

R-00-30

Geovetenskapligt inriktat program för undersökning och utvärdering av platser för djupförvaret

Svensk Kärnbränslehantering AB

Augusti 2000

Svensk Kärnbränslehantering AB

Swedish Nuclear Fuel
and Waste Management Co

Box 5864

SE-102 40 Stockholm Sweden

Tel 08-459 84 00

+46 8 459 84 00

Fax 08-661 57 19

+46 8 661 57 19



ISSN 1402-3091

SKB Rapport R-00-30

Geovetenskapligt inriktat program för undersökning och utvärdering av platser för djupförvaret

Svensk Kärnbränslehantering AB

Augusti 2000

Nyckelord: djupförvar, använt kärnbränsle, platsutvärdering, säkerhetsanalys, projektering, platsundersökningar, borrhål.

Förord

Arbetet med att ta fram underlag för att lokalisera djupförvaret för använt kärnbränsle sker i två steg: förstudier och platsundersökningar. Förstudieskedet håller nu på att slutföras, och har gett ett brett underlag inför fortsättningen. Målet för det kommande platsundersökningsskedet är att få de tillstånd som krävs för att lokalisera och bygga djupförvaret. Huvuduppgiften för SKB är att ta fram allt underlag som krävs för detta. Det innebär bland annat att undersöka berggrunden och förhållandena i övrigt på utvalda platser för att klarlägga om dessa platser är lämpliga för ett djupförvar.

Programmet för platsundersökningsskedet i en kommun måste anpassas till de specifika förhållandena på den aktuella platsen, i kommunen och i regionen. SKB planerar att redovisa en helhetsbild av programmen för platsundersökningsskedet i utvalda kommuner i den kommande kompletteringen till FUD-program 98. Avsikten är att där beskriva planerade insatser avseende:

- berggrunden, den långsiktiga säkerheten och tekniken för berganläggning,
- industrietableringen och tillhörande frågor rörande markutnyttjande, transporter, infrastruktur och miljöaspekter,
- samhällsaspekter/opinion, inklusive etableringens inverkan på ortens näringsliv, arbetsmarknad och övriga förhållanden.

Denna rapport redovisar SKB:s program för undersökning och utvärdering av platser för djupförvaret. Metodik och teknik för att undersöka och utvärdera berget är det dominerande inslaget, men även ytnära ekosystem och förhållanden vid ytan i övrigt berörs. Rapporten syftar till att uppfylla kraven på "ett tydligt platsundersökningssprogram" enligt regeringens beslut 2000-01-24 om FUD-program 98. Det program som redovisas är generellt. Det kommer att utgöra underlag för att i ett senare skede planera motsvarande verksamhet, med anpassning till de specifika förutsättningarna i de kommuner och på de platser som blir aktuella.

Arbetet har utförts av en grupp bestående av Karl-Erik Almén, Johan Andersson, Rolf Christiansson, Sven Follin, Allan Hedin, Stig Pettersson, Jan-Olof Selroos samt under-tecknad.



Anders Ström
Projektledare
Enhet Djupförvarsteknik SKB

Sammanfattning

SKB:s mål är att kunna inleda platsundersökningar år 2002. Omfattande förberedelser pågår för denna övergång till nästa skede i lokaliseringsprocessen för djupförvaret.

Förutsättningar

En av huvuduppgifterna för SKB är att ta fram ett tydligt platsundersökningsprogram. Med platsundersökningsprogram avses här ett i huvudsak *geovetenskapligt program för undersökning och utvärdering av platser*. Det ska alltså framgå både vilken typ av information som avses samlas in från en plats och hur den ska användas vid utvärdering av platsens lämplighet för ett djupförvar. Denna rapport redovisar undersöknings- och utvärderingsprogrammet. Programmet är inriktat på ett djupförvar enligt KBS-3-metoden för använt kärnbränsle.

Programmet är generellt och kommer längre fram att kompletteras med mer detaljerade tekniska beskrivningar. När områden för platsundersökningar valts kommer programmen att anpassas till de platsspecifika förutsättningarna.

Mål och etappindelning

Målet för platsundersökningsskedet är att få de tillstånd som krävs för att lokalisera och bygga djupförvaret. De geovetenskapligt inriktade insatserna under platsundersökningsskedet ska ge det breda kunskapsunderlag som krävs för att kunna utvärdera undersökta platsers lämplighet för ett djupförvar. Materialet ska vara tillräckligt omfattande för att bland annat

- visa huruvida den valda platsen uppfyller grundläggande säkerhetskrav och om byggtekniska förutsättningar är uppfyllda,
- möjliggöra jämförelser med andra platser som undersökts, samt
- kunna ligga till grund för anpassning av djupförvaret till platsens förutsättningar och egenskaper med acceptabel inverkan på miljö och samhälle.

Arbetet genomförs i samråd med kommuner, myndigheter och närboende.

När undersökningar och övriga utredningar genomförts och resultaten analyserats kommer SKB att ta ställning till huruvida förutsättningarna för att lämna in ansökan om lokalisering av djupförvaret på en av platserna är uppfyllda. Om så är fallet lämnas ansökan in, till vilken bifogas de miljökonsekvensbeskrivningar som utarbetas i löpande samråd med alla berörda. Tillstånds- och tillåtighetsprövning sker därefter enligt kärntekniklagen, miljöbalken samt plan- och bygglagen. Om tillstånd erhålls påbörjas detaljundersökningsskedet.

Utgångspunkten för platsundersökningarna är kandidatområden i förstudiekommuner. Ett kandidat område är ett geografiskt område som bedömts som lämpligt för vidare studier baserat på underlag från förstudieskedet. Storleken på kandidat områdena beror på hur långt man kunnat precisera en möjlig lokalisering av djupförvaret, men kan vara upp emot ett par hundra kvadratkilometer. Förutsättningarna på de valda kandidat-

områdena är alltså inte inbördes lika vad avser det intressanta områdets storlek och kunskapen om de geologiska förhållandena. Den första uppgiften blir därför att ta områdena till jämförbar kunskapsnivå, precisera en prioriterad plats inom respektive område för vidare undersökningar mot djupet, samt erhålla preliminär kunskap om bergförhållanden på försvarsdjup på dessa platser. Denna etapp kallas *inledande platsundersökning*. Med plats menas den yta som erfordras för att rymma och karakterisera ett djupförvar och dess närmaste omgivning, uppskattningsvis 5–10 kvadratkilometer.

Huvudsyftet med den inledande etappen är

- att identifiera och välja den plats inom ett angivet kandidat område som bedöms vara mest lämpad för ett djupförvar och därmed också den del dit de fortsatta undersökningarna ska koncentreras, och
- att med begränsade insatser avgöra om förstudiens bedömning om kandidat områdets lämplighet kvarstår även med data från djupet.

Om den samlade bedömningen visar att det fortfarande finns goda förutsättningar för att lokalisera ett djupförvar på de undersökta platserna följer *kompleta platsundersökningar* på dessa platser. Syftet med de kompletta platsundersökningarna är att ta fram det underlag som krävs för att kunna välja plats samt ansöka om tillstånd för lokalisering av djupförvaret. Det betyder att kunskapen om berget och dess egenskaper behöver utökas så att:

- en geovetenskaplig förståelse för platsen kan erhållas vad gäller nuvarande tillstånd och naturligt pågående processer,
- en platsanpassad utformning av förvaret kan tas fram,
- en analys avseende byggets genomförbarhet och konsekvenser kan göras, samt
- en säkerhetsanalys kan genomföras för att bedöma om den långsiktiga säkerheten kan tillgodoses på platsen.

Aktiviteter under platsundersökningarna

Arbetet under platsundersökningsskedet läggs upp för att successivt ta fram ett kunskapsunderlag som kan utgöra grund för jämförelse mellan platserna. Tyngdpunkten i arbetet kommer naturligt att ligga på undersökningar av berget eftersom det är där den största bristen på data finns idag. Utifrån den platsspecifika informationen upprättar huvudaktiviteten *undersökningar* geovetenskapliga modeller (beskrivningar) av platsen. *Projektering* använder dessa modeller för att ta fram en platsspecifik anläggningsbeskrivning med försvarsutformning och bedömer konsekvenser av anläggningsarbetena. *Säkerhetsanalysen* utvärderar den långsiktiga säkerheten utifrån angivna platsmodeller och försvarsutformning. Kunskapen om platsen växer fram stegvis varför även de olika analyserna av platsen måste göras i steg. Resultat av tidiga analyser kan även komma att användas för att rikta in de fortsatta undersökningsinsatserna i senare steg. De olika huvudaktiviteterna måste därför samspela. Denna rapport fokuserar i huvudsak på dessa tre tekniska huvudaktiviteter.

Undersökningarnas huvudprodukt är en *platsbeskrivning*. Här redovisas insamlade data och tolkade parametrar som är av betydelse dels för den samlade vetenskapliga förståelsen av platsen, dels för de analyser och bedömningar som görs av projektering och säkerhetsanalys med avseende på djupförvarets utformning och byggande samt långsiktiga funktion och radiologiska säkerhet. Informationen samlas i en databas. Platsbeskrivningen ska dessutom presentera en sammanvägd beskrivning av platsen (geosfär och biosfär) och dess regionala omgivning med avseende på nuvarande tillstånd och naturligt pågående processer.

Projekteringens huvudprodukt är en *anläggningsbeskrivning*. Här redovisas layoutförslag med tillhörande bygganalyser baserade på redovisade data från undersökningar. En teknisk riskvärdering genomförs och med detta avses t ex en beskrivning av osäkerheter i gjorda kalkyler och miljöpåverkan av anläggningsarbeten. I anläggningsbeskrivningen redovisas valet av teknik och förvarslayout samt etableringsbeskrivning.

Säkerhetsanalysens huvudprodukt är en *säkerhetsrapport*. Här analyseras huruvida den långsiktiga säkerheten är uppfylld för det planerade djupförvaret baserat på redovisade undersökningsresultat och upprättad förvarslayout. Säkerhetsanalysen genomför analyser av termiska, hydrauliska, mekaniska och kemiska förlopp kring ett djupförvar liksom beräkningar av radionuklidtransport. Data efter genomförd platsundersökning ska ge underlag för en analys av åtminstone samma omfattning som säkerhetsanalysen SR 97. Metodiken i SR 97 utgör härvidlag en grund för den metodik som ska användas i kommande säkerhetsanalyser.

Fältverksamhet och miljöhänsyn

Insatserna som krävs i fält under platsundersökningen kommer att variera från en plats till en annan. Det gäller särskilt under inledningen av platsundersökningen eftersom förutsättningarna på de valda kandidatområdena inte är lika vad avser det intressanta områdets storlek och kunskapen om de geologiska förhållandena. Behovet av data är den faktor som i första hand kommer att styra verksamheten i fält under platsundersökningarna. Vad som är möjligt och lämpligt att göra styrs dock även i hög grad av miljöförhållandena på platsen.

Mätningar kommer att genomföras från luften, på marken samt i borrhål. För att mätinsatserna ska kunna genomföras snabbt och smidigt kan några mindre vägar behöva byggas och elektricitet dras fram till borrhåtar. Borrningen är den "tyngsta" verksamheten under platsundersökningarna. Två huvudtyper av hål borrar, kärnborrhål och hammarborrhål. Dessa innebär olika slags ingrepp på platsen i samband med utförandet. De djupare kärnborrhålen borrar med större maskiner men begränsas till högst ett 20-tal borrhåtar med en varaktighet av några månader per plats. Sannolikt kommer tre till fyra borrhåtmaskiner att samtidigt vara verksamma inom undersökningsområdet.

En platsundersökning kan inte direkt jämföras med ett vanligt bygg- eller anläggningsarbete. Även om den undersökta ytan är stor är verksamheten i fält huvudsakligen koncentrerad till enskilda mätplatser inom området. Undersökningar kommer också att göras i ett omgivande, större område, men endast i begränsad omfattning.

Verksamheten kommer att anpassas till platsens natur- och kulturvärden så att konsekvenserna begränsas. Det är uppenbart att beskrivningen som ges i denna rapport inte kan bli särskilt detaljerad eftersom den inte baseras på någon verklig plats. Hur verksamheten kommer att anpassas till förhållandena på en verklig plats kommer därför att tas upp i de platsspecifika program som presenteras vid senare tillfälle. För detta arbete kommer SKB att samråda med aktuella kommuner och markägare. Likaså kommer organisationer och enskilda personer med lokal fackkunskap om bland annat undersökningsområdets natur- och kulturvärden att rådfrågas.

Skyddade områden kommer i görligaste mån att undvikas. Detsamma gäller andra områden som kan vara känsliga för störningar, exempelvis häckningsplatser för ovanliga fågelarter och lokaler med sällsynta växter. Med god kännedom om undersökningsområdets växt- och djurliv kan fältverksamheten i stor utsträckning anpassas så att eventuella störningar blir begränsade. Detta kan åstadkommas utan att undersökningsresultaten för den skull blir av sämre kvalitet. Däremot kan i vissa fall undersökningarna av detta skäl ta längre tid.

Tidsåtgång

De inledande platsundersökningarna beräknas pågå i omkring 2 år. Tidsåtgången bedöms bli olika för de olika platserna därför att förhållandena och kunskapsnivån är olika. För att utnyttja resurserna effektivt kommer undersökningarna att bedrivas med en viss tidsförskjutning mellan platserna.

De kompletta platsundersökningarna innefattar borrhningar i flera etapper, där 3–4 djupa hål borrar samtidigt. Därefter följer mätningar och utvärdering av resultaten. Varje borrhålsetapp beräknas ta omkring ett år. Efter den sista borrhålsetappen slutförs en sammanfattande och jämförande utvärdering av de olika platserna och en tillståndsansökan med underliggande dokumentation färdigställs. Detta innebär att tiden för de kompletta platsundersökningarna kan uppskattas till 3½–4 år.

Ansökan om lokalisering och uppförande av djupförvaret vid en av de undersökta platserna lämnas till regering respektive miljödomstol enligt kärntekniklagen och miljöbalken. Därefter granskas underlaget av myndigheter och ansökan prövas av miljödomstolen. Tidsåtgången för detta är svårbedömd men uppskattas till omkring två år, vilket medför att platsundersökningsskedet i sin helhet beräknas ta 7–8 år.

Innehållsförteckning

1	Inledning	11
1.1	Syfte	11
1.2	Bakgrund	11
1.3	Förberedelser inför platsundersökningarna	14
1.4	Begrepp	15
1.5	Denna rapport	17
2	Miljöhänsyn och lagar	19
2.1	Beskrivning av miljöpåverkan	19
2.1.1	Bakgrund	19
2.1.2	Mätningar från luften	20
2.1.3	Mätningar från mark	20
2.1.4	Borrning	21
2.1.5	Mätningar i borrhål	24
2.1.6	Skogsbilvägar och elförsörjning	24
2.1.7	Transporter	24
2.1.8	Besöksverksamhet	25
2.1.9	Platskontor	25
2.2	Tillämpliga lagar och tillståndsfrågor	25
2.2.1	Miljöbalken	25
2.2.2	MKB och samråd för djupförvaret och platsundersökningar	26
2.2.3	Andra lagar	27
2.3	Tillträde till undersökningsområdet	28
3	Mål, etappindelning och resultat	29
3.1	Mål för platsundersökningsskedet	29
3.2	Etappindelning	29
3.3	Förväntade resultat	31
3.3.1	Huvudprodukter efter genomförd platsundersökning	31
3.3.2	Produkter efter inledande platsundersökning	33
3.3.3	Informationsflöde under en platsundersökning	34
4	Undersökningar	37
4.1	Strategi för undersökningsprogrammet	37
4.1.1	Vad ska bestämmas?	37
4.1.2	Undersökningarnas etappindelning	38
4.1.3	Struktur för undersökningsprogrammet	40
4.2	Undersökningarnas omfattning vid olika etapper	40
4.2.1	Inledande platsundersökning	40
4.2.2	Komplett platsundersökning	44

4.3	Undersökningsmetoder	45
4.3.1	Ytnära ekosystem	45
4.3.2	Borrningar och undersökningar vid borrning	47
4.3.3	Geologiska och geofysiska undersökningar	49
4.3.4	Hydrogeologiska undersökningar	51
4.3.5	Hydrogeokemiska undersökningar	58
4.3.6	Bergmekaniska undersökningar	61
4.3.7	Bestämning av bergets termiska egenskaper	63
4.3.8	Bestämning av bergets transportegenskaper	63
4.4	Vidareutveckling av undersökningsmetoder	66
5	Utvärdering av den platsspecifika informationen	69
5.1	Geovetenskaplig modellering	69
5.1.1	Geovetenskapliga modeller	70
5.1.2	Tilltro till modeller och parametrar	75
5.1.3	Modellversioner under den inledande platsundersökningen	76
5.1.4	Modellversioner under den kompletta platsundersökningen	78
5.1.5	Geovetenskaplig redovisning	79
5.2	Projektering	79
5.2.1	Projekteringsarbete under den inledande platsundersökningen	80
5.2.2	Projekteringsarbete under den kompletta platsundersökningen	82
5.3	Säkerhetsanalys	84
5.3.1	Omfattning och gränsdragning mot andra aktiviteter	85
5.3.2	Preliminär säkerhetsbedömning efter inledande platsundersökning	88
5.3.3	Säkerhetsanalys efter komplett platsundersökning	89
5.4	Samordning	90
6	Kvalitetssäkring	91
6.1	Centrala kvalitetsaspekter	91
6.1.1	Organisation	91
6.1.2	Kvalitetsstrategi	91
6.1.3	Säkerhet, hälsa och miljö	92
6.2	Styrande dokument	92
6.3	Dokumentation och spårbarhet	94
6.4	SKB:s centrala datorverktyg	94
6.4.1	SICADA:s roll som kvalitetssäkrad databas	94
6.4.2	GIS	96
6.4.3	RVS	96
7	Organisation, resurser och tidsåtgång	97
7.1	Inledning	97
7.2	Organisation och resurser	97
7.3	Tidsåtgång	98
	Referenser	101
	Bilaga Beskrivning av undersökningsmetoder	103

1 Inledning

SKB:s mål är att kunna inleda platsundersökningar år 2002. Omfattande förberedelser pågår för denna övergång till nästa skede i lokaliseringsprocessen för djupförvaret.

1.1 Syfte

En av huvuduppgifterna är att ta fram ett tydligt platsundersökningsprogram. Med platsundersökningsprogram avses här ett i huvudsak *geovetenskapligt program för undersökning och utvärdering av platser*. Det ska alltså framgå både vilken typ av information som avses samlas in från en plats och hur den ska användas vid utvärdering av platsens lämplighet för ett djupförvar. Denna rapport redovisar av undersöknings- och utvärderingsprogrammet.

Programmet är generellt och kommer längre fram att kompletteras med mer detaljerade undersökningsprogram. När områden för platsundersökningar valts kommer programmen att anpassas till de platsspecifika förutsättningarna. Programhierarkin beskrivs närmare i avsnitt 1.3.

