är relativt bred. Källmarkeringarna täcker inte upp samtliga granskare som berört en fråga. I många fall har enbart sådana som varit mest explicita i sina kommentarer markerats.

Syftet med sammanställningen är att genom tabellen förenkla möjligheten att snabbt återfinna de textavsnitt som berör de vanligaste och för FoU-programmet mest relevanta granskningspåpekandena.

Granskningspåpekanden till KBS-3

| Ämnesområde | Granskningsinstanser | Avsnitt i FoU- program 86 Del III |
|---|---|--|
| TEKNISKA BARRIÄRER | | |
| Bränslematris och upplösning | | |
| Studier av bränsleupplösning/bränslelakning | NAK, SKI, FOA, IAEA, TAC | 2.3.5 |
| Modellering av bränsleupplösningen | SKI, Liljenzin, Langmuir | 2.3.5 |
| Radiolys | Liljenzin, Studsvik | 2.3.5, 5.2.4 |
| Kapsel och kapselkorrosion | | |
| Studier av gropfrätning/spaltkorrosion | SKI, Beijer, KTH, CEA, AERE | 2.4.4 |
| Oorganisk reduktion sulfat/sulfid | TAC | 2.4.4 |
| Utveckling av elektronstrålesvetsning | NAK, SKI, IAEA | 2.4.4 |
| Utveckling av het isostatisk pressning | NAK, CTH, IAEA | 2.4.3 |
| Icke-förstörande provning | NAK, SKI, LuH, CEA, IVA, AERE | 2.4.4 |
| Krypstudier | KTH | 2.4.3 |
| Buffert och återfyllnad | | |
| Fältförsök | SGI, SKI, Studsvik | 2.5.3 |
| Materialegenskaper hos bentonit | SKI, NAK | 2.5.4 |
| Temperaturkänslighet hos bentonit | SGU, KTH, SKI, NAS | 2.5.4, 7.8.1 |
| GEOVETENSKAPER | | |
| Geohydrologi | | |
| Vidareutveckling av flödesmodeller | SKI, AERE, RE/SPEC, LTH, KTH, IVA, IAEA, NEA, NAS | 3.1.4, 7.3 |
| Hydraulisk konduktivitet | SKI, AIB, UU, IVA, RE/SPEC, SGU, NFR, KVA, IAEA, NEA, NAS | 3.1.4 |
| Kinematisk porositet | SKI | 3.1 |
| Vattenomsättning | SGI, KTH, IVA, Studsvik | 3.1 |
| Flödesdispersion i sprickigt berg | NAK, KTH, LTH | 3.1 |
| Sprickors orientering – anisotropi | RE/SPEC, SKI, CEA | 3.1, 3.5.4, 7.3 |
| Sprickzoners betydelse | TAC, NAK | 3.1 |
| Geofysiska metoder att spåra sprickzoner | West, SKI | 3.1.4, 3.3.4, 7.3 |
| Typområdesundersökningar | | |
| Regionala studier tektonik, geohydrologi | SKI, TAC, Wickman, SGU | 3.3.4 |
| Interferenstester | SKI, NAS, SGU, | 3.3.4, 3.5.4 |
| Bergmekaniska beräkningar | SKI, SGI, IVA, LU, KTH, SGU, TAC, CEA | 3.2.4, 3.3.4 |
| Undersökningar till minst 1000 m djup | NAK, CTH, SGU | 3.3 |
| Platsspecifik verifikation av modellberäkningar | TAC, IAEA, NEA | 3.4.4 |
| Ultramafiter | CTH | 3.3.3 |
| Instrument | | |
| Radarundersökningar | West, SKI | 3.1.4, 3.3.4, 3.5.4, 7.3 |
| Orienterade kärnor eller TV-loggning | SKI | 3.5.4 |
| In-situ-mätning av redox-förhållanden | NEA, IVA, CEA | 3.5.4, 5.1.4 |
| Bergmekanik | | |
| Undersökningar av ev gränsskikt på 1,4 km djup | Båth, UU | 3.2.4 |
| Bergmekaniska modeller | AIB, Massarsch | 3.2.4 |
| Termomekaniska studier | CEA, SKI, RE/SPEC | 3.1.4 |
| Termisk konvektion | SKI | 3.1.4 |
| Landsomfattande tektonisk karta | NAK, AIB, NFR, LU | 3.2.4 |
| Jordbävningars inverkan på förvaret | KTH, LTH, Massarsch, UU, CEA | 3.2.4 |
| Inlandsisens inverkan på förvaret | SKI, LTH, KTH, Wickman, IAEA | 3.2.4 |
| Postglaciala rörelsezoner | SKI, NAS | 3.2.4 |