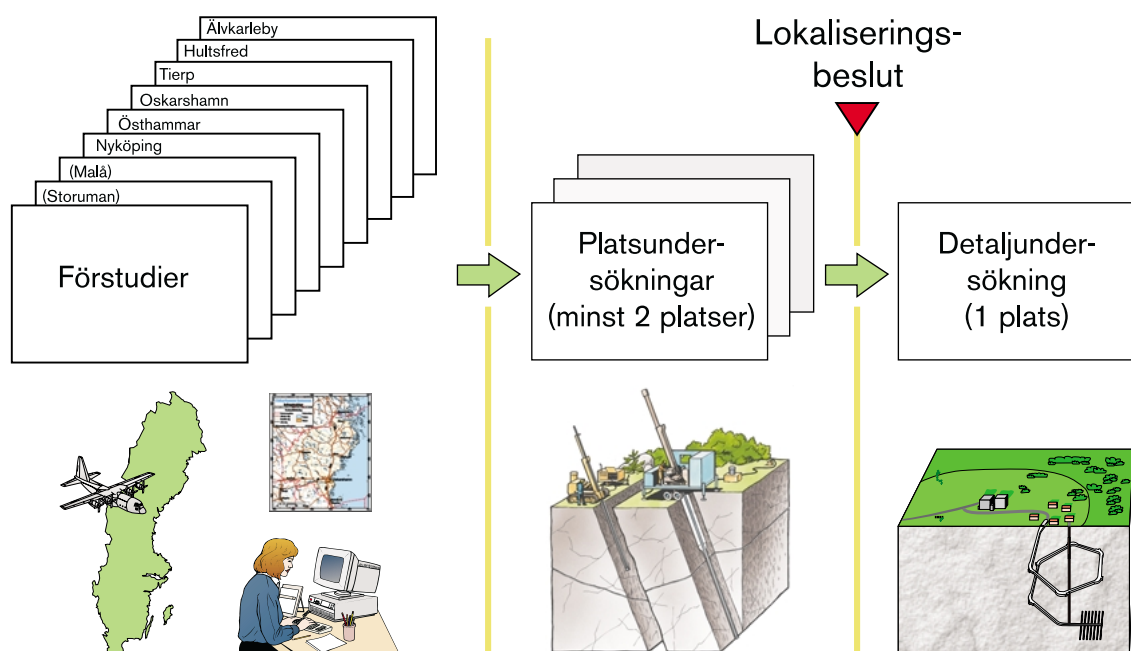
1.2 Bakgrund

Det är SKB:s uppgift att svara för hanteringen av svenskt kärnavfall och ta fram metod och plats för slutförvaring av uppkommet avfall. Innan regeringen prövar och beslutar om djupförvarets lokalisering ska SKB ha genomfört översiktsstudier, förstudier och platsundersökningar för att ta fram erforderligt underlag för detta beslut, se figur 1-1.

Översiktsstudier innebär regionala (länsvisa) eller landsomfattande sammanställningar och analyser av befintliga data som kan vara av intresse för att bedöma lokaliseringsförutsättningar i olika delar av Sverige.

Förstudier är sammanställningar och analyser i kommunskala. Liksom i översiktsstudierna sammanställs befintlig information, men förstudierna görs i mer detaljerad skala. Förstudierna ger förutom uppgifter om berggrunden också data om markanvändning, miljöpåverkan, transportförutsättningar och samhällsliga förhållanden. Områden som kan vara av intresse för vidare studier identifieras. Sammanlagt har SKB genomfört, eller håller på att genomföra, åtta förstudier.

Platsundersökningar innebär omfattande undersökningar av berggrunden från markytan och i borrhål. I detta skede görs även detaljerade studier av hur anläggningarna kan utformas och transporter genomföras samt vilka miljökonsekvenserna blir under byggnation, drift och efter förslutning av djupförvaret. Insamlad information används för att analysera och utvärdera platsens förutsättningar för ett djupförvar, framför allt med avseende på bergets egenskaper. SKB planerar att undersöka minst två platser i landet. Att kombinera omfattande fältarbete på minst två platser med analysarbete kräver noggranna förberedelser, stark styrning och samverkan under genomförandet. Regeringen har i sitt beslut /Miljödepartementet, 2000/ om FUD-program 98 /SKB, 1998/ satt upp villkor för SKB:s redovisning inför platsundersökningarna. Bland annat sägs att "Rege-



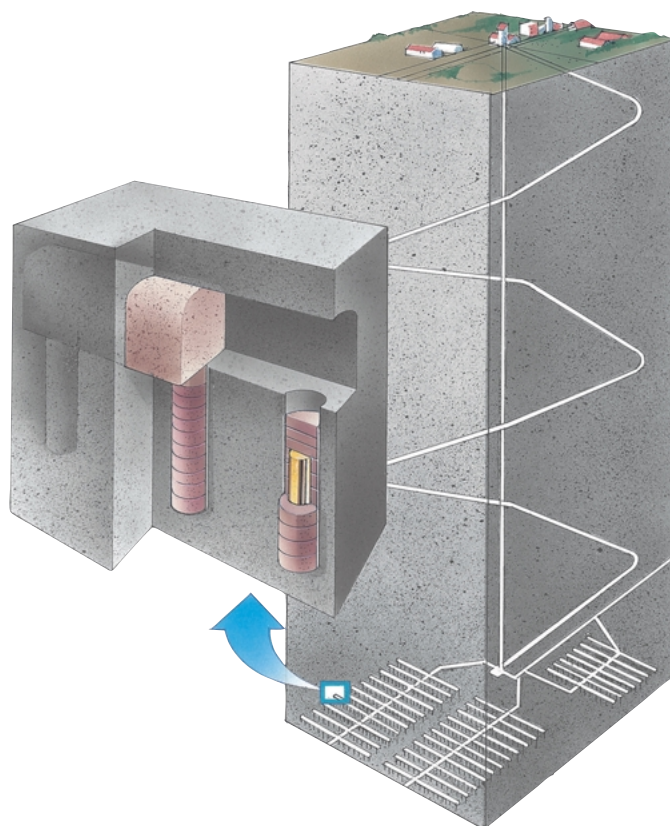
Figur 1-1. Illustration av olika skeden på väg mot djupförvaret.

ringen anser, i likhet med Kärnkraftsinspektionen, att ett tydligt program för så kallade platsundersökningar bör utarbetas. Arbetet med ett sådant program bör utgå från insikter från arbetet med en säkerhetsanalys för KBS-3-metoden ...”.

Det är efter avslutade platsundersökningar som beslutet om lokalisering av djupförvaret fattas. Efter detta lokaliseringsbeslut kan detaljundersökning genomföras på en plats. Genom undersökningar från tunnlar kan då berggrundens egenskaper bestämmas i detalj och djupförvarets utbyggnad planeras.

Vissa allmänna förutsättningar påverkar programmet för platsundersökningarna. En sådan är mängder och typer av bränsle som ska rymmas i förvaret. Detta har, tillsammans med uppgifter om utbränningsgrad och mellanlagringstid, direkt betydelse för hur stort förvaret blir och därmed vilken bergvolym som behöver undersökas. Platsundersökningsprogrammet är inriktat på att undersöka platser för ett djupförvar enligt KBS-3-metoden för använt kärnbränsle. Lokaliseringen av förvaret för annat långlivat avfall är inte aktuell förrän om cirka 30 år. En framtida samlokalisering med djupförvaret kan inte uteslutas. Det kommer i så fall att krävas ett kompletterande undersökningsprogram på ett utökat undersökningsområde men undersökningsmetoderna förväntas i huvudsak vara desamma som presenteras i denna rapport.

KBS-3-metoden har utvecklats sedan början av 1980-talet /Pettersson m fl, 2000/. Den är en planeringsförutsättning för det presenterade platsundersökningsprogrammet. Huvudinriktningen för KBS-3-metoden är att kapslarna deponeras en och en i vertikala hål från deponeringstunnlarna (figur 1-2). Varianter som kan bli aktuella är vertikal deponering av två kapslar i varje hål, horisontell deponering av en kapsel per hål samt horisontell deponering av flera kapslar per hål. Föreliggande program är även tillämpligt för dessa varianter.



Figur 1-2. KBS-3-metoden med huvudinriktningen att kapslarna deponeras en och en i vertikala hål. Varianter med fler kapslar per hål eller med horisontella hål kan bli aktuella. Systemet är en planeringsförutsättning för platsundersökningsprogrammet.

I SKI:s utvärdering /SKI, 1999/ av SKB:s FUD-program 98 konstateras bland annat att

- ”... det återstår en hel del utvecklingsarbete både vad gäller enskilda mätmetoder och framförallt hur olika mätningar ska kombineras till ett ändamålsenligt platsundersökningsprogram.”
- ”SKI vill därför uppmana SKB att se över, och vid behov vidareutveckla, de mätmetoder som kan användas för att bestämma parametrar för bergets transportegenskaper redan i en platsundersökning...”
- ”Enligt SKI:s uppfattning är det viktigt att SKB i ett tidigt skede av en platsundersökning tar fram de data som behövs för att bestämma det storskaliga strömningsmönstret och regionala trender i de geokemiska förhållandena...”
- ”SKI vill understryka att SKB inför start av platsundersökningarna bör redovisa ett samlat program för kvalitetssäkring av alla de komponenter som ingår i en platsundersökning (instruktioner och rutiner för mätningar, beskrivning och verifiering av mätinstrument, datahantering inklusive databaser, utvärderingsmetoder, dokumentation m m.)”

SKB anser att den samlade redovisningen som planeras inför platsundersökningsskedet svarar på dessa frågeställningar. Rapporten om krav och kriterier /Andersson m fl, 2000/ och föreliggande rapport är de två första dokumenten i denna redovisning. Detaljerade undersökningsprogram med beskrivning av undersökningsmetoder och mätinstrument samt den successiva platsanpassningen av programmen fullföljer redovisningen tillsammans med olika rutiner för bland annat datahantering, mätningar och dokumentation.

1.3 Förberedelser inför platsundersökningarna

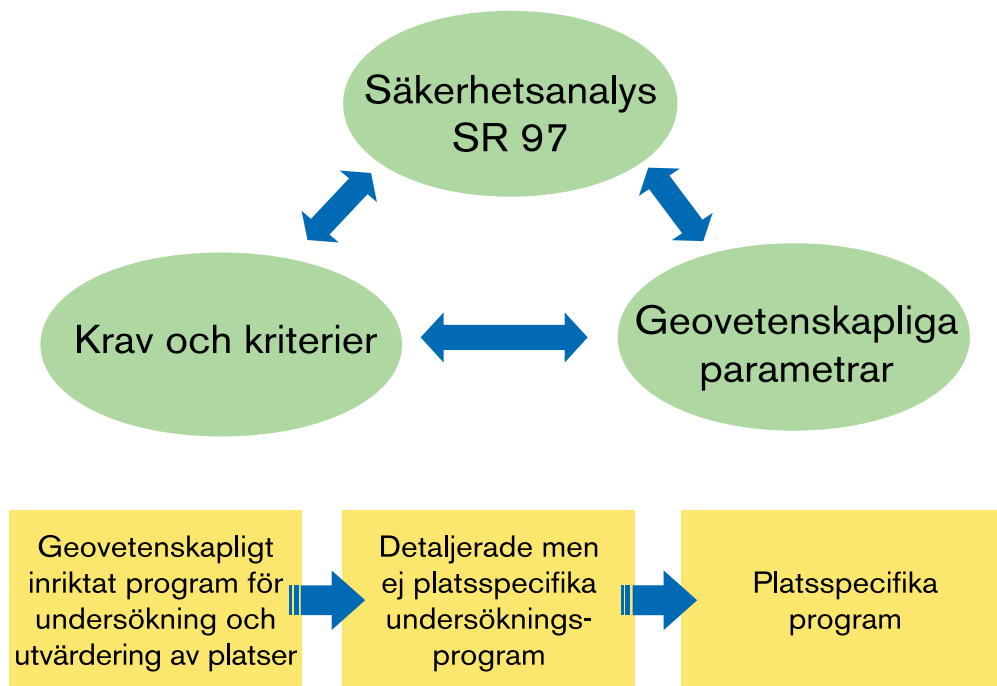
Svenskt urberg ger allmänt sett goda förutsättningar för ett djupförvar men det är ändå de lokala förhållandena som måste undersökas för att avgöra en plats lämplighet. SKB har redan lång erfarenhet av platsundersökningar. Från slutet av 1970-talet och fram till mitten av 1980-talet genomfördes ett antal s k typområdesundersökningar, framförallt i anslutning till säkerhetsredovisningarna KBS-1, KBS-2 och KBS-3. Under denna period, då syftet var att undersöka olika typer av berggrund i olika delar av landet, grundlades kunskapen om berggrunden och hur den ska karakteriseras med avseende på faktorer som är viktiga för ett djupförvar. Sammanställningsrapporter har givits ut för de typområden där omfattande undersökningar genomfördes, t ex /Ahlbom m fl, 1991a/. Undersökningarna genomfördes huvudsakligen enligt ett standardförfarande med rekognosering, undersökningar från markytan, undersökningar från borrhål samt utvärdering och modellering av den undersökta platsen /Ahlbom m fl, 1983/.

Äspölaboratoriet nära Oskarshamn har också gett möjlighet att pröva och vidareutveckla metodik för platsundersökningar. Baserat på förundersökningarna kring Äspö gjordes prognoser om geologiska, grundvattenkemiska och bergmekaniska förhållanden liksom om grundvattenflöden och förutsättningarna för hur lösta ämnen transporteras i berget innan det underjordiska berglaboratoriet byggdes. Sedan jämfördes prognoserna med observationer och mätningar i tunnlar och borrhål under jord. Utvärderingar visar att undersökningar på markytan kombinerat med analyser och modellberäkningar av olika slag gör det möjligt att tillförlitligt beskriva de egenskaper och förhållanden i berget som är viktiga för ett djupförvar /Rhén m fl, 1997a och b, Stanfors m fl, 1997/.

En rad forskningsprojekt har vidare bidragit med värdefulla erfarenheter om berggrundens egenskaper via geovetenskapliga undersökningar. Detta gäller särskilt studierna av sprickzoners egenskaper vid Finnsjöområdet /Ahlbom m fl, 1991b/, Stripaprojektet /Fairhurst m fl, 1993/ samt djupborrningarna vid Laxemar. Det finns även utländska erfarenheter som kan tas tillvara. Erfarenheter från Finland är speciellt intressanta eftersom berggrunden där liknar den som finns i Sverige. I Finland har platsundersökningar genomförts noggrant på fyra platser, dessutom har det förekommit borrhålsundersökningar på ytterligare platser.

Program för platsundersökningarna presenteras i flera rapporter som tas fram i steg. Denna rapport redovisar det generiska programmet för undersökning och utvärdering av platser. Arbete pågår också med att i detalj beskriva undersökningarnas genomförande i s k ämnesspecifika program. Dessa är också generiska, d v s inte anpassade till de specifika förutsättningar som kommer att råda på respektive plats. Detaljrikiedom i de ämnesspecifika programmen är stor vad gäller exempelvis vilka undersökningsmetoder som kommer att användas för att bestämma bergets egenskaper. När väl områden för platsundersökningar valts kommer de ämnesspecifika programmen att omarbetas till platspecifika genomförandeprogram. En översikt av de olika programmen ges i figur 1-3.

Behovet av geovetenskaplig information framgår av den s k parameterrapporten /Andersson m fl, 1996/. Behovet av information för ytnära ekosystem beskrivs i /Lindborg och Kautsky, 2000/. Parameterrapporten bygger till stora delar på erfarenheter från tidigare säkerhetsanalyser av KBS-3-metoden. Listorna över geovetenskapliga parametrar hålls uppdaterade i den mån ny kunskap framkommer. Förutom parameterrapporten utgör även en rapport om krav och kriterier /Andersson m fl, 2000/ och SR 97 /SKB, 1999a/ väsentliga underlag för programskrivningen.



Figur 1-3. Programskrivning i steg inför platsundersökningarna. Översikt av viktiga dokument som grund för programskrivningsarbetet. Undersöknings- och utvärderingsprogrammet presenteras i denna rapport.

Parameterrapporten presenterar och motiverar vad som ska bestämmas under en platsundersökning, krav- och kriterierapporten presenterar på vilka geovetenskapliga grunder det går att avgöra en plats lämplighet medan programmen för platsundersökningarna presenterar en strategi för genomförandet och hur det ska gå till. Undersökningsmetoderna, slutligen, utgör verktygslådan.

Förutom programskrivning pågår utveckling, tester och dokumentation av undersökningsmetoder och mätinstrument samt framtagning av organisationsplan och kvalitetsrutiner.

1.4 Begrepp

För att göra programmet tydligt är det nödvändigt att definiera vissa centrala begrepp. I avsnitt 1.2 definierades olika lokaliseringsskeden. I föreliggande avsnitt kompletteras bilden med begrepp under platsundersökningsskedet.

Med *undersökningar* avses alla de flyg-, yt- och borrhålsbaserade mätningar, provtagningar och tester som krävs på en plats för att upprätta en samlad och tillräckligt detaljerad bild av platsen och dess regionala omgivning (platsbeskrivning). Platsbeskrivningen ska tjäna som underlag för projektering av djupförvaret och för säkerhetsanalysen. Detta innebär att olika undersökningsmetoder med tillhörande mätinstrument utnyttjas i fält, att insamlade data analyseras och tolkas samt att beskrivande modeller byggs upp (framför allt geovetenskapliga men även för ytnära ekosystem).

Med *projektering* avses det samlade arbetet att ta fram en anläggningsbeskrivning för en föreslagen lokalisering, inklusive layout ovan och under mark, samt definition av ingående system. Anläggningsspecifika tekniska och miljömässiga risker vid byggnation och under drift identifieras. I denna rapport läggs speciell tonvikt på layoutförslag för undermarksutrymmen, inklusive dess tillfarter.

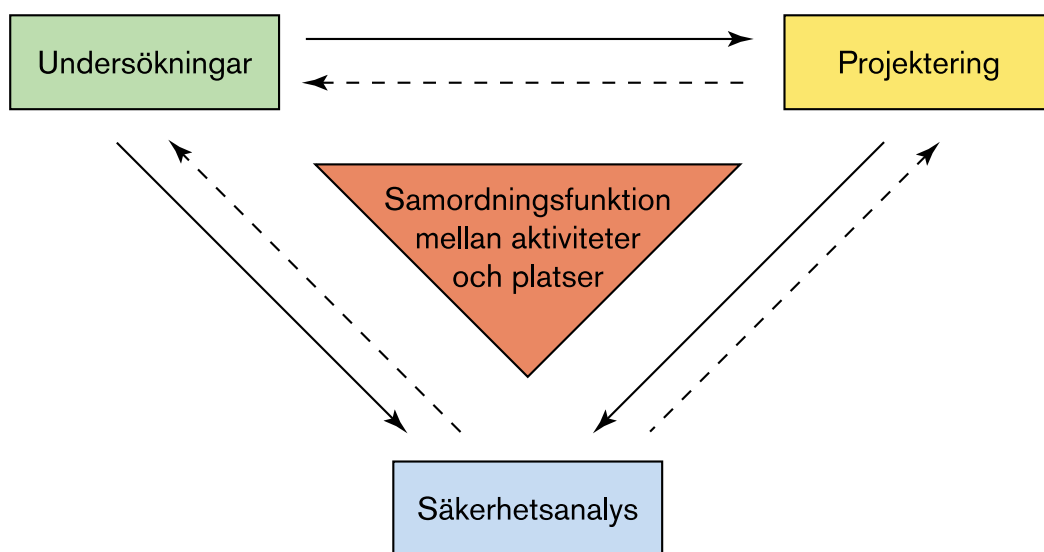
Med *säkerhetsanalys* avses den analys som krävs för att platsspecifikt utvärdera den långsiktiga säkerheten med föreslagen anläggningsutformning. I säkerhetsanalysen /SR 97, 1999/ ingår att:

- baserat på upprättad layout noga beskriva förvarssystemets utseende vid någon initial tidpunkt, t ex då det byggs och förslutits,
- kartlägga vilka förändringar förvaret kan tänkas genomgå med tiden till följd av dels inre processer, dels yttre påverkan, samt
- utvärdera förändringarnas konsekvenser för den långsiktiga säkerheten.

Undersökningarna ger underlag i första hand för den första punkten.

Projekteringen använder upprättade platsbeskrivningar för att ta fram en platsspecifik anläggningsbeskrivning med layout. Säkerhetsanalysen utvärderar den långsiktiga radiologiska säkerheten utifrån platsmodeller och förvarsutformning. Kunskapen om platsen växer fram stegvis varför även de olika analyserna av platsen måste göras i steg. Resultat av tidiga analyser kan även komma att användas för att rikta in de fortsatta undersökningsinsatserna i senare steg. De tre huvudaktiviteterna måste därför samspela, figur 1-4. Rollerna för de olika aktörerna utvecklas vidare i denna rapport.

Ett närliggande projekt har identifierat de krav som djupförvaret ställer på berget /Andersson m fl, 2000/. Därutöver presenterades vilka förhållanden i berget som är fördelaktiga (önskemål) och hur man ska bedöma uppfyllelsen av krav och önskemål (kriterier) inför val av platser för en platsundersökning och under platsundersökningsskedet. Hur detta skall tillämpas under en platsundersökning framgår av kapitel 4 och 5.



Figur 1-4. Illustration av informationsflödet mellan de tre tekniska huvudaktiviteterna undersökningar, projektering och säkerhetsanalys samt den viktiga samordningsfunktionen.

Tabell 1-1. Definitioner av centrala begrepp för platsundersökningskedet.

Begrepp	Definition
Kandidatområde	Ett geografiskt område som föreslagits som lämpligt för vidare studier (platsundersökningar) baserat på befintligt förstudiematerial.
Plats	En prioriterad del av ett kandidatområde som undersöks närmare under en platsundersökning. Tillräckligt stort för att rymma djupförvaret och dess närmaste omgivning.
Platsundersökning	Omfattande undersökningar av berggrunden från luften och markytan samt i borrhål ner till omkring en kilometers djup samt analyser och utvärdering av den insamlade informationen.
Platsutvärdering	En samlad värdering av en plats lämplighet för ett djupförvar.
Undersökningar	Yt- och borrhålsbaserade undersökningar som krävs på en plats för att beskriva förhållandena på platsen och dess regionala omgivning. (undersökningsmetoder, mätinstrument, analys, tolkning).
Säkerhetsanalys	Analys av den långsiktiga radiologiska säkerheten.
Projektering	Samlingsterm för den aktivitet där allt tekniskt underlag samlas och bearbetas för att så småningom kunna omsättas till anläggningsbeskrivning, bygghandlingar och konstruktionsritningar.
Parameter	Fysikalisk eller kemisk storhet (egenskap, förhållande eller tillstånd i berget).
Krav (på berget)	Villkor som måste uppfyllas. Avser verkliga förhållanden oberoende av lokaliseringsskede. Samtliga krav måste vara uppfyllda.
Önskemål (på berget)	Förhållanden som bör uppfyllas oberoende av lokaliseringsskede. Samtliga önskemål behöver inte vara uppfyllda.
Geovetenskapliga lämplighetsindikatorer	Mät- eller skattningsbara platsspecifika parametrar som vid ett visst lokaliseringsskede kan användas för att bedöma om krav och önskemål är uppfyllda.
Kriterier för platsutvärdering	Värden för lämplighetsindikatorer i ett visst lokaliseringsskede, som kan användas för att bedöma om en plats uppfyller ställda krav och önskemål.

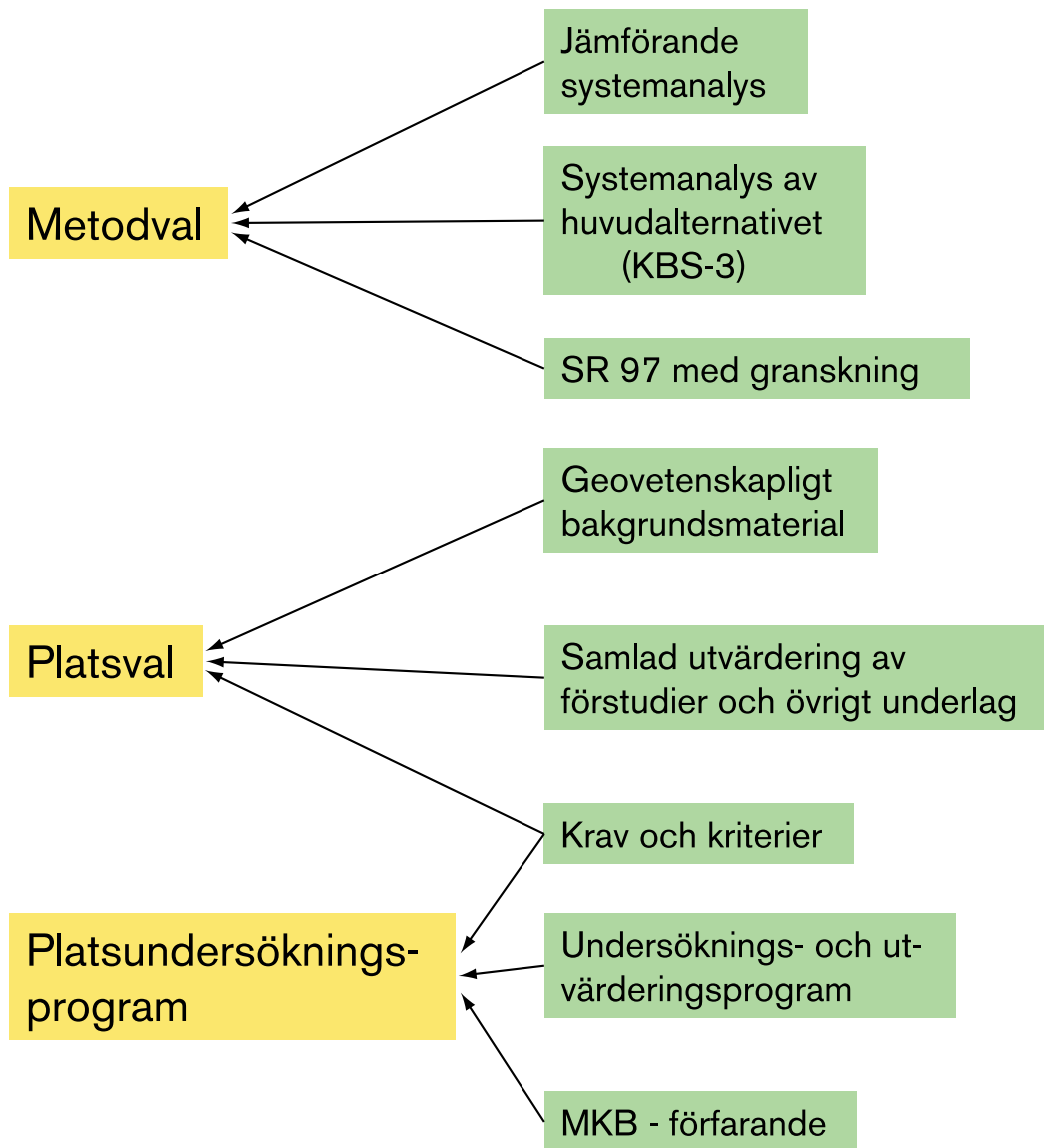
De grundläggande kraven som ställs på berget är även en utgångspunkt vid den framtagning av detaljerade, ämnesspecifika program som pågår (figur 1-2). I arbetet med krav och kriterier ägnades möda åt att definiera ett antal begrepp. Dessa har för fullständighetens skull tagits med i den sammanfattande tabell 1-1.

1.5 Denna rapport

Med regeringens beslut om FUD-program 98, yttranden från kärnkraftinspektionen och synpunkter från förstudiekommunerna som utgångspunkt avser SKB att inkomma med en kompletterande redovisning. Denna planeras ske samlat i en rapport, FUD 98-kompletteringen, med avsnitten metodval, val av undersökningsplatser och program för platsundersökningar. Figur 1-5 ger en överblick av FUD-98-kompletterings omfattning samt visar samtliga huvudreferenser.

Föreliggande rapport utgör underlag till FUD 98-kompletterings del om program för platsundersökningar.

Kapitel 2 redogör för undersökningarnas miljökonsekvenser samt legala krav, hänsyn till natur och miljö samt kommunikation med berörda.



Figur 1-5. Överblick över SKB:s samlade redovisning inför platsundersökningskedet, d v s kompletteringen till FUD 98. Undersöknings- och utvärderingsprogram (den rapport) utgör en av huvudreferenserna.

I kapitel 3 diskuteras strategi för undersökningarnas och utvärderingens uppläggning. Vidare presenteras mål för platsundersökningskedet liksom de olika huvudaktiviteternas uppgifter. De viktigaste produkterna presenteras och diskuteras.

Kapitel 4 redovisar undersökningarnas genomförande för att inhämta nödvändig plats-specifik information. Tillgängliga undersökningsmetoder listas i bilaga till rapporten.

Kapitel 5 beskriver hur den framtagna plats-specifika informationen utvärderas ur olika aspekter och hur detta samordnas.

Kapitel 6 diskuterar kvalitetsaspekter under en platsundersökning samt presenterar centrala redskap för databas och modellering.

I kapitel 7 berörs organisation och nödvändiga resurser för genomförandet av platsundersökningarna på ett allmänt plan. Även tidsåtgång beaktas.

2 Miljöhänsyn och lagar

Detta kapitel beskriver kortfattat den planerade fältverksamheten. Syftet är att ge en bild av hur undersökningarna kommer att märkas på plats, i vilken omfattning fältarbetena kan påverka miljön och hur SKB avser att i möjligaste mån anpassa verksamheten så att negativa miljöeffekter begränsas. Beskrivningen ger således inte svar på hur olika undersökningar går till, varför de görs eller vilka resultaten blir. Sådan information presenteras i efterföljande kapitel 3-5.

Kapitlet ger vidare en översikt över viktiga lagar och förordningar som är tillämpliga under en platsundersökning och vilka tillstånd som kan komma att krävas. Undersökningarna förutsätter att markägaren ger sitt tillstånd för borrhning och undersökningar och för nödvändig vägbyggnation. Förutom att lagar givetvis ska följas, är det ur SKB:s synvinkel angeläget att verksamheten bedrivs i samförstånd med berörda.

2.1 Beskrivning av miljöpåverkan

2.1.1 Bakgrund

Syftet med platsundersökningarna är att öka kunskapen om framför allt bergets egenskaper mot djupet. För att detta ska uppnås måste data samlas in. Datasamlingen är den faktor som i första hand kommer att styra verksamheten i fält under platsundersökningarna. Vad som är möjligt och lämpligt att utföra avgörs dock även i hög grad av rådande naturförhållanden på platsen. Relativt omfattande mätningar kommer att genomföras från luften och på marken samt i borrhål. För att mätinsatserna ska kunna genomföras snabbt och smidigt kan några mindre vägar behöva byggas och elektricitet dras fram till borrhplatser.

En platsundersökning kan inte direkt jämföras med ett vanligt bygg- eller anläggningsprojekt. Även om den undersökta ytan är stor (5–10 km²) är verksamheten i fält huvudsakligen koncentrerad till enskilda mätplatser (framförallt borrhplatser) inom området. Undersökningar kommer också att göras i ett omgivande, större område, men endast i begränsad omfattning.

Verksamheten kommer att anpassas till platsens natur- och kulturvärden så att konsekvenserna begränsas. Det är uppenbart att beskrivningen som ges här inte kan bli särskilt detaljerad eftersom den inte baseras på någon verklig plats. Hur verksamheten kommer att anpassas till förhållandena på en verklig plats kommer därför att tas upp i de platsspecifika program som presenteras vid senare tillfälle. För detta arbete kommer SKB att samråda med aktuella kommuner och markägare. Likaså kommer organisationer och enskilda personer med lokal fackkunskap om bland annat undersökningsområdets natur- och kulturvärden att rådfrågas.

Skyddade områden kommer i görligaste mån att undvikas. Detsamma gäller andra områden som kan vara känsliga för störningar, exempelvis häckningsplatser för ovanliga fågelarter och lokaler med sällsynta växter. Vad gäller häckningsplatser är det ofta särskilt viktigt att undvika störande verksamhet under viss tid av året. Med god kännedom om undersökningsområdets växt- och djurliv kan fältverksamheten i stor utsträckning anpassas så att störningen blir begränsad. Detta kan åstadkommas utan att undersökningsresultaten för den skull blir av sämre kvalitet. Däremot kan i vissa fall undersökningarna av detta skäl ta längre tid.

2.1.2 Mätningar från luften

I början av platsundersökningarna kommer troligen flygburna geofysiska mätningar att genomföras. En helikopter eller ett flygplan utrustas då med instrument så att flera olika mätningar kan göras samtidigt. Mätningarna utförs längs flyglinjer med 50–100 m mellanrum.

Vid flygplansmätning är mätinstrumenten inbyggda och fast monterade på planet, medan de vid helikoptermätning hänger under helikoptern. Mätningarna utförs från 30–60 m höjd. Det flygbuller som alstras, kan uppfattas som störande under den tid det pågår, vilket handlar om några dagar. Flygburna mätningar kräver ingen markbunden stödverksamhet förutom landningsplats, som torde ligga utanför området.

2.1.3 Mätningar från mark

Under denna rubrik samlas undersökningar som utförs på markytan. I första hand är följande metoder aktuella:

- inventering och dokumentation av områdets ekosystem
- geologisk kartering
- markgeofysiska mätningar
- hydrologiska undersökningar
- grundvattenkemiska studier

Dokumentation av de ursprungliga förhållandena inom områdets ekosystem liksom uppföljning av hur det påverkas av platsundersökningarna kommer att göras. Med denna kunskap blir det också möjligt att anpassa undersökningsverksamheten så att bland annat värdefulla natur- och kulturvärden kan skyddas och vårdas och så att den biologiska mångfalden bevaras. För den plats där djupförvaret kommer att byggas utgör denna dokumentation utgångsläget för uppföljningen av ekosystemens utveckling.

Geologisk kartläggning innebär att en eller flera geologer tar sig fram till fots i området och gör systematiska iakttagelser av berggrund och jordlager. Även enkel provtagning av berg och jord utförs. Arbetsverktygen är hammare och spade. För den berggrundsgeologiska karteringen krävs ibland att bergytan friläggs längs vissa profiler. Ingreppets omfattning blir beroende av jordtäckets mäktighet och hur mycket naturliga bergblottningsar det finns i området. Ibland måste grävmaskin användas. Om jordlagret är mäktigt och det är ont om bergblottningsar, kan i stället sondering och borrhning genom jordlagren tillgripas för att ta reda på bergytans läge och för att få upp bergprover. För detta används lätta handhållna eller små larvgående borrhmaskiner.

Vid geofysiska markundersökningar används mätinstrument av olika slag. Vissa mätningar utförs med lätta handburna instrument medan andra kräver mer omfattande åtgärder och större utrustningar. För några metoder läggs kablar ut längs linjer eller i slingor. Alla sådana utlägg är tillfälliga och förorsakar ingen skada på marken eller annan omgivningspåverkan. I en del fall sätts stakkäppar ut för att markera mätpunkter eller mätprofiler.

Vid en typ av geofysiska mätningar används små sprängladdningar vilka placeras i borrhål på en begränsad plats eller längs profiler. De orsakar mindre gropar eller upphöjningar.

Sammantaget kan sägas att geofysiska mätningar liksom geodetiska inmätningar (inmätning av läges- och höjdkoordinater) sällan åstadkommer varaktiga sår i naturen. Om vegetationen är tät och slyig måste viss röjning göras för att tillräcklig sikt och framkomlighet ska erhållas längs mätlinjerna. Beroende på markens beskaffenhet blir det ibland viss spårbildning, men i jämförelse med t ex vanlig skogsavverkning är denna markpåverkan obetydlig.

Till de hydrologiska och grundvattenkemiska undersökningarna hör att kartlägga naturliga vattendrag och att ta vattenprover vilket vanligen inte kräver några som helst ingrepp. Vid kartläggning av avrinningsområden och mätning av vattenföring kan det dock vara lämpligt att placera mätstationer i åar och bäckar. En mindre mätvall eller annan anordning kan då byggas för att samla ihop vattenflödet till en mätbar ström. Mätrör kommer att placeras ut på lämpliga ställen för mätning av grundvattenytans nivå. Likaså kan några meteorologiska mätstationer komma att utplaceras. Inget av detta kan normalt uppfattas som störande.

2.1.4 Borrning

Borrningen är den tyngsta verksamheten under platsundersökningarna. Den orsakar också störst omgivningspåverkan. Två huvudtyper av hål borraras, kärnborrhål och hammarborrhål. Dessa innebär olika slags ingrepp på platsen i samband med utförandet. De djupare kärnborrhålen borraras med större maskiner.

På varje borrhålsplats anläggs en avjämnad och grusad plan om minst 100 m², se figur 2-1. En bormaskin för kärnborrning drivs av en dieselmotor som ger motorbuller och avgasutsläpp i samma storleksordning som en mindre lastbilsmotor. Själva bormaskinen består av en rotationsenhet som håller fast och driver borrsträngen med påmonterad borkrona. Dessutom finns en mast eller ett torn för hantering av upp till 12 meter långa rör. Stränga krav ställs på att allt handhavande på borrhålsplatsen av driv- och smörjmedel ska ske varsamt. Läckage som kan tränga ner i marken eller i borrhålet accepteras inte, både av miljöskäl och därför att sådana utsläpp kan äventyra senare vattenprovtagning. Eventuella oavsiktliga läckage samlas upp på platsen med hjälp av täckdukar som placeras på marken runt borrhålet. Utrustning för omedelbar sanering av oljeutsläpp finns dessutom tillgänglig som en extra säkerhetsåtgärd.

Ett arbetslag på en borrhålsplats består vanligen av tre till fyra personer varav en är platsgeolog. Den senare är arbetsledare och inspekterar och karterar de borkärnor som tas upp ur borrhålet under borringen. I anslutning till bormaskinen placeras ett antal containrar och bodar som används som förråd, verkstad, arbetsplats för platsgeologen och som personalutrymmen.



Figur 2-1. Kärnborrning på en iordningställd borrplats med väganslutning.

Ett 1000 meter djupt kärnborrhål tar omkring två till tre månader att borra. Under borringen pumpas rent vatten (så kallat spolvatten) kontinuerligt ner i borrhålet för kylning av borkronan. Spolvattnet pumpas till borrplatsen från en bergborrad vattenförsörjningsbrunn i närheten av kärnborrhålet eller hämtas med tankvagn. På borrplatsen förvaras spolvattnet i tankar intill bormaskinen innan det pumpas ner i borrhålet.

Merparten av spolvattnet pumpas upp igen ur borrhålet, varefter det leds bort. Pumpningen ur borrhålet utförs som så kallad mammutpumpning, vilket innebär att borrhålsvattnet tvingas upp ur borrhålet med hjälp av tryckluft. För att alstra tryckluften används en dieselkompressor som, liksom bormaskinens motor, åstadkommer buller och avgasutsläpp ungefär som från en lastbilsmotor.