| Ämnesområde | Granskningsinstanser | Avsnitt i FoU- program 86 Del III |
|---|---|--|
| BIOSFÄR | | |
| Tidsberoende parametrar | NRPB | 4.4.1 |
| Databas | Lidén, SU, NFR, Studsvik | 4.4.2 |
| Sedimentstudier | Dyrssen, NRPB | 4.4.3 |
| KEMI | | |
| Geokemi | | |
| Provtagning och analys av grundvatten | Langmuir, Dyrssen, IVA, NEA | 5.1.4 |
| Grundvattendatering | Langmuir, Beijer, SGU, IAEA, NEA, LU | 5.1.3 |
| Geokemisk modellering | SKI, Langmuir, RE/SPEC, NAK, Beijer, Liljenzin, Jacks, Dyrssen, Wickman, SNV, UmU, NEA, CEA | 5.1.4 |
| Naturliga redoxförhållanden | Langmuir, SIKOB, Jacks, KTH, IVA, IAEA, NEA, CEA | 5.1.4, 3.5.4 |
| Salt grundvatten | Jacks, Dyrssen, IAEA, NEA | 5.1.3 |
| Geogas | AIB, SNV, CEA, LTH | 5.1.4, 3.1.4 |
| Analys av sprickmineral | Wickman, NEA, CEA | 5.1.4 |
| Radionuklidkemi | | |
| Löslighet och komplexbildning (oorganisk) | SKI, Langmuir, Beijer, Liljenzin, NAS, Studsvik | 5.2.4 |
| Reduktion och utfällning | Beijer, Liljenzin, Studsvik, IAEA | 5.2.4 |
| Organiska komplex, kolloider och mikrober | SKI, Langmuir, Liljenzin, Dyrssen, Studsvik, IAEA, NAS, CEA, TAC, SNV, KTH | 5.2.4 |
| Sorptionsmodeller | SKI, AERE, Langmuir, NAK, Liljenzin, KTH, CTH, IVA, NRPB | 5.2.4 |
| Diffusion i bergets mikrosprickor | SKI, Beijer, TAC, CEA | 5.2.4 |
| Radiolys | SKI, KTH, TAC | 5.2.4, 2.3.5 |
| Kemisk transport | | |
| Migrationsmodell för närområdet | NRPB | 5.3.4 |
| Uppvärmningens betydelse i närområdet | SKI | 5.3.4 |
| Gasbildning i närområdet | SKI | 5.3.4 |
| Redoxpåverkan i närområdet | SKI, Jacks, Studsvik, TAC | 5.3.4 |
| Kopplade modeller transport – geokemi | SKI | 5.3.4 |
| Validering | | |
| Migrationsförsök i laboratorium | Studsvik | 5.4.4 |
| Migrationsförsök in-situ | NAK, SGU, Studsvik | 5.4.4, 3.5 |
| Naturliga analogier | Beijer, Wickman, KTH, Studsvik, IAEA | 5.4.4, 7.6 |
| SÄKERHETSANALYSER | | |
| Scenario-beskrivning | NRPB, NEA, FOA | 6.3 |
| Probabilistiska analyser, osäkerheter och känslighet | NAK, FOA, IAEA, NAS, TAC, CEA | 6.4.3 |

Lista över granskningsinstanser

| | | | |
|-------------|--|------------|--|
| AERE – | AERE Harwell, Theoretical Physics Division, Storbritannien | RE/SPEC – | RE/SPEC (SKI) |
| AIB – | Allmänna Ingenjörbyrå AB (NAK) | SIG – | Statens Geotekniska Institut |
| Beijer – | Beijerinstitutet (NAK) | SGU – | Sveriges Geologiska Undersökning |
| Båth – | Marcus Båth (SSI) | SIKOB – | SIKOB AB (SKI) |
| CEA – | Commissariat a l’Energie Atomique, Frankrike | SKI – | Statens Kärnkraftinspektion |
| CTH – | Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg | SNV – | Statens Naturvårdsverk |
| Dyrssen – | David Dyrssen (NAK) | Studsvik – | Studsvik Energiteknik AB |
| FOA – | Försvarets Forskningsanstalt | SU – | Stockholms Universitet |
| IAEA – | International Atomic Energy Agency, Wien | TAC – | The Technical Advisory Committee to the AECL, Canada |
| IVA – | Ingenjörsvetenskapsakademien | UU – | Uppsala Universitet |
| Jacks – | Gunnar Jacks (NAK) | UmU – | Umeå Universitet |
| KTH – | Kungliga Tekniska Högskolan, Stockholm | West – | GF West (SKI) |
| KVA – | Kungliga Vetenskapsakademien | Wickman – | F E Wickman och M Gillberg-Wickman (NAK) |
| Langmuir – | Don Langmuir (SKI) | | |
| Lidén – | Kurt Lidén (NAK) | | |
| Liljenzin – | Jan-Olof Liljenzin (NAK) | | |
| LTH – | Lunds Tekniska Högskola | | |
| LU – | Lunds Universitet | | |
| LuH – | Högskolan i Luleå | | |
| Massarsch – | Rainer Massarsch (NAK) | | |
| NAK – | Nämnden för hantering av använt kärnbränsle | | |
| NAS – | The National Research Council of National Academy of Sciences, USA | | |
| NEA – | OECD – Nuclear Energy Agency, Paris | | |
| NFR – | Naturvetenskapliga Forskningsrådet | | |
| NRPB – | National Radiological Protection Board, Storbritannien | | |