Så länge mammutpumpningen pågår är vattennivån i borrhålet avsänkt ca 40–60 m under normal grundvattennivå. Grundvattenavsänkningens storlek avtar med avståndet från borrhålet. På ett avstånd av 200–400 m märks ingen avsänkning. Avsänkningen 40–60 m gäller för berggrunden närmast borrhålet. Påverkan i överliggande jordlager är helt beroende på jordlagrens sammansättning och kontaktytans beskaffenhet mellan jord och berg. Vid täta jordlager och dålig hydraulisk kontakt mellan jord och berg fördröjs och dämpas avsänkningen i jordlagren eller uteblir helt. Då mammutpumpningen upphör återhämtar sig grundvattennivån i berget inom något eller några dygn till ursprunglig nivå.

Vid borringen mals berget ner till finkornigt bergmaterial, s k borkax. En stor del av detta slammas upp i borrhållvattnet och följer med returvattnet som pumpas upp ur borrhålet. Returvattnet släpps därför inte direkt ut i något vattendrag utan får först passera bassänger, så att det mesta av borkaxet kan sedimentera. Det analyseras också med avseende på kemisk sammansättning. Om grundvattnet, som pumpas upp till markytan, till exempel har hög salthalt kommer åtgärder att vidtas för att förhindra skador på



Figur 2-2. Borrplats med mätcontainer placerad över färdigt borrhål, i detta fallet med utrustning för långtidsmonitoring av grundvattennivåer.

växt- och djurlivet. Det kan handla om utspädning, bortledning till större vattendrag eller borttransport i vattentankar.

Den andra borrhålskategorin som används är hammarborrhål. Hammarborrning utförs med vanliga brunnborrningsmaskiner, som i allmänhet är larvgående. När vattenförande sprickor har nåtts består returflödet av en luft-kax-vatten-blandning, vilken samlas upp och leds till en sedimentationsbassäng. Även under hammarborrning är grundvattennivån avsänkt i anslutning till borrhålet. Avsänkningens storlek liksom tiden för återhämtning kan jämföras med den som beskrivits under kärnborrning.

När borringen är avslutad säkras borrhålet, oavsett om det är ett kärn- eller hammarborrhål, för vidare användning. Borrhålet avslutas uppåt med ett fastgjutet foderrör av stål, som sticker upp någon eller några decimeter över markytan. Vid kärnborrhålen gjuts en cementplatta av några kvadratmeters storlek runt foderröret. Foderröret förses med låsbart lock, och ofta placeras en mindre mätcontainer över borrhålet, se figur 2-2.

Borrhålen kommer att fördelas över hela undersökningsområdet. Placeringen av varje enskilt borrhål styrs av databehov som varierar för olika borrhål. Oftast borrar hålen med lutning för att exempelvis penetrera en sprickzon på ett visst djup. Vid utsättningen av borrhålen kommer hänsyn att tas till bland annat ordinarie markanvändning och till platsens natur- och kulturvärden. Möjligheten att välja borrhålets lutning är ett sätt att anpassa borrplatsens läge.

Sammanfattningsvis kan konstateras att kärnborrning är den ”tyngsta” och relativt sett mest miljöstörande verksamheten vid en platsundersökning. Kärnborrningsverksamheten begränsas dock till högst ett 20-tal borrplatser med en varaktighet av några månader per plats. Sannolikt kommer tre till fyra bormaskiner att samtidigt vara verksamma inom undersökningsområdet. Bullret från en bormaskin kan närmast jämföras med bullret från en skogsavverkningsmaskin. Den senare förflyttar sig dock över större ytor än bormaskinerna som är stationära under borringen av varje hål.

2.1.5 Mätningar i borrhål

Efter färdigställandet används borrhålen för mätningar av olika slag. Dessa pågår i omgångar. Varje mätperiod kan sträcka sig över några dagar till högst ett par månader per borrhål och, totalt för hela området, till uppemot ett år. Därefter installeras oftast fast borrhålsutrustning för långtidsregistrering av bland annat grundvattennivåer.

För att kunna mäta i borrhålen krävs långa vajrar eller rörgångar för att hantera mätinstrumenten samt kablar för signalöverföring. Hanteringen kan sällan ske med handkraft, utan det krävs vinsch eller annan lyftanordning. Utrustningarna transporteras på bilsläp eller med lastbil till och från borrhålet.

Hydrauliska tester och vattenprovtagningar kräver mer omfattande lyft- och mätutrustningar än de flesta andra metoder. Hydraultestutrustningarna är ofta monterade i containrar eller mobila arbetsvagnar som placeras rakt över borrhålet. Vid sk vatteninjektionstester och pumptester hanteras vatten på ett sätt som kan liknas vid spol- och returvattenhanteringen vid borrning. Dock är vattenmängderna avsevärt mindre än vid borrning, och man behöver inte ta hand om returvatten som är förorenat med borrhålskax. Vid långtidspumptester kan det dock bli tal om relativt stora vattenmängder och om det uppfordrade vattnet har hög salthalt kommer det att omhändertas på samma sätt som vid borrning. Samtliga mätningar vid borrhålet är mindre miljöstörande än borrningen, framförallt därför att de oftast bullrar mindre. Å andra sidan pågår mätningarna sammantaget ofta under relativt lång tid.

2.1.6 Skogsbilvägar och elförsörjning

Personal och utrustning för borrning och mätning kan transporteras på vägar av kvalitet som motsvarar vanliga skogsbilvägar. Utan vägar måste personal och utrustning transporteras ute i terrängen, vilket ger upphov till spårskador som kan bli omfattande och mer miljöstörande än vägar.

Uppskattningsvis kräver undersökningarna omkring tio kilometer skogsbilväg. Hur mycket vägar som byggs beror på det befintliga vägnätet. De bilvägar som byggs till borrhålsplatser bör hålla minst tre meters bredd och kunna bära åtminstone 25 ton tunga transporter. Vägar kommer i möjligaste mån att anpassas till förhållandena på platsen.

Verksamheten vid borrhålsplatsen kräver elektricitet. Om inte nätel finns tillgänglig måste elförsörjningen ske med dieseldrivna elgeneratorer. Generatoralternativet ger avgasutsläpp och buller ungefär motsvarande det från en mindre lastbilmotor och är dessutom mindre driftsäkert än el från det allmänna distributionsnätet. Nätel kräver å andra sidan ofta dragning av elledning (kabel) i inledningskedet av platsundersökningarna.

2.1.7 Transporter

På vägar kommer både materialtransporter och personaltransporter att ske under hela platsundersökningsskedet. Den övervägande delen är biltransporter för borrhåls- och mätpersonal. Tyngre transporter sker främst vid borrning och under den första mätperioden.

2.1.8 Besöksverksamhet

Det samråd och den informationsverksamhet som SKB kommer att bedriva under platsundersökningsskedet kommer att leda till ett flertal besök på de undersökta platserna. Besöken kommer att organiseras så att områden med växter eller djurliv som kan skadas eller störas av människor undviks. Förekomst av unika biotoper eller speciellt känsliga häckningsplatser kan medföra att såväl mät- som besöksverksamheten kan få göra periodiskt uppehåll eller begränsas på annat sätt.

2.1.9 Platskontor

Ett lokalkontor kommer sannolikt att etableras i näraliggande samhälle. Ett enkelt kontor kan också behövas på själva undersökningsplatsen. Beroende på avståndet till lokalkontoret kan detta fältkontor få lite olika roll. Under alla omständigheter kommer fältkontoret att ha personal- och arbetsutrymmen samt förråds- och verkstadsfaciliteter. Även om platsundersökningarna pågår under flera år, kommer fältkontoret att vara inrymt i byggbaracker eller liknande. Som tidigare nämnts kommer diverse containrar att placeras temporärt eller långsiktigt vid borrhålen och eventuellt också vid fältkontoret.

2.2 Tillämpliga lagar och tillståndsfrågor

De viktigaste lagarna som specifikt reglerar slutförvaring av kärnavfall är kärntekniklagen (SFS 1984:3) och miljöbalken (SFS 1998:808). Under platsundersökningarna kommer dock ingen kärnteknisk verksamhet att bedrivas, varför kärntekniklagen (KTL) i det skedet inte är tillämplig. Platsundersökningarna kommer inte att innehålla en tillnärmelsevis lika omfattande anläggnings- och byggverksamhet som den efterföljande detaljundersökningen och bygget av djupförvaret. Trots detta ska undersökningsverksamheten givetvis uppfylla de allmänna hänsynsregler och bestämmelser som föreskrivs i miljöbalken (MB). Exempel på andra lagar som kan aktualiseras vid en platsundersökning är plan- och bygglagen (PBL) och kulturminneslagen.

Innan SKB efter utförda platsundersökningar kan gå vidare med detaljundersökning av den tilltänkta förvarsplatsen, måste tillstånd för lokalisering av djupförvaret sökas och beviljas enligt miljöbalken och kärntekniklagen.

2.2.1 Miljöbalken

Miljöbalken ”syftar till att främja en hållbar utveckling som innebär att nuvarande och kommande generationer tillförsäkras en hälsosam och god miljö.” Avsikten är att ”miljöbalken ska tillämpas så att

1. människors hälsa och miljö skyddas mot skador och olägenheter oavsett om dessa skador orsakas av föroreningar eller annan påverkan,
2. värdefulla natur- och kulturmiljöer skyddas och vårdas,
3. den biologiska mångfalden bevaras,
4. mark, vatten och fysisk miljö i övrigt används så att en från ekologisk, social och kulturell och samhällsekonomisk synpunkt långsiktigt god hushållning tryggas, och
5. återanvändning och återvinning liksom annan hushållning med material, råvaror och energi främjas så att kretslopp uppnås.”

Hur dessa miljöomar ska tillämpas kommer till uttryck i de program och planer som styr platsundersökningarnas genomförande.

I miljöbalken har följande begrepp definierats:

- Miljöfarlig verksamhet.
- Vattenverksamhet.
- Skyddade områden.

Under dessa begrepp regleras eventuell miljöpåverkan under platsundersökningarna. Här framgår också om någon del av verksamheten kräver tillstånd eller dispens.

Med *miljöfarlig verksamhet*, som behandlas i miljöbalkens 9:e kapitel, avses utsläpp i mark och vatten och verksamhet som medför olägenhet för människors hälsa och miljön. Hit hör förorenande utsläpp av gas, vatten och andra ämnen liksom störande buller, skakningar, ljus, med mera. Anläggning av vägar och borrhning är exempel på platsundersökningsverksamhet som kan innebära vissa olägenheter, främst vad gäller buller. Enligt huvudregeln i "Förordning om miljöfarlig verksamhet och hälsoskydd" (SFS 1998:899) tillhör inte en platsundersökning de verksamheter som är tillstånds- eller anmälningspliktiga.

Med *vattenverksamhet*, som behandlas i miljöbalkens 11:e kapitel, menas främst åtgärder i vattenområden som syftar till förändring av vattnets djup eller läge, påverkan av grundvattnet genom bortledande eller tillförsel av vatten eller utförande av anläggningar samt avvattning av mark. Exempel på åtgärder under en platsundersökning som kan innebära vattenverksamhet är vägbygge i vattenområden och omfattande pumpning ur borrhål. Vattenverksamhet är tillståndspliktig om det inte är uppenbart att varken allmänna eller enskildas intressen skadas.

Med *skyddade områden*, som behandlas i miljöbalkens 7:e och 8:e kapitel, åsyftas områden som är skyddade i syfte att bibehålla värdefulla natur- och kulturmiljöer samt för att bevara den biologiska mångfalden. Det kan exempelvis gälla områden som omfattas av strandskydd, vattenskydd samt natur- eller kulturresevat. Om platsundersökning planeras inom ett sådant område måste de aktuella skyddsbestämmelserna följas, och dispens kan krävas för att få genomföra undersökningen.

Verksamhet eller åtgärd som tillhör de ovan behandlade punkterna regleras alltså av miljöbalken, och ibland erfordras tillstånd eller dispens för att bedriva denna verksamhet. Platsundersökningar bedöms generellt sett inte innebära omfattande miljöpåverkan och något generellt tillstånd krävs inte. Det är dock först när områden för platsundersökningar valts som man kan bedöma om någon specifik verksamhet under platsundersökningarna kan kräva tillstånd.

2.2.2 MKB och samråd för djupförvaret och platsundersökningar

SKB har redan under förstudierna inlett ett samrådsförfarande med berörda kommuner, länsstyrelser och myndigheter. I samband med att platsundersökningar inleds avser SKB att formellt anmäla djupförvarsärendet till länsstyrelsen för samråd enligt miljöbalkens bestämmelser. Det utökade samrådet kommer därefter att fortgå under hela platsundersökningskedet. SKB:s mål är att det ska resultera i ett genomarbetat och väl förankrat MKB-dokument för den valda platsen som underlag för beslut i djupförvarsärendet.

Efter det att kandidatområden för platsundersökningar presenterats kommer SKB att i god tid anmäla ärendet för aktuella kommuner och söka träffa överenskommelse med markägare. SKB upprättar också platsspecifika program för undersökningarna, där även undersökningarnas miljökonsekvenser behandlas. För denna programskrivning tas frågor som miljöhänsyn och möjlighet till anpassning till platsens naturförhållanden upp inom ramen för det redan nu inledda samrådet. Det kan då också, som ovan framhållits, bli uppenbart om någon specifik verksamhet under platsundersökningarna kan kräva särskilt tillstånd.

Platsundersökningarna väntas inte leda till betydande miljöpåverkan men ärendet om platsundersökningar kommer ändå att anmälas till länsstyrelsen enligt miljöbalkens 12:e kapitel. Länsstyrelsen ges härmed möjlighet att dels ge råd om platsundersökningarna, dels att bedöma om tillståndsprövning krävs för någon specifik verksamhet under platsundersökningen.

Oavsett hur ett eventuellt tillståndsärende för en specifik verksamhet under platsundersökningarna initieras, kommer det att hanteras som ett särskilt ärende som också fordrar en egen utredning av miljökonsekvenser av denna verksamhet. Samrådsförfarandet för detta särskilda ärende torde dock kunna ske inom ramen för det ordinarie samrådet.

2.2.3 Andra lagar

Tidigare nämndes plan- och bygglagen (PBL) samt kulturminneslagen som eventuellt tillämpliga för viss verksamhet under platsundersökningarna.

Plan- och bygglagen reglerar uppförandet av byggnader. Normalt ställs vid byggnation krav på tillstånd såvida inte kommunen i detaljplan eller områdesbestämmelser beslutat att bygglov inte behövs. Marklov för schaktning, fyllning, med mera krävs normalt endast inom detaljplanelagt område, men en kommun kan bestämma att marklov även ingår i områdesbestämmelser. Byggandet av vägar regleras av väglagen. Den gäller dock enbart för allmän väg, varför den sannolikt inte blir tillämplig för de enklare skogsbilvägar som kommer att anläggas under platsundersökningarna. Anläggandet av dessa vägar kan dock medföra samrådsskyldighet (enligt 12 kap 6 § MB) med länsstyrelsen.

Kulturminneslagen medför en skyldighet för SKB att i god tid ta reda på om någon fast fornlämning berörs av platsundersökningarna. Om det krävs en särskild utredning för att ta reda på detta, ska den bekostas av SKB. Om det står klart att någon fast fornlämning berörs ska samråd genast ske med länsstyrelsen. Med fast fornlämning menas gravar, hållristningar, rester av boplatser, tingsplatser, ruiner och dylikt.

Om man påträffar en fast fornlämning under grävning eller annat arbete, ska arbetet genast avbrytas till den del fornlämningen berörs. Den som leder arbetet måste omedelbart anmäla förhållandena till länsstyrelsen. För att få ändra, rubba eller ta bort en fast fornlämning krävs tillstånd av länsstyrelsen. Tillstånd kan endast lämnas om fornlämningen medför ett hinder eller olägenhet som inte står i rimligt förhållande till fornlämningens betydelse. Länsstyrelsen kan förena tillståndet med villkor om att fyndet ska undersökas och/eller tas till vara på något särskilt sätt, åtgärder som vanligen ska bekostas av verksamhetsutövaren.

2.3 Tillträde till undersökningsområdet

Att få tillträde till marken är naturligtvis en förutsättning för att platsundersökningarna ska kunna utföras. Äganderätten är stark i Sverige. Mot äganderätten står allemansrätten, men denna är inte särskilt tydligt definierad. Inom ramen för allemansrätten torde man kunna genomföra vissa begränsade besiktningar i fält, men att genomföra egentliga undersökningar med t.ex. borrhning kräver markägarens tillstånd. Det ligger i SKB:s intresse att inte bara söka nyttjandetillstånd hos markägaren utan också samråda med denne om verksamhetens utförande. För inskränkningar i markägarens möjlighet att utnyttja sin mark och för eventuella skador kommer skälig kompensation att ges.

3 Mål, etappindelning och resultat

I detta kapitel presenteras de övergripande målen för SKB under platsundersökningsskedet samt syftena med platsundersökningsskedets två etapper, inledande respektive komplett platsundersökning. Vidare presenteras de förväntade resultaten från huvudaktiviteterna *undersökningar, projektering och säkerhetsanalys*.

3.1 Mål för platsundersökningsskedet

För platsundersökningsskedet är målet att få de tillstånd som krävs för att lokalisera och bygga djupförvaret. De geovetenskapligt inriktade insatserna under platsundersökningsskedet ska ge det breda kunskapsunderlag som krävs för att kunna utvärdera undersökta platsers lämplighet för ett djupförvar. Materialet ska vara tillräckligt omfattande för att bland annat

- visa huruvida den valda platsen uppfyller grundläggande säkerhetskrav och om byggtkniska förutsättningar är uppfyllda,
- möjliggöra jämförelser med andra platser som undersökts, samt
- kunna ligga till grund för anpassning av djupförvaret till platsens förutsättningar och egenskaper med acceptabel inverkan på miljö och samhälle.

Arbetet genomförs i samråd med kommuner, myndigheter och närboende.

När undersökningar och övriga utredningar genomförts och resultaten analyserats kommer SKB att ta ställning till huruvida förutsättningarna för att lämna in ansökan om lokalisering av djupförvaret på en av platserna är uppfyllda. Om så är fallet lämnas ansökan in, till vilken bifogas de miljökonsekvensbeskrivningar som utarbetas i löpande samråd med alla berörda. Tillstånds- och tillåtlighetsprövning sker därefter enligt kärntekniklagen, miljöbalken samt plan- och bygglagen. Om tillstånd erhålls påbörjas detaljundersökningsskedet.

3.2 Etappindelning

Platsundersökningsskedet är av sådan omfattning i tid, rum och innehåll att en indelning i etapper är nödvändig för ett rationellt genomförande av alla undersökningar och analyser. En etappindelning ger dessutom bättre möjligheter för en platsanpassad undersökningsmetodik och effektivare återkoppling från utvärderingen.

För att uppnå platsundersökningsskedets huvudmål kommer minst två platser inom från förstudierna angivna kandidatområden att undersökas. Storleken på kandidatområdena beror på hur långt man kunnat precisera en möjlig lokalisering av djupförvaret baserat på befintligt förstudiematerial, men kan vara upp emot ett par hundra kvadratkilometer. Förutsättningarna på de valda kandidatområdena är alltså inte inbördes lika vad avser det intressanta områdets storlek och kunskapen om de geologiska förhållandena. Den första uppgiften blir därför att ta områdena till jämförbar kunskapsnivå, precisera den plats som

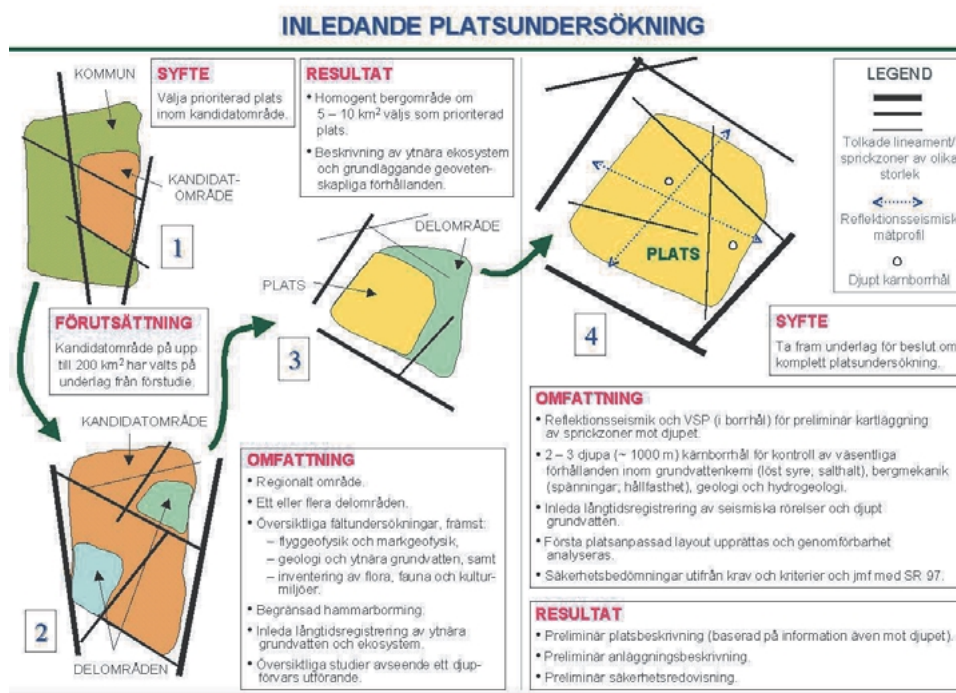
ska undersökas samt bygga upp kunskap om bergförhållanden på förvarsdjup. Denna etapp kallas *inledande platsundersökning*, se figur 3-1. Med plats menas en prioriterad del av ett kandidat område, d v s den yta som erfordras för att med god marginal rymma ett djupförvar och dess närmaste omgivning, uppskattningsvis 5–10 km².

Huvudsyftet med den inledande etappen är

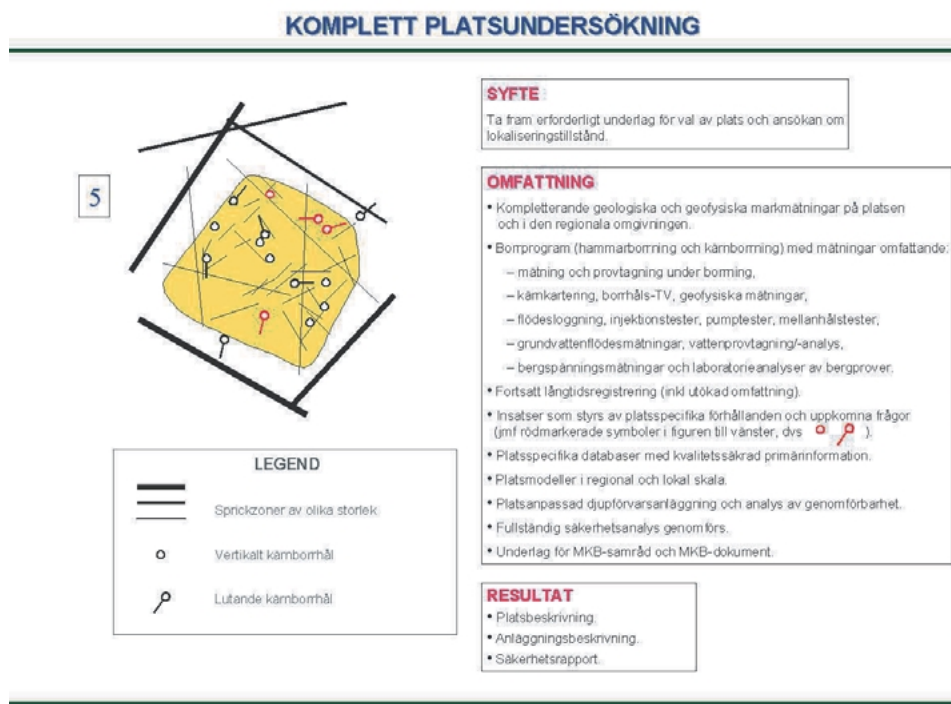
- att identifiera och välja den plats inom ett angivet kandidat område som bedöms vara mest lämpad för ett djupförvar och därmed också den del dit de fortsatta undersökningarna ska koncentreras, och
- att med begränsade insatser avgöra om förstudiens bedömning om kandidat områdets lämplighet kvarstår även med data från djupet.

Om den samlade bedömningen visar att det fortfarande finns goda förutsättningar för att lokalisera ett djupförvar på de undersökta platserna följer *kompleta platsundersökningar* på dessa platser, se figur 3-2. Syftet med de kompletta platsundersökningarna är att ta fram det underlag som krävs för att kunna välja plats samt ansöka om tillstånd för lokalisering av djupförvaret. Det betyder att kunskapen om berget och dess egenskaper behöver utökas så att:

- en geovetenskaplig förståelse för platsen kan erhållas vad gäller nuvarande tillstånd och naturligt pågående processer,
- en platsanpassad utformning av förvaret kan tas fram,
- en analys avseende byggets genomförbarhet och konsekvenser kan göras, samt
- en säkerhetsanalys kan genomföras för att bedöma om den långsiktiga säkerheten kan tillgodoses på platsen.



Figur 3-1. Tänkbar omfattning av och aktiviteter under en inledande platsundersökning.



Figur 3-2. Tänkbar omfattning av och aktiviteter under en komplett platsundersökning.

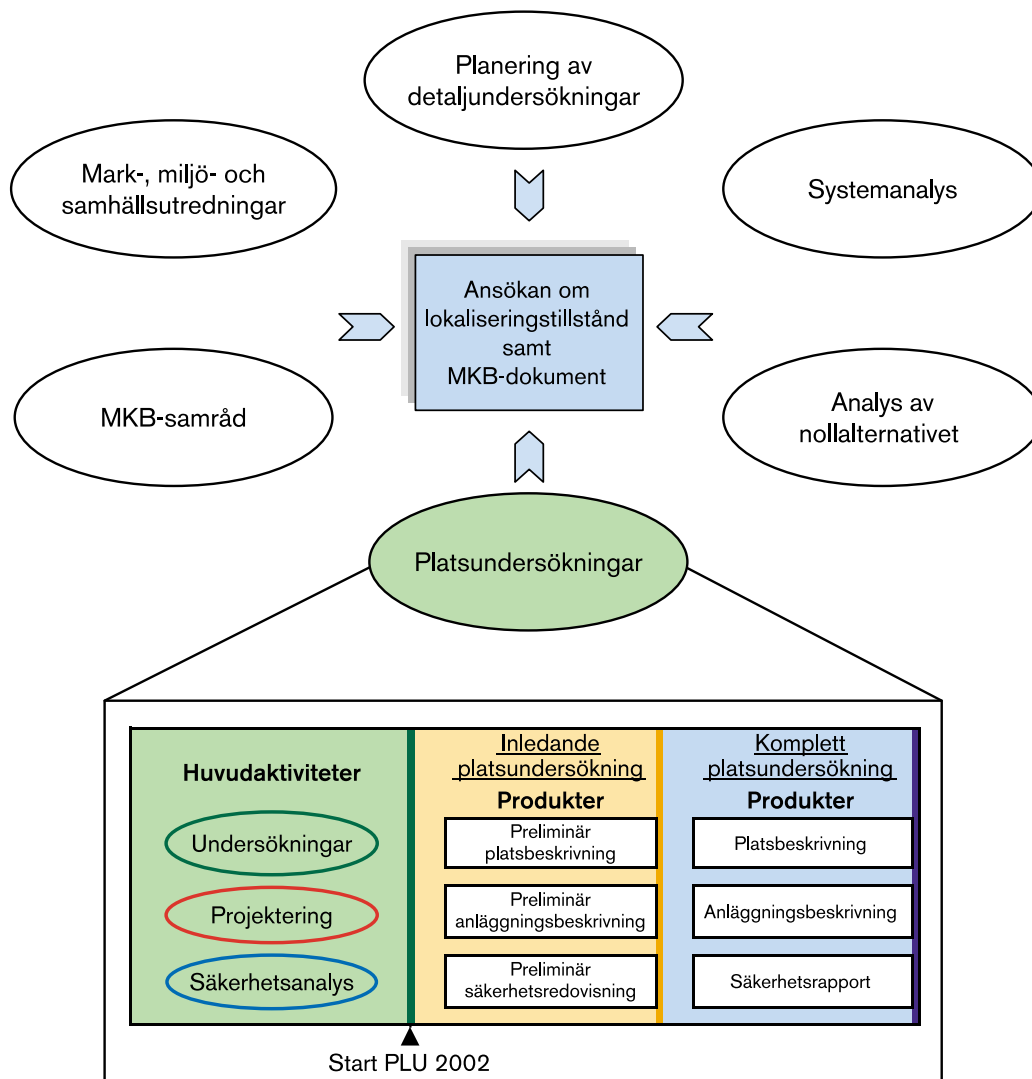
3.3 Förväntade resultat

Arbetet under platsundersökningsskedet läggs upp för att successivt ta fram ett kunskapsunderlag som kan utgöra grund för utvärdering och jämförelse mellan platserna. Tyngdpunkten i arbetet kommer att ligga på undersökningar av berget eftersom det är där den största bristen på data finns idag. Allt eftersom kunskaper om berget erhålls kan anläggningens ovan- och underjordsdelar projekteras, säkerhetsanalyser utföras baserade på platsspecifika data och anläggningens påverkan på miljö och samhälle under bygge och drift bedömas.

I figur 3-3 redovisas de aktiviteter som SKB planerar under platsundersökningsskedet. De förväntade resultaten från de tekniska huvudaktiviteterna undersökningar, projektering och säkerhetsanalys kan specificeras i form av olika produkter för varje plats som undersöks.

3.3.1 Huvudprodukter efter genomförd platsundersökning

Undersökningarnas huvudprodukt är en *platsbeskrivning*. Här redovisas insamlade data och tolkade parametrar som är av betydelse dels för den samlade vetenskapliga förståelsen av platsen, dels för de analyser och bedömningar som görs av projektering och säkerhetsanalys med avseende på djupförvarets utformning och byggande samt långsiktiga funktion och radiologiska säkerhet. Informationen samlas i en databas. Platsbeskrivningen ska dessutom presentera en sammanvägd beskrivning av platsen (geosfär och biosfär) och dess regionala omgivning med avseende på nuvarande tillstånd och naturligt pågående processer. För detta ändamål upprättas geovetenskapliga modeller samt modeller för ytnära ekosystem.



Figur 3-3. Illustration av de aktiviteter och produkter som SKB förväntar sig under platsundersökningskedjet. Produkterna är en del av underlaget inför ansökan om lokaliseringstillstånd för djupförvaret. Aktiviteter anges i figuren som ellipser medan produkter anges som rektanglar.

Projekterings huvudprodukt är en *anläggningsbeskrivning*. Här redovisas layoutförslag med tillhörande bygganalyser baserade på redovisade data från undersökningar. Vidare redovisas plats specifika designkriterier som anger förutsättningar för de olika bergarbeten som ska utföras som t ex krav på bergförstärkning, täthetskrav eller materialval för återfyllnad. En teknisk riskvärdering genomförs och med detta avses t ex en beskrivning av osäkerheter i gjorda kalkyler och miljöpåverkan av anläggningsarbeten. I anläggningsbeskrivningen redovisas valet av teknik och förvarslayout samt etableringsbeskrivning.

Säkerhetsanalysens huvudprodukt är en *säkerhetsrapport*. Här analyseras huruvida den långsiktiga säkerheten är uppfylld för det planerade djupförvaret baserat på redovisade undersökningsresultat och upprättad förvarslayout. Säkerhetsanalysen genomför analyser av termiska, hydrauliska, mekaniska och kemiska förlopp kring ett djupförvar liksom beräkningar av radionuklidtransport. Resultaten av olika analyser kan t ex användas som

underlag för val mellan alternativa förvarsutformningar eller för val av återfyllningsmaterial. Data efter genomförd platsundersökning ska ge underlag för en analys av åtminstone samma omfattning som säkerhetsanalysen SR 97 /SKB, 1999a/. Metodiken i SR 97 utgör härvidlag en grund för den metodik som ska användas i kommande säkerhetsanalyser.

Vad gäller övrigt lokaliseringsunderlag, t ex *mark-, miljö- och samhällsutredningar*, görs fördjupade och mer detaljerade studier för att också i detta avseende få fram ett tillräckligt underlag för en lokaliseringsansökan.

Utöver detta plats specifika underlag som ligger till grund för valet av plats behövs ett underlag för att beskriva djupförvarssystemet och den fortsatta verksamheten på den valda platsen. Detta arbete kommer preliminärt att omfatta följande rapporter:

- En uppdaterad *systemanalys* med en beskrivning av utformningen av hela systemet för slutförvaring av det använda kärnbränslet samt de varianter i KBS-3-systemets utformning som fortfarande är intressanta att driva vidare. Här redovisas även resultatet av den teknikutveckling som skett under platsundersökningsskedet, de teknikval som gjorts motiveras och en jämförelse görs av hur olika val påverkar säkerheten på lång och kort sikt samt hur olika delar av systemet påverkar varandra.
- Ett *program för detaljundersökningsskedet* med en beskrivning av hur bygget av tunneln ner till förvarsdjup kommer att gå till och hur berget kommer att undersökas mer i detalj från dessa tunnlar. Anläggning av byggnader, vägar och eventuellt järnvägar ovan jord ska också beskrivas. Miljöpåverkan av byggverksamheten och de åtgärder som kommer att vidtas för att begränsa denna kommer att redovisas tillsammans med ett kontrollprogram. En plan ska även presenteras för hur samråd med berörda parter kommer att gå till under detaljundersökningsskedet.
- En redovisning av *nollalternativet*, d v s alternativet att djupförvaret inte byggs, utan övervakad lagring av det använda bränslet i CLAB fortsätter under obestämd tid (eventuellt flera hundra år).

Allt ovan beskrivet underlag kommer att tas fram och diskuteras under hela platsundersökningsskedet, inte minst i samrådet om miljökonsekvensbeskrivningen. *Miljökonsekvensbeskrivningen* kan ses som ett övergripande dokument som ska ge en helhetsbild av miljökonsekvenserna av djupförvaret. Ett förslag till innehåll i miljökonsekvensbeskrivningen finns i en bilaga till FUD 98, avsnitt 5.4 /SKB, 1998/. Det är genom MKB-samrådet och i det slutliga MKB-dokumentet som en samlad redovisning ska ges av hela lokaliseringsunderlaget och av miljökonsekvenserna av ett djupförvar.

3.3.2 Produkter efter inledande platsundersökning

Efter en inledande platsundersökning är informationen om de geovetenskapliga förhållandena på djupet fortfarande relativt begränsad. Uppgiften i detta skede är att bedöma om det är rimligt att gå vidare med en komplett (mer detaljerad) platsundersökning, eller om platsen ifråga bör överges till förmån för en annan plats.

Den *preliminära platsbeskrivningen* förväntas innehålla en sammanställning av de översiktliga fältstudier som utförts på angivet kandidat område. Sammanställningen förväntas omfatta dels en beskrivning av de regionala förhållandena i anslutning till området, dels en redovisning av insamlade data och tolkade parametrar för de begränsade djupundersökningar som utförts på den prioriterade platsen.

Den *preliminära anläggningsbeskrivningen* kommer att fokuseras på att beskriva alternativa förslag till en preliminär layout för djupförvaret. I detta skede finns dock endast en begränsad möjlighet att anpassa anläggningen till bergets faktiska förhållanden och egenskaper.

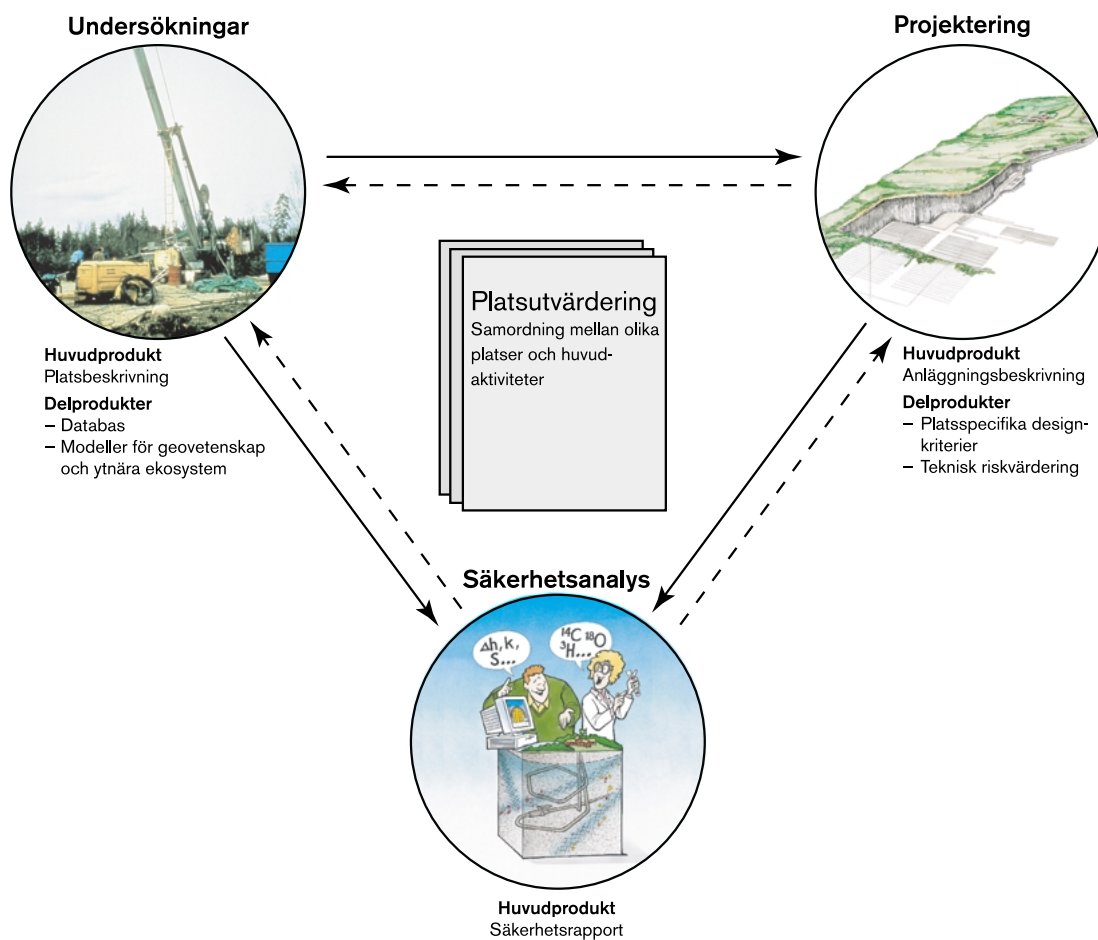
Vad gäller den långsiktiga säkerheten förväntas underlaget efter den inledande platsundersökningen inte vara tillräckligt för att genomföra en omfattande säkerhetsanalys. Den *preliminära säkerhetsredovisningen* kommer därför i första hand att innehålla

- avstämning mot de krav och kriterier som formulerats i /Andersson m fl, 2000/,
- jämförelser med förhållandena vid de tre platser som analyserades i SR 97 /SKB, 1999a/ och vad som därigenom kan sägas om förväntat analysresultat, och
- enkla analytiska transportberäkningar av det slag som genomfördes i SR 97, med de nya platsspecifika data som kan finnas tillgängliga.

3.3.3 Informationsflöde under en platsundersökning

I figur 3-4 illustreras mycket förenklat det omfattande informationsutbytet mellan de tre tekniska huvudaktiviteterna under en platsundersökning. De heldragna pilarna mellan de tre aktörerna symboliserar informationsutbytet hierarki, där samtliga produkter från undersökningar och projektering (*platsbeskrivning* och *anläggningsbeskrivning*) kan sägas ligga till grund för säkerhetsanalysens huvudprodukt, *säkerhetsrapporten*. De streckade pilarna i figur 3-4 symboliserar det stora behovet av återkoppling från projektering och säkerhetsanalys till undersökningar. Undersökningarnas genomförande ska följaktligen vara både logisk, med tanke på de olika huvudaktiviteternas behov av data och beslutstillfällen, och dynamisk, med tanke på platsernas specifika förutsättningar och successivt erhållna resultat.

Som påpekats tidigare kommer platsundersökningar att äga rum på minst två platser. Mitt i figur 3-4 illustreras den viktiga samordningsfunktionen vars uppdrag är att samordna mellan olika huvudaktiviteter och olika platser.



Figur 3-4. Illustration av informationsutbytet mellan de tre huvudaktiviteterna undersökningar, projektering och säkerhetsanalys. I figurens mitt illustreras den viktiga samordningsfunktionen mellan olika huvudaktiviteter och olika platser.

4 Undersökningar

I detta kapitel beskrivs det tekniska innehållet i de undersökningar som planeras för platsundersökningsskedet. Undersökningarna ska ge erforderliga data för en platsanpassad utformning av djupförvaret och för analys av dess långsiktiga radiologiska säkerhet. Sammantaget består undersökningarna av följande arbetsmoment: inventering, planering, fältarbete, tolkning, dokumentation och arkivering. Mätningarna ger normalt information om förhållanden i enskilda mätpunkter. Mätinformationen behöver därför utvärderas med olika tolkningsmetoder för att hela bergvolymen ska kunna beskrivas (modelleras). Denna beskrivning används i sin tur av *projektering* och *säkerhetsanalys*. Utvärdering av platserna beskrivs närmare i kapitel 5.

4.1 Strategi för undersökningsprogrammet

När platsundersökningarna är klara ska aktiviteten *undersökningar* bland annat ha:

- presenterat erforderliga data om platsen för att en platsanpassad utformning av djupförvaret och en analys av djupförvarets långsiktiga radiologiska säkerhet ska kunna genomföras.

Utifrån detta allmänna mål bestäms vad som ska undersökas och hur omfattande undersökningarna ska vara. Den slutgiltiga utformningen av undersökningsprogrammet måste dock anpassas till de aktuella (verkliga) platserna. Den generella beskrivningen, som presenteras här, syftar främst till att ge en allmän bild av vilka moment och typer av undersökningar som kommer att ingå. Aktiviteten undersökningar innefattar även geovetenskaplig modellering vilket beskrivs i avsnitt 5.1.

4.1.1 Vad ska bestämmas?

SKB har genomfört ett flertal studier, främst "parameterrapporten"/Andersson m fl, 1997/ och rapporten om krav och kriterier /Andersson m fl, 2000/, för att utreda vilken platsspecifik information som behövs för att kunna genomföra säkerhetsanalys och projektering under platsundersökningsskedet. Valet av parametrar som behöver bestämmas baseras på SKB:s mångåriga erfarenhet av undersökningar av berg, inklusive Äspö-laboratoriet, och från olika funktions- och säkerhetsanalyser som har genomförts. Data-behovet har i synnerhet stämts av mot erfarenheter och slutsatser från SKB:s senaste säkerhetsanalys SR 97 /SKB, 1999a/.

För att ta reda på om den undersökta platsen uppfyller de grundläggande krav som ställs på berget och i vilken utsträckning platsen uppfyller ställda önskemål ska undersökningarna speciellt bestämma följande:

- bergarternas fördelning och homogenitet och speciellt om det inom den undersökta volymen kan förekomma så värdefulla mineral att det skulle kunna motivera brytning på hundratals meters djup,
- läge för regionala plastiska skjuvzoner samt läge för regionala och lokala större sprickzoner,
- statistisk beskrivning av sprickor och lokala mindre sprickzoner,

- initiala bergspänningar samt fördelning av bergets och sprickornas mekaniska egenskaper (hållfasthet, deformationsegenskaper och temperaturutvidgningskoefficient),
- bergets värmeledningsförmåga och naturliga temperaturförhållanden på förvarsdjup,
- statistisk fördelning av vattengenomsläppligheten (hydraulisk konduktivitet) speciellt inom de tilltänkta deponeringsområdena,
- statistisk fördelning av grundvattnets flödes hastighet (darcy hastighet) i deponeringshålskala inom de tilltänkta deponeringsområdena,
- vattengenomsläpplighet och bedömning av eventuella anläggningstekniska svårigheter för de sprickzoner som behöver passeras vid undermarksbygget,
- de naturliga hydrauliska gradientförhållandena på förvarsnivå,
- kemiska parametrar som indikerar frånvaro av löst syre i grundvattnet, d v s redoxpotential, förekomst av tvåvärt järn, eller förekomst av sulfid,
- grundvattnets totala salthalt,
- pH, halt av organiska ämnen, kolloidhalt, ammoniumhalt, halt av kalcium och magnesium samt halter av radon och radium,
- statistisk beskrivning av transportmotståndet för strömningsvägar från deponeringsområdet,
- statistisk fördelning av matrisdiffusivitet och matrisporositet längs tänkbara strömningsvägar, samt
- beskrivning av ytnära ekosystem och övriga markförhållanden.

Förutom dessa parametrar behöver ytterligare parametrar bestämmas för att nå en god förståelse av platsen. Ytterligare information om markförhållanden m m behövs för projekteringen av förvarets ovanjordsanläggningar och för att, till exempel, ge byggtekniskt underlag för placering av tillfartstunnlar utanför det egentliga förvarsområdet. De parametrar som kommer att bestämmas framgår av tabeller som redovisas längre fram i detta kapitel. En mer detaljerad redovisning ges i de kommande detaljerade undersökningsprogrammen.

Den sammanvägda bedömningen av om en plats är lämplig baseras i hög grad på resultaten av projekteringsarbetet och säkerhetsanalysen. Platsen accepteras bara om man kan presentera en djupförvarsanläggning som är väl anpassad till platsens förhållanden och att säkerhetsanalysen visar att detta förvar är säkert. Vidare krävs att man påvisat genomförbarhet för anläggningsarbetena och att både anläggningen i sig och dess uppförande innebär en acceptabel inverkan på natur, kultur och övrig miljö. Under en platsundersökning, då mätvärden erhållits från förvarsdjup men innan den samlade analysen har genomförts, används kriterier /Andersson m fl, 2000/. Detta för att kontrollera om krav och önskemål på platsen kan vara uppfyllda. Kriterierna ger vägledning om hur analyserna kommer att utfalla, men ersätter dem inte.

4.1.2 Undersökningarnas etappindelning

Platsundersökningar kommer att utföras på minst två platser och är av sådan omfattning i tid, rum och innehåll, att en lämplig indelning i etapper är nödvändig. Indelningen måste vara logisk och styrd av huvudaktiviteternas behov av data vid olika beslutstillfällena, samtidigt som den ska möjliggöra ett rationellt genomförande och medföra minsta möjliga störning för miljön. Platsundersökningarna delas in i de två huvud-etapperna *inledande platsundersökningar* respektive *kompleta platsundersökningar*. De över-

gripande syftet med dessa två etapper redovisades i avsnitt 3.2. Etappindelning (och den iterativa undersökningsmetodik som planeras) har tillämpats av SKB vid samtliga typområdesundersökningar samt under förundersökningsskedet för Äspölaboratoriet /se, t ex, Rhén m fl, 1997/.

Inledande platsundersökningar

Under etappen inledande platsundersökningar undersöks varje kandidat område för att:

- ge underlag för en grundläggande förståelse av berget och de ytnära ekosystemen i regional skala,
- ge underlag för att välja en prioriterad plats för fortsatta undersökningar, och
- med hjälp av djupundersökningar i ett begränsat antal borrhål på prioriterad plats ta fram information som gör det möjligt att bedöma om den prioriterade platsen är gynnsam för ett djupförvar och därmed lämplig för kompletta platsundersökningar.

Utgångsläget för de inledande platsundersökningarna kommer att vara mycket olika, bland annat vad beträffar storleken av och kunskapsnivån om de anvisade kandidatområdena. Det inledande undersökningsprogrammet för undersökningar kommer därmed att vara olika mellan olika kandidat områden. Vid en storlek av upp emot ett par hundra kvadratkilometer, eller där den geovetenskapliga kunskapsnivån är låg, kan det exempelvis vara lämpligt att genomföra den geografiska områdesbegränsningen genom att identifiera och studera flera potentiella platser, se figur 3-1.

Den plats där de kompletta platsundersökningarna sedan ska koncentreras, och för vilket platsbeskrivningarna ska upprättas, kommer att vara i storleksordningen 5–10 km². Detta krävs för att underjordsanläggningens alla delar ska kunna utplaceras och för att även förvarsområdets omgivning ska kunna karakteriseras.

Undersökningsinsatserna domineras till en början av översiktliga fältstudier (karteringar, inventeringar och ytgeofysik) över hela kandidatområdet. När prioriterad plats har valts borrar och undersöks ett begränsat antal, 2–3 stycken, djupa kärnborrhål. Utvärderingen av resultaten från den inledande platsundersökningen, och bedömningen om den prioriterade platsen är lämplig, beskrivs i kapitel 5.

Kompletta platsundersökningar

Under förutsättning att den inledande platsundersökningen visar att den prioriterade platsen är gynnsam, och även är lämplig ur andra aspekter, påbörjas kompletta platsundersökningar. Under etappen kompletta platsundersökningar syftar undersökningarna till att:

- med borrhålsundersökningar i ett ändmålsenligt antal borrhål fullborda den geovetenskapliga karakteriseringen av den prioriterade platsen och dess omgivning så att, om platsens befinns vara lämplig, projektering och säkerhetsanalys kan ta fram det underlag som behövs för en lokaliseringsansökan.

Undersökningarnas omfattning kan bara bestämmas platsspecifikt och i samråd med de primära avnämarna projektering och säkerhetsanalys. SKB gör bedömningen att den kompletta platsundersökningen bör omfatta mellan 10 till 20 kärnborrhål vid varje plats samt åtminstone lika många hammarborrhål. Ett rationellt genomförande av borrar och undersökning fordrar att man borrar och undersöker i omgångar med ett begränsat antal borrhål (3–4) i varje omgång. De olika undersökningsomgångarna skiljer sig inte så mycket från varandra. Nya borrhål sätts dock där man utifrån den tidigare utvärderingen bedömt att det behövs mer information.

4.1.3 Struktur för undersökningsprogrammet

Undersökningsprogrammet är strukturerat ämnesspecifikt, dels för att få bättre överskådlighet, och dels för att effektivisera det praktiska genomförandet. Programmet utgår från tidigare erfarenheter, se t ex /Almén (red), 1994/. För närvarande utvecklas detaljerade ämnesspecifika program för följande sju ämnesområden:

- ytnära ekosystem,
- geologi,
- hydrogeologi,
- hydrogeokemi,
- bergmekanik,
- termiska egenskaper, och
- bergets transportegenskaper.

Av dessa är ytnära ekosystem, geologi, hydrogeologi och hydrogeokemi samt i viss mån bergmekanik de ämnesområden som dominerar undersökningarna i fält. De flesta mätbara termiska parametrarna erhålls från de geologiska undersökningarna. Mätdata som ger underlag för att bestämma transportegenskaper hämtas framförallt från hydrogeologi och hydrogeokemi, men vissa specifika undersökningar av transportegenskaper ingår också i programmet. Geofysik är inget eget ämnesområde men ger viktigt datastöd till övriga ämnesområden, varför program för geofysiska undersökningar kommer att ingå i det geologiska ämnesprogrammet.

4.2 Undersökningarnas omfattning vid olika etapper

För att skapa överblick beskriver följande avsnitt undersökningarnas huvudsakliga omfattning vid den inledande respektive den kompletta platsundersökningen. Undersökningsmetoderna beskrivs mer detaljerat i avsnitt 4.3.

4.2.1 Inledande platsundersökning

Översiktlig geologisk och hydrologisk kartläggning

De geovetenskapliga undersökningarna består till en början huvudsakligen av ytbaserade undersökningar på marken och från luften i syfte att sätta in undersökningsområdet i sitt regionala sammanhang samt att välja en prioriterad plats. Undersökningarna i fält domineras inledningsvis av översiktlig geologisk kartläggning och geofysiska mätningar.

Vilka geofysiska mätningar som ska genomföras beror på innehållet i den från förstudien övertagna geofysiska databasen. Om flyggeofysiska kartor saknas bör ett sådant mätprogram genomföras. Som exempel kan nämnas att magnetiska och radiometrisk metoderna är användbara för beskrivningen av bergarter. Magnetiska metoder är tillsammans med elektromagnetiska metoder dessutom användbara för att identifiera regionala och lokala större deformationszoner.

Lineamenttolkning från digitala topografiska databaser är ofta en bra metod för identifiering av områdets regionala deformationszoner, och är ett komplement till tolkning av flyggeofysiska kartor. Refraktionsseismik är exempel på en markgeofysisk metod som lämpligen används för att i fält kontrollera de preliminära tolkningarna av regionens

större strukturer. Exempel på andra markgeofysiska mätningar som kan bli aktuella inom den inledande platsundersökningen är metoderna gravimetri, med vilken större bergenheter med olika densitet (t ex granitkroppar eller grönstenar) kan identifieras och resistivitetsmätning, med vilken olika bergenheters bulkresistivitet kan bestämmas. Denna egenskap beror av bergets porositet som i sin tur speglar sprickigheten.

För bedömning av eventuell förekomst av neotektoniska rörelser kontrolleras huruvida indikationer på detta kan upptäckas i samband med den geologiska kartläggningen. Analys av geodetiska data från GPS-nät och precisionsavvägningar är exempel på andra metoder som kan användas i syfte att studera eventuella långsamma tektoniska rörelser. Vidare bedöms det vara lämpligt att tidigt etablera ett seismologiskt observationsnät, även om sådana registreringar inte förväntas ge direkt användbara plats-specifika data. Skälet till detta är att seismiska händelser av nämnvärd storlek sannolikt inte kommer att inträffa /SKB, 1999a/ under den förhållandevis korta period som platsundersökningarna pågår.

Om en stor eller övervägande andel av bergytan är jordtäckt måste den information som annars kan fås genom kartering av bergytan åtminstone till viss del ersättas av provtagning genom korthålsborrning till bergytan. Tillsammans med jordsondering används sådan borrning också för att bestämma jordlager och jorddjup. Geofysiska metoder såsom markradar kan också användas för att kartlägga jordlager och bergytans läge.

Ett hammarborrningsprogram kommer att krävas för att svara på specifika frågeställningar, som t ex större sprickzonens stupning. Informationen kan då maximalt erhållas från ungefär 200 m djup.

Yt- och grundvattenförhållanden och dess kemiska beskaffenhet studeras främst genom hydrologisk kartläggning, inventering och provtagning av vattendrag, källor och befintliga brunnar. Under förstudieskedet begränsades motsvarande analyser till befintliga uppgifter i brunnsarkivet vid Sveriges geologiska undersökning (SGU). Vidare är det väsentligt att ta referensvattenprover i borrhål om borrning förekommer. Detta gäller speciellt nyborrade borrhål, eftersom det är enda gången provtagning kan ske under i det närmaste ostörda förhållanden.

Vidare upprättas ett monitoringsprogram för alla hydrologiska och meteorologiska parametrar som bör långtidsregistreras. Exempel på parametrar av intresse är områdets övre grundvattenyta, djupare grundvattentrycknivåer, nederbörd, temperatur, potentiell avdunstning och avrinning i vattendrag. Alla dessa parametrar uppvisar vanligtvis såväl årstidsfluktuationer som variationer mellan åren, vilket innebär att ju tidigare registreringar kan inledas desto fullständigare blir databasen inom undersökningsområdet.

Kartläggning av ekosystem

När man identifierat de tilltänkta kandidatområdena inleds även arbetet med att inventera och ställa samman tillgänglig information om de ytnära ekosystemen. Framförallt är det viktigt att tidigt ställa samman tillgänglig information från biotops- och vegetationskarteringar, flygbildstolkningar och satellitbilder för att identifiera områden som kräver speciell naturvårdshänsyn. Vägdragningar och i viss mån borrhål planeras med utgångspunkt från den sammanställda informationen. Om områden som klassificerats som speciellt känsliga för störningar berörs genomförs först detaljerade inventeringar för att kunna minimera eventuell miljöpåverkan. I oklassificerade områden görs en enklare fältkontroll före eventuella ingrepp.

De översiktliga biotop- och vegetationskartorna utgör också underlag för beslut om var mer noggranna fältkontroller och inventeringar måste genomföras. Syftet är att skapa en detaljerad karta med områden som kräver speciella hänsyn med avseende på miljöpåverkan, t ex speciella nyckelbiotoper och häckningsplatser. Vidare kan gynnsamma områden för att påbörja långa ostörda mätserier av framförallt parametrar i vattenmiljö, men också mark, identifieras. Efter fältkontroll och utvärdering i ett tidigt skede kan långtidsmätningar starta av vattenkemi, hydrologi samt fauna och flora.

Långtidsserierna från dessa ger ett underlag för ostörda förhållanden och för förståelsen av årstidsväxlingar i området. Dessutom ger det möjlighet att utvärdera eventuell miljöpåverkan av platsundersökningen. En del av dessa mätserier kommer också att vara underlag för miljöövervakningen som kan fortsätta även vid en eventuell detaljundersökning.

Undersökningar vid prioriterad plats

Fortsättningen av den inledande platsundersökningen förutsätter att en prioriterad plats inom kandidatområdet valts. Det är först nu som undersökningsborrningarna till stort djup genomförs. Det är då väsentligt att i första hand undersöka parametrar som är känsliga för störningar och sådana förhållanden som direkt skulle kunna avgöra att den prioriterade platsen inte kan accepteras eller att den är klart olämplig för ett djupförvar /se Andersson m fl, 2000/. Ett borrh- och undersökningsprogram som omfattar några (2–3) djupa kärnborrhål och ett antal hammarborrhål genomförs därför med dessa primära syften.

Även om antalet borrhål är begränsat i detta skede kommer undersökningsprogrammet att vara omfattande för att man ska kunna analysera förekommande rumsliga variationer hos berggrundens egenskaper. Inriktningen av borrhålsundersökningarna beskrivs mer utförligt i avsnitt 4.3.

Bergets deformationszoner tillhör de avgjort mest styrande egenskaperna i berggrunden för förvarets berggrumslayout. Zonerna förekommer i alla storlekar och erfordrar intensifierade undersökningsinsatser i takt med ökade krav på detaljkännedom om berggrunden. Målet för de geovetenskapliga undersökningarna är här att preliminärt identifiera de deformationszoner som ej tillåts förekomma i djupförvarets närhet respektive de som kan tillåtas att passera mellan förvarsområden, se vidare kapitel 5. Detta innebär att i första hand regionala och flertalet lokala större sprickzoner, enligt SKB:s geovetenskapliga nomenklatur för deformationszoner i berg (se avsnitt 5.1.2), ska identifieras och karakteriseras.

Sannolikt föregås borrhningarna av reflektionsseismiska mätningar omfattande ett par kilometer långa, korsande profiler. Metodens möjlighet att indikera eventuell förekomst av större subhorisontella deformationszoner på djupet är en väsentlig kunskap innan borrhningarna inleds, eftersom flacka zoner kan begränsa utnyttjandet av berget om dessa förekommer på olämpligt djup och har ogynnsamma egenskaper. Utfallet av de reflektionsseismiska mätningarna kan komma att användas för att detaljplanera det fortsatta borrh- och undersökningsprogrammet även om egenskaperna hos de eventuella zonerna inte kan fastställas förrän vid borrhning och mätning i ett senare läge.

Exempel på andra markgeofysiska profilmätningar som också kan genomföras för att komplettera den strukturgeologiska karakteriseringen är främst magnetiska och elektromagnetiska metoder. Elektrisk sondering och transient elektromagnetisk sondering kan användas för att spåra resistivitetsförändringar mot djupet, vilket kan bero på förekomst av större subhorisontella sprickzoner eller på förekomst av saltare grundvatten. Framförallt om resultaten kan kalibreras mot provtagning i ett borrhål kan zonernas eller det salta grundvattnets utbredning över ett större område bestämmas.

Data för identifiering och tolkning av förekommande deformationszoner hämtas från geologiska och geofysiska mätningar i de ovan nämnda borrhålen och genom borrhning av kortare hål, speciellt avsedda för att bestämma markutgående sprickzoners stupning. Ett av de djupa hålen som borraras i detta skede placeras lämpligen i närheten av de reflektionsseismiska profilernas skärningspunkt, vilket om möjligt bör tas hänsyn till redan vid utplaceringen av dessa profiler. I detta hål, som bör vara subvertikalt och närmare 1000 m djupt genomförs lämpligen Vertical Seismic Profiling (VSP). Samtolkning av VSP och reflektionsseismik ger goda möjligheter att karakterisera förekomsten av deformationszoner i en relativt stor bergvolym.

Bergartsfördelning och de för berggrumslayouten mindre betydande zonerna bestäms detaljerat i varje borrhål. Vidare kommer bergytan att friläggas längs korsande profiler (om möjligt vid de reflektionsseismiska profilerna) och/eller på en större yta. Syftet är att få en god bild över bergartsfördelning samt god statistik över sprickors geometriska egenskaper såsom längd, orientering och frekvens. Sprickors längd kan ju inte mätas i borrhål.

Borrhningen av det första djupa borrhålet innebär också den första djupa störningen på grundvattnet. Det är därför väsentligt att genomföra ett optimalt hydrogeologiskt och hydrokemiskt provtagningsprogram i just detta hål. Kemiprogrammet styr inte bara provtagnings- och analysmetodiken utan också borrhningsförfarandet som sådant för att man på ett kontrollerat sätt ska erhålla ostörda vattenprover, såväl i samband med själva borrhningen, som i det efterföljande provtagningsprogrammet. Ett exempel på en grundvattenkemisk nyckelparameter, som tillhör kategorin känsliga för störningar, är redoxpotential (Eh). Oxiderande förhållanden och/eller förekomst av löst syre på förvarsdjup är exempel på en grundvattenkemisk situation som inte kan accepteras. Detta är visserligen inte att förvänta på några hundra meters djup, men måste noggrant kontrolleras i det första borrhålet innan berggrundvattnet utsätts för vidare störning. En annan viktig parameter som också bör bestämmas i det första borrhålet är grundvattnets salthalt eftersom höga koncentrationer kan påverka platsens lämplighet /Andersson m fl, 2000/.

I det hydrogeologiska programmet bestäms bland annat bergmassans och deformationszonernas vattengenomsläpplighet med hydrauliska tester. Dessa utförs med ledning av den strukturgeologiska informationen som erhålls i samband med borrhningen.

Bergspänningsmätningar genomförs framförallt med den sk överborrningsmetoden som utförs i samband med borrhning, lämpligen på några nivåer ner till planerat förvarsdjup. Som komplement till överborrningsmetoden genomförs sannolikt även hydraulisk spräckning i samma borrhål i ett större antal mätpunkter mellan 100 m och 800 m djup. Eftersom man med denna metod injicerar vatten måste man dock vänta med dessa mätningar tills all vattenprovtagning och känsliga hydrauliska tester utförts. Höga bergspänningar, i synnerhet vid betydande anisotropi (riktningsberoende) och/eller i kombination med låg berghållfasthet kan indikeras redan vid kärnborrhning genom att sk core-discing då kan uppträda, med vilket menas att borrhkärnan brister upp i skivor. Fenomenet är bra som indikatorer metod, men inte tillräcklig för att med säkerhet avgöra om olämpliga spänningsförhållanden eller hållfasthetsegenskaper råder.

Den långtidsmonitoring som tidigare inletts fortsätter och utökas. Alla nya undersökningsborrhål manschetteras för registrering av det djupare grundvattnets trycknivåförhållanden, så snart borrhålmätningarna genomförs.

4.2.2 Kompletta platsundersökning

Den kompletta platsundersökningen ska ge den information som behövs för bedömning av platsens lämplighet samt för utarbetande av det underlag som behövs för en lokaliseringensansökan, se 4.1.1. Undersökningarna kommer att domineras av borrhning och borrhålsundersökningar av olika slag. Undersökningarnas omfattning inom olika ämnesområden beskrivs i metodpresentationen, avsnitt 4.3.

Borrprogrammet kommer att omfatta ett flertal borrhål vid varje plats. Ett rationellt genomförande av borrhning och undersökning fordrar att man borrar och undersöker i grupper om minst tre borrhål. Därigenom kan man också skapa förutsättningar för att tillgodose önskemålet om minsta möjliga störning för miljön. Undersökningsinsatserna skiljer sig inte nämnvärt mellan de olika borkampanjerna.

Utvärderingen av informationen som finns framme vid olika tidpunkter, tillåts i viss utsträckning styra var nya borrhål ska placeras. Generellt gäller dock att borrhålen ska vara lämpligt fördelade över hela platsen, till såväl geografisk yta som djup, med målet att uppnå samma geovetenskapliga kunskapsnivå för hela det lokala modellområdet, men med ökad detaljeringsgrad för de delar som bedöms vara aktuella som deponeringsområden. Borrhål kan även placeras för att undersöka rena byggtkniska frågor, t ex för att ge underlag för placering av eventuella tillfartstunnlar utanför själva förvarsområdet.

Undersökningarna får naturligtvis inte försämra platsens långtidsegenskaper. Detta utgör dock primärt ingen restriktion för var borrhålen kan placeras. Beslut om vilka borrhål som ska pluggas när förvaret förslutits och vilka som eventuellt ska finnas kvar för långsiktig registrering fattas i sena skeden av förvarsutbyggnaden eller först i samband med att förvaret ska förslutas. Borrhålens läge bestäms dock mycket noggrant, för att det ska vara möjligt att ta hänsyn till dem vid projektering och säkerhetsanalys.

Vare sig projektering eller säkerhetsanalys behöver en i alla avseenden deterministisk kunskap om bergets egenskaper efter avslutad komplett platsundersökning. För flera parametrar räcker det med att ta fram en statistisk fördelning. Redan ett mindre antal borrhål ger god information om platsens större sprickzoner och om den statistiska fördelningen av bergets egenskaper. Ytterligare borrhål ger information om mindre sprickzoner och ger mer detaljkunskap om egenskapernas rumsliga variation. När osäkerheterna är tillräckligt väl bestämda finns det ingen anledning att utföra fler borrhål, även om detta skulle ge ett begränsat informationstillskott. För flera parametrar är det dessutom avsevärt lättare att sedan öka detaljeringsgraden från förvarsdjup vid de efterföljande detaljundersökningarna. Andra parametrar kan överhuvudtaget inte bestämmas med borrhål från markytan utan kräver mätningar från tunnlar under jord.

Det är inte på förhand möjligt att ange hur många borrhål som behövs för att nå tillräcklig kunskap. Undersökningarnas omfattning beror på hur komplex platsen är och hur borrhålen placeras. En mer heterogen plats, med många sprickzoner behöver relativt sett fler borrhål än en homogen plats. Några horisontella borrhål genom förvarsområdet kan under vissa omständigheter ge mycket information, men är avsevärt svårare att genomföra. Undersökningarnas omfattning kan därför bara bestämmas platsspecifikt och i samråd med de primära avnämarna projektering och säkerhetsanalys. SKB gör dock bedömningen att den kompletta platsundersökningen kan komma att omfatta mellan 10 till 20 borrhål.

Kartläggning och mätningar på markytan fortsätter även under den kompletta platsundersökningen, främst i syfte att komplettera tidigare markundersökningar och att besvara specifika frågeställningar från den inledande platsundersökningen. Det handlar då framförallt om att detaljera den ekologiska och geologiska kartläggningen och att genomföra detaljerade geofysiska mätningar. Dessa undersökningar koncentreras till de prioriterade platserna. Även den regionala omgivningen blir sannolikt föremål för kompletterande undersökningar i detta skede.

4.3 Undersökningsmetoder

Följande avsnitt presenterar översiktliga ämnesområdesrelaterade redogörelser för vad en (typisk) platsundersökning kan innebära. För varje ämnesområde presenteras en tabell som visar vilka parametrar som ingår och i vilket skede de huvudsakligen kommer att bestämmas. Dessa redogörelser kommer att utvecklas vidare i samband med SKB:s redovisning av ämnesspecifika program vid senare tillfälle. För en närmare presentation av de olika undersökningsmetoderna hänvisas till bilagan. Där redovisas dessa i en tabell tillsammans med en sammanställning över vilken information som kan bestämmas.

4.3.1 Ytnära ekosystem

Kartläggning av ekosystem sker till stor del genom att *sammanställa redan tillgänglig information* från biotops- och vegetationskarteringar, flygbildstolkningar och satellitbilder. Baserat på dessa underlag görs sedan mer noggranna fältkontroller och inventeringar av flora och fauna.

Fältkontroller och *inventeringar* innebär inga ingrepp i naturen mer än besök av ekologer/biologer. Vid de prioriterade platserna bedrivs denna verksamhet under hela platsundersökningen.

Vid olika områden tas *vattenprover* och *markprover*. Kemisk och biologisk sammansättning bestäms i laboratorium. Ingreppen är vanligen små, men provserier kommer att tas under lång tid.

En detaljerad *kartering av potentiella utströmningsområden* görs med avseende på dominerande ekosystem samt lösa avlagringar (jordmån och jordarter). Om den prioriterade platsen ligger vid eller nära kusten utförs bottenkartering av aktuella kustområden. Det ger ett underlag för ytnära hydrologiska modeller i nuvarande och framtida utströmningsområden.

Utvecklingshastigheten av ekosystemen och de lösa avlagringar bestäms med *sedimentationsmätningar* och *tillväxtmätningar* i form av datering av stratigrafien tillsammans med historiska data om området. Dessa uppgifter ger också en ökad precision om landhöjningsförloppet. Mätningar av *vattenflöden och vattenomsättning* ger underlag för att bestämma flödet av material genom ekosystemen till människa och miljö. I ett senare skede genomförs *produktionsmätningar i fält* baserat på underlag som vegetation och biotopkartor producerat samt mängduppskattning.

De yteologiska parametrar som ska bestämmas under platsundersökningsskedet sammanfattas i tabell 4-1.

Tabell 4-1. Sammanställning av ytekologiska parametrar som kommer att bestämmas i olika skeden. Inledande platsundersökning (IPLU) och komplett platsundersökning (KPLU) tillhör platsundersökningsskedet och föregås av förstudier (FS) och följs av detaljundersökningar (DETU). Flera relevanta parametrar återfinns i övriga ämnestabeller.

Parametergrupp	Parameter	Bestäms huvudsakligen under			
		FS	IPLU	KPLU	DETU
Skogsbruk	Mängd		x	x	
	Produktion		x	x	
	Omloppstid		x	x	
	Åldersstruktur	x	x		
Jordbruk	Produktion grödor		x	x	
	Djurhållning, köttproduktion		x	x	
	Antal jordbruk	x	x		
	Position	x	x		
	Areal	x	x		
Fiske/jakt	Fiskekort antal	x	x		
	Fångster	x	x		
	Yrkesfiskare antal	x	x		
Friluftsliv	Plockning av bär och svamp			x	
Klimat	Tjäle, antal dagar och markdjup		x		
	Isläggning och islossning		x		
	Vindstyrka och vindriktning			x	
	Luftryck			x	
	Solinstrålning, dagslängd, insolation och vinkel			x	
	Vegetationsperiod			x	
Avlagring	Jordmån, typ och tjocklek		x	x	
Miljögifter och radionuklider	Radionuklider i biomassa		x		
	Gifter i biomassa		x		
Flora	Vegetationstyp	x	x		
	Nyckelbiotop	x	x		
	Bestånd		x		
	Produktion		x	x	
	Arter av kärlväxter, svamp, lav, mossa och alg		x		
	Rödlistade arter		x		
Fauna	Arter och antal (däggdjur, kräldjur och fåglar)		x		
	Biomassa		x		
	Produktion		x	x	
	Rödlistade arter	x	x		
Sjöar och vattendrag	Sjötyper		x		
	Sedimenttyp		x		
	Syrehalt		x		
	Syresättning		x		
	Skiktning		x		
	Ljusförhållanden		x		
	Temperatur		x		

Fortsättning på nästa sida

Tabell 4-2. Fortsättning från föregående sida

Parametergrupp	Parameter	Bestäms huvudsakligen under			
		FS	IPLU	KPLU	DETU
Hav	Vattenomsättning		x	x	
	Strömmar		x	x	
	Exponeringsgrad (strand)		x		
	Sedimenttyp		x		
	Syrehalt		x		
	Syresättning		x		
	Skiktning		x		
	Ljusförhållanden		x		
Stödjande data	Ytnära geologi		x	x	
	Ytnära hydrogeologi		x	x	
	Ytnära hydrogeokemi		x	x	
	Ytnära transportegenskaper		x	x	

4.3.2 Borrningar och undersökningar vid borring

Varje borrhål genomförs med mer eller mindre specifikt syfte, t ex att ge grundläggande information om geovetenskapliga förhållanden för en viss del av bergvolymen eller för att bekräfta förekomst av sprickzoner eller bergartsgränser och geometriskt bestämma läge och/eller orientering av dessa. Borrprogrammets omfattning kan inte specificeras i förhand, beroende på att förhållandena på platsen, såsom jordtäckning och bergets homogenitetsgrad har en mycket stor betydelse för detta. Som en vägledning kan dock borrprogrammet antas omfatta tio till tjugo kärnborrhål och ungefär lika många hammarborrhål.

Hammarborrhål utförs vanligtvis ner till maximalt 200 meter och kärnborrhål oftast till djup mellan 500 och 1000 meter. Borrhålen riktas vanligen inom intervallet från vertikalt (90°) till omkring 50° från horisontalplanet. Det kan finnas anledning att borra korta kärnborrhål liksom det kan bli aktuellt att borra djupare hål än 1000 meter på den prioriterade platsen eller i den regionala omgivningen.

Av de nämnda borrhålstyperna är det *kärnborrhålen* som ger den övervägande informationen för den geovetenskapliga karakteriseringen. Sannolikt kommer alla djupare kärnborrhål att borraras med den s k wireline-tekniken, vilken innebär att borrhålets kärna lyfts upp med hjälp av en wire och borrhålets sträng endast behöver lyftas när borrhålets kärna behöver bytas.

För att begränsa de negativa effekterna av att spolvattnet genom sitt höga tryck intränger in i bergformationen kommer erfarenheterna från Äspölaboratoriet att utnyttjas /Almén och Zellman, 1991/. Således kommer kärnborrning att utföras med s k teleskopborrningsmetoden vilket dels innebär att borrhålets översta ca 100 meter har en större diameter och dels att man genom s k mammutpumpning i denna övre del av hålet försöker minska utträngen av spolvatten och borrhålets kärna i berget. Vidare kommer spolvattnet att tas från ett borrhål i närheten och förvaras i tätslutande tankar med kvävgasövertryck för att hindra syre att lösas i vattnet. Innan vattnet används som spolvatten märks det med spårämnet uranin.

Olika *spolvattenparametrar* (spolvattenflöde, spolvattentryck, returvattenflöde, uraninnehåll och avsänkning) och borrhstekniska parametrar (främst borrhstjunkning) kommer att registreras. Dessa registreringar ger en tidig information om exempelvis var vattenförande sprickzoner och större sprickor penetreras, vilket är betydelsefullt inte minst för att kunna besluta om uppehåll för vattenprovtagning och hydraulisk testning. Dessa registreringar ger också god möjlighet att beräkna hur stor andel av spolvatten som blivit kvar i berget.

Vattenprovtagning i samband med borrhning kommer således att genomföras framförallt när vattenförande sprickzoner och enskilda större sprickor penetreras (vilket kan indikeras från spolvattenparametrar och borrhkärla). Som komplement till detta kan vattenprover tas med jämna intervall, t ex varje 100-tal meter. Grundvattenkemin är som tidigare nämnts mycket känslig för störningar, inte minst genom den kontaminering som kan ske genom omblandning med främmande vatten från ytan eller från andra delar av berggrunden, orsakat av att borrhålet fungerar som en hydraulisk kortslutning. Ju längre tid som förlupit efter borrhning desto längre in i spricksystemen kan kontamineringen verka. Vattenprovtagning direkt i samband med borrhning anses vara den bästa metoden för att få ostörda grundvattenprover eftersom borrhålets kortslutande effekt då endast verkar under mycket kort tid. Provtagning under borrhning förutsätter att en ändamålsenlig och robust provtagningsutrustning och -metodik används. Borrhning med wirelineteknik medför att både vattenprovtagning och hydrauliska tester kan utföras på ett tids-effektivare sätt i och med att test- och provtagningsutrustningen kan sänkas ner i borrhsträngen.

Vid provtagning i samband med borrhning begränsas analysprogrammet till att omfatta ett färre antal kemiska parametrar. Det innebär att provtagning i samband med borrhning aldrig kan ersätta den mer fullständiga kemiska karakteriseringen, som senare kommer att genomföras. Vattenprovtagningarna under borrhning kommer att kombineras med enklare hydrauliska tester.

Även om startriktningen vid borrhning är noggrant inställd är det normalt att ett borrhål avviker mer eller mindre från den planerade riktningen. Denna krökning kan exempelvis bero på berggrundens skiffrihet, dominerande sprickriktningar eller annan mekanisk anisotropi i bergmassan. Borrhålskrökning (deviation) mäts med hjälp av speciella borrhålssonder. För borrhål vars riktning är särskilt väsentlig bör deviationen mätas och justeras regelbundet under pågående borrhningen (styrd borrhning).

Vid sidan om god kännedom om borrhålets krökning är det väsentligt att vid varje mätning i borrhålet veta exakt hur djupt (eller snarare vid vilken borrhålslängd) man befinner sig. Detta är speciellt viktigt vid samtolkning av flera mätparametrar. SKB har utvecklat en metod för längdkalibrering där man i samband med borrhning fräser in referensspår i borrhålssväggen som kan detekteras vid de efterföljande mätningarna i borrhålet.

De typiska undersökningar som beskrivs i det följande utförs främst i kärnborrhål, medan undersökningarna i de hammarborrade hålen oftast begränsas till ett färre antal metoder, främst av den anledningen att dessa hål i högre grad än kärnborrhålen borrar för ett specifikt syfte, t ex för att bekräfta en sprickzons stupning eller för att installeras med manschetter för långtidsmonitoring av ytliga grundvattentrycknivåer.

4.3.3 Geologiska och geofysiska undersökningar

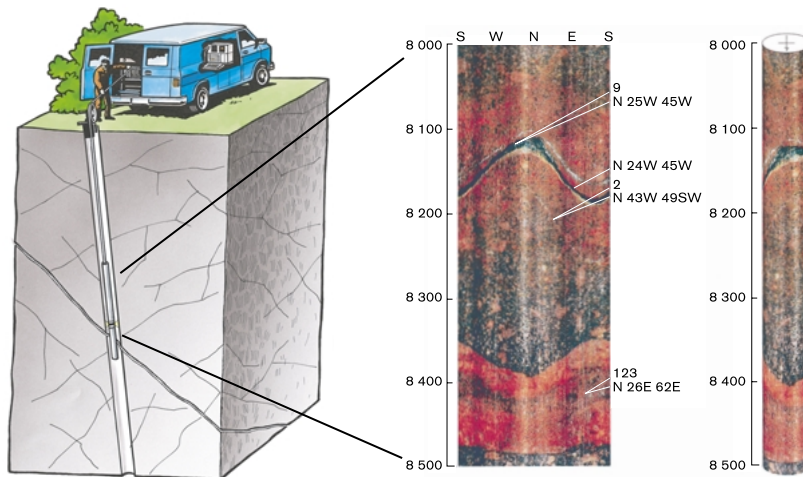
Yttäckande undersökningar

Geologisk berggrundskartering sker framförallt genom studier av berghällar. Vidare används vägsårningar där friläggning av bergytan ofta ger god information om bergarter och sprickor. Kartering av för ändamålet frilagda ytor kan vara aktuellt för att erhålla statistik på sprickors orientering och längder. Kartläggning av jordtäcket görs med traditionella metoder där flygbilder används som underlag och där sondering och provtagning görs för att bestämma jordarter, lagerföljder och jorddjup. Lineamenttolkning från digitala topografiska databaser är ofta en bra metod för identifiering av områdets regionala sprickzoner, och är ett komplement till tolkning av flyggeofysiska kartor. Om *flyggeofysiska mätningar* saknas bör ett sådant mätprogram genomföras. Som exempel kan nämnas att magnetiska och radiometriska metoder är användbara för beskrivningen av bergarter. Magnetiska metoder är tillsammans med elektromagnetiska metoder dessutom användbara för att identifiera regionala och lokala större sprickzoner.

Exempel på *markgeofysiska mätningar* som kan bli aktuella är *refraktionsseismik*, vilken lämpligen används för att i fält kontrollera de preliminära tolkningarna av regionens större brantstående sprickzoner. Exempel på andra markgeofysiska mätningar som kan bli aktuella är metoderna *gravimetri*, med vilken större bergenheter med olika densitet (t ex granitkroppar eller grönstenar) kan identifieras, och *resistivitetsmätning*, med vilken olika bergenheters bulkresistivitet kan bestämmas. Denna egenskap beror av bergets porositet som i sin tur speglar sprickigheten. Ytterligare exempel är *elektrisk sondering* och *transient elektromagnetisk sondering*, som användas för att spåra resistivitetsförändringar mot djupet, vilka kan bero på förekomst av större subhorisontella sprickzoner med förhållandevis hög porositet eller på förekomst av saltare grundvatten. Framförallt om resultaten kan kalibreras mot provtagning i ett borrhål kan det salta grundvattnets utbredning över ett större område bestämmas. *Reflektionsseismik* används speciellt för att spåra eventuell förekomst av större subhorisontella sprickzoner på djupet, vilket är mycket svårt med markbaserade metoder. Förekomst av flacka zoner är en viktig kunskap, eftersom dessa kan begränsa utnyttjandet av berget om de förekommer på olämpligt djup och har ogynnsamma egenskaper. Metoden ger för övrigt ett bra grundmaterial för tolkning av andra större sprickzoners förekomst och orientering mot djupet men dock ej av deras egenskaper vilka måste bestämmas genom borrhning. Utfallet av de reflektionsseismiska mätningarna utgör därför ett bra underlag för att detaljplanera det fortsatta borrh- och undersökningsprogrammet.

Bedömning av eventuell förekomst av *indikationer på neotektoniska rörelser* görs i samband med den geologiska kartläggningen. Analys av geodetiska data från GPS-nät och precisionsavvägningar är exempel på andra metoder som kan användas i syfte att studera eventuella långsamma tektoniska rörelser. Vidare bedöms det vara lämpligt att etablera ett seismologiskt registreringsnät, även om sådana registreringar inte förväntas ge direkt användbara platsspecifika data av det skälet att seismiska händelser av nämnvärd storlek sannolikt inte kommer att inträffa /SKB, 1999a/ under den förhållandevis korta period som platsundersökningarna pågår.

Om en stor eller övervägande andel av bergytan är jordtäckt måste den information som annars kan fås genom kartering av bergytan åtminstone till viss del ersättas av provtagning genom *korthålsborrning till bergytan*. Tillsammans med jordsondering används sådan borrhning också för att bestämma jordlager och jorddjup. Geofysiska metoder såsom *markradar* kan också användas för att kartlägga jordlager och bergytans läge. Konventionella geotekniska undersökningar kommer att användas för att lokalisera lämpliga markförhållanden för infrastruktur ovan mark samt etableringsområden.



Figur 4-1. Borrhåls-TV (BIP, Borehole Image Process) används tillsammans med borrhålsradar och andra geofysiska metoder för karakterisering av bergarter och strukturer.

Undersökningar från borrhål

I det färdiga borrhålet videofilmas borrhålsväggen med det s k BIP-systemet och därefter utförs geofysiska loggningar (radiometriska, elektriska, magnetiska, akustiska metoder och temperatur) samt undersökningar med radar och seismiska metoder, se figur 4-1.

Basen för den geologiska kartläggningen längs borrhålet består i att karteringen av borrhålskärnan görs integrerat med analysen av BIP-bilderna från videoinspelningen, en metodik som benämns *BOREMAP*. Metoden bygger på att de geometriska komponenterna (bergartsgränser samt sprickors läge och orientering) tas från BIP-bilden medan bergartsinformation och sprickytors egenskaper (sprickmineral, ytstruktur, m m) hämtas från borrhålskärnan.

Den geologiska karakteriseringen av borrhålet kompletteras med *laboratorieanalyser av kärnprover*. Mikroskopiska och petrofysikaliska metoder används för analys av bergarter, sprickmineral och kemisk sammansättning, respektive bestämning av densitet, porositet, magnetisk susceptibilitet, m m. Vid hammarborrning kontrolleras färg på borrhålskaxet som kommer upp och rutinmässiga prover på detta tas för okulär besiktning och vid behov görs också laboratorieanalyser.

De *geofysiska borrhålsloggarna* ger kompletterande indirekt information om bergets fysikaliska egenskaper. Exempelvis bestäms berggrundens naturliga radioaktivitet av dess innehåll av radioaktiva isotoper, främst uran, torium och kalium, vars förekomst i sin tur beror på bergartens petrologiska sammansättning. Mätning av naturlig gammastrålning kan hjälpa till att avgränsa olika bergarter, vilket ibland kan vara svårt med blotta ögat. Andra radiometriska metoder där radioaktiva strålkällor används är neutron (porositet) och gamma-gamma (densitet). Av elektriska metoder används resistivitetmetoder för att spegla variationer i berggrundens sprickighet längs borrhålet, varvid enskilda sprickor kan detekteras eller genomsnittlig porositet (bulkresistivitet) bestämmas, beroende på hur elektroderna arrangeras geometriskt i borrhål och på markyta. Andra geofysiska loggningsmetoder är sonic och magnetisk susceptibilitet, samt temperatur och borrhålsvätskans elektriska konduktivitet. De geofysiska loggningsresultat enligt ovan utgör stödjande information för den karterande geologen men används också vid hydrogeologisk och bergmekanisk tolkning.

Borrhålsradar är framförallt användbar för att lokalisera och bestämma orienteringen för lokala större och lokala mindre sprickzoner, bergartsgångar m m, i en omgivning som i gynnsamma fall omfattar upp till 100 meter avstånd från borrhålet. *Seismiska metoder* har oftast möjlighet att detektera motsvarande strukturer på ännu större avstånd men då med sämre detaljupplösning. VSP (Vertical Seismic Profiling) har visat sig vara en lämplig metod att använda i anslutning till reflektionsseismiska mätningar varvid samtolkning ger goda möjligheter att indikera förekomst och utbredning av större sprickzoner i en relativt stor bergvolym. Metoderna kompletterar varandra vid bestämningen av strukturer, dels genom den nämnda skillnaden i räckvidd och upplösning men också för att metoderna utnyttjar olika egenskaper i berget (elektriska respektive mekaniska) och därför är gynnsamma under olika förutsättningar.

I SKB:s integrerade system för geologisk *borrhålsdokumentation* (GBD) presenteras resultaten från geologiska och geofysiska undersökningarna med fördel i sk composite-diagram med hjälp av ett anpassat WellCAD-system (figur 4-2). Valfritt antal parametrar kan presenteras, liksom statistiskt bearbetad information. Pappersutskrifter av kontinuerlig BIP-registrering från ett helt borrhål ger en mycket användbar grunddokumentation av borrhålet, och ger vid sidan av GBD-resultaten en god visuell uppfattning om borrhålet (figur 4-1), till stor nytta vid planering av olika slags efterföljande mätningar i borrhålet.

De geologiska parametrar som ska bestämmas sammanfattas i tabell 4-2.

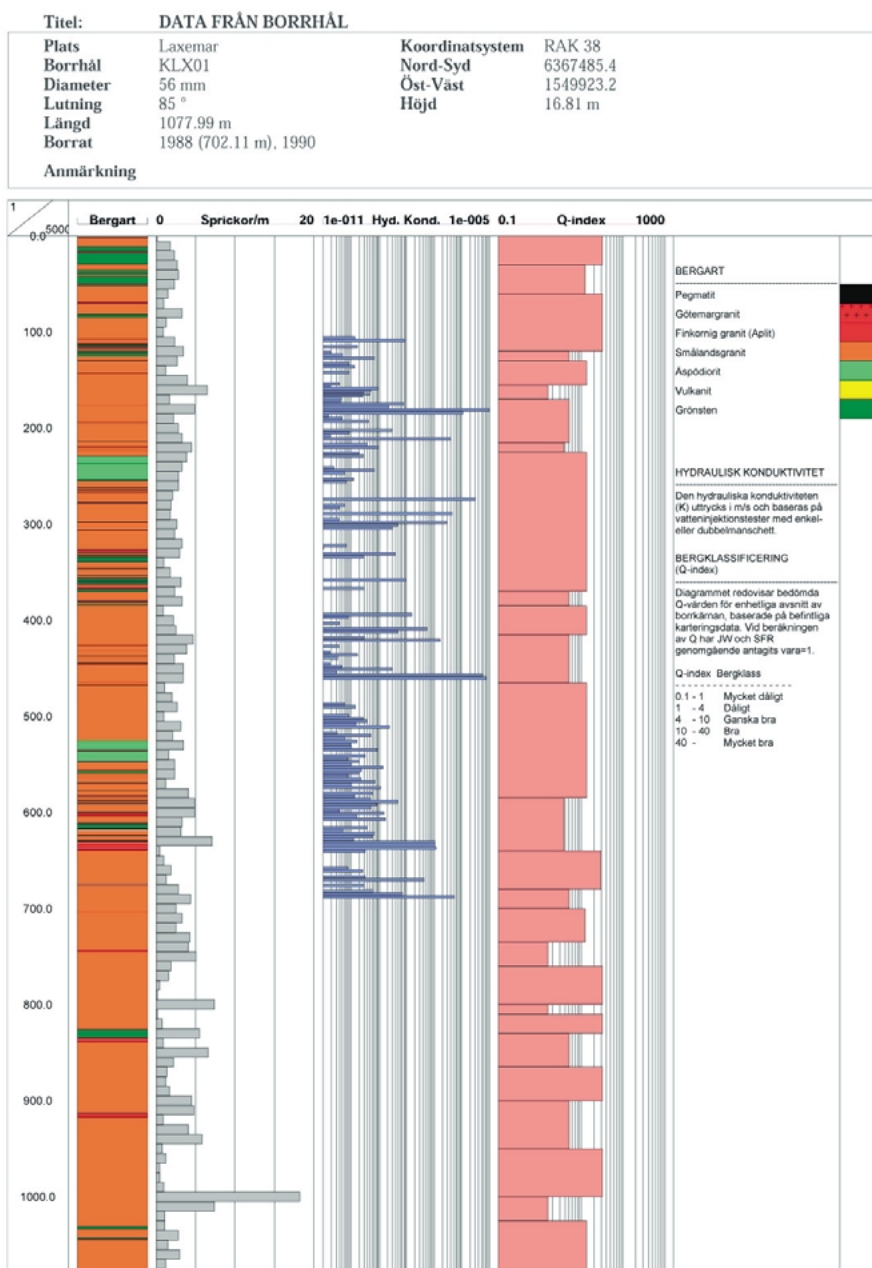
4.3.4 Hydrogeologiska undersökningar

Den hydrauliska egenskap som kräver störst undersökningsinsatser är bergets vattengenomsläpplighet. Vanligen representeras vattengenomsläppligheten i bergmassan med parametern hydraulisk konduktivitet, medan vattengenomsläppligheten i de sprickzoner och större sprickor som betraktas som enskilda flödeselement representeras med parametern transmissivitet. En sprickzons transmissivitet är detsamma som dess hydrauliska konduktivitet multiplicerat med zonens hela tjocklek. Zonernas vattengenomsläpplighet uttryckt som hydraulisk konduktivitet är vanligtvis två till tre storleksordningar större än bergmassans /se t ex Ahlbom m fl, 1992a,b,c/.

Bergmassans och zonernas vattengenomsläpplighet bestäms genom sk *hydrauliska tester*, med vilka man genom vatteninjektion eller pumpning stör den rådande trycknivå-situationen i bergformationen och mäter den hydrauliska responsen, figur 4-3. Dessa tester görs framförallt som *enhålstester*, oftast för en avgränsad borrhålssektion i taget. Avgränsningen sker med hjälp av gummimanschetter. Sektionsvisa bestämningar av vattengenomsläppligheten utförs därefter längs hela borrhålet. Testerna utförs med olika långa borrhålssektioner för att få kunskap om vattengenomsläpplighetens skalberoende. Tester mellan två eller flera borrhål, sk *interferenstester*, görs för att karakterisera enskilda sprickzoner eller en hel bergvolym i en större skala.

Vattengenomsläpplighetens rumsliga variation medför att relativt många mätningar måste utföras systematiskt i borrhål för att få en god säkerhet i denna parameters statistiska egenskaper på varje undersökningsområde.

Följande undersökningar kommer att användas under platsundersökningsskedet, dock inte alla metoder i samtliga borrhål. I det tidigare nämnda programmet för borrhålskarakterisering kommer sannolikt några av dessa hydrauliska metoder att ingå, vilket kommer att utvecklas ytterligare i de ämnesspecifika programmen som SKB kommer att redovisa vid senare tillfälle. Metoderna presenteras i den ordning de oftast kommer att användas:



Figur 4-2. Exempel på redovisning av geologisk borrhålsdokumentation (GBD) med hjälp av sk WellCAD-presentationer. Valfritt antal parametrar kan presenteras.

Hydrauliska tester i samband med borrhning

Hydrauliska tester i samband med borrhning ger tidig information. Dessa tester utförs oftast i samband med vattenprovtagning under borrhning, d v s när vattenförande sprickor penetreras och vid jämna borrhålsintervall, t ex 100 meter. De genomförs som pumpstester. Vidare är det lämpligt att mäta grundvattnets trycknivå i samband med dessa tester, eftersom borrhålets kortslutande effekter då ännu inte hunnit fortplantas långt ut i berget.

Tabell 4-2. Sammanställning av geologiska parametrar som kommer att bestämmas i olika skeden. Inledande platsundersökning (IPLU) och komplett platsundersökning (KPLU) tillhör platsundersökningsskedet och föregås av förstudier (FS) och följs av detaljundersökningar (DETU).

Parametergrupp	Parameter	Bestäms huvudsakligen under			
		FS	IPLU	KPLU	DETU
Topografi	Topografi	x	x		
Jordtäcke	Jordtäckets mäktighet		x	x	
	Jordartsfördelning	x	x		
	Jordartsbeskrivning		x		
	Jordmån		x		
	Bottensediment		x	x	
	Indikation neotektonik		x		
Berggrund					
Bergarter					
Förekommande bergarter	Bergartsfördelning (rumslig och procentuell)	x	x	x	x
	Xenoliter			x	x
	Bergartsgångar	x	x	x	x
	Bergartskontakter		x	x	x
	Ålder			x	
	Malmpotential-industrimineral	x	x		
Bergartsbeskrivning	Mineralogisk sammansättning		x	x	x
	Kornstorlek			x	x
	Mineralorientering			x	x
	Mikrosprickor			x	x
	Densitet		x	x	
	Porositet			x	
	Susceptibilitet, gammastrålning m m		x		
Mineralogisk omvandling/vittring		x	x	x	
Berggrund					
Strukturer					
Plastiska strukturer					
Veck	utbredning/ålder		x	x	x
Foliation	utbredning/ålder		x	x	x
Stänglighet	utbredning/ålder		x	x	
Ådring	utbredning/ålder		x	x	
Skjuvzoner	utbredning/ålder	x	x	x	
	egenskaper	x	x	x	
Spröda strukturer					
Regionala och lokala större sprickzoner	Läge	x	x	x	
	Orientering		x	x	
	Längd	x	x	x	
	Zonbredd		x	x	
	Rörelser (storlek, riktning)			x	
	Ålder			x	
	Egenskaper (antal sprickgrupper, sprickavstånd, blockstorlek, sprickkaraktär, sprickfyllnad (sprickmineral), vittring/omvandling)		x	x	x

Fortsättning på nästa sida

Tabell 4-2. Fortsättning från föregående sida

Parametergrupp	Parameter	Bestäms huvudsakligen under			
		FS	IPLU	KPLU	DETU
Lokala mindre sprickzoner	Läge/densitet		x	x	x
	Orientering			x	x
	Längd		x	x	x
	Zonbredd			x	x
	Rörelser (storlek, riktning)			x	x
	Ålder			x	x
	Egenskaper (antal sprickgrupper, sprickavstånd, blockstorlek, sprickkaraktär, sprickfyllnad (sprickmineral), vittring/omvandling)			x	x
Sprickor – data för stokastisk beskrivning	Densitet (olika grupper)		x	x	x
	Orientering		x	x	x
	Längd		x	x	x
	Kontaktmönster			x	x
	Sprickvidd			x	x
	Råhet			x	x
	Vittring (omvandling)			x	x
	Sprickfyllnad (sprickmineral)			x	x
Ålder			x	x	

Pumptest i öppet hål och flödesloggning

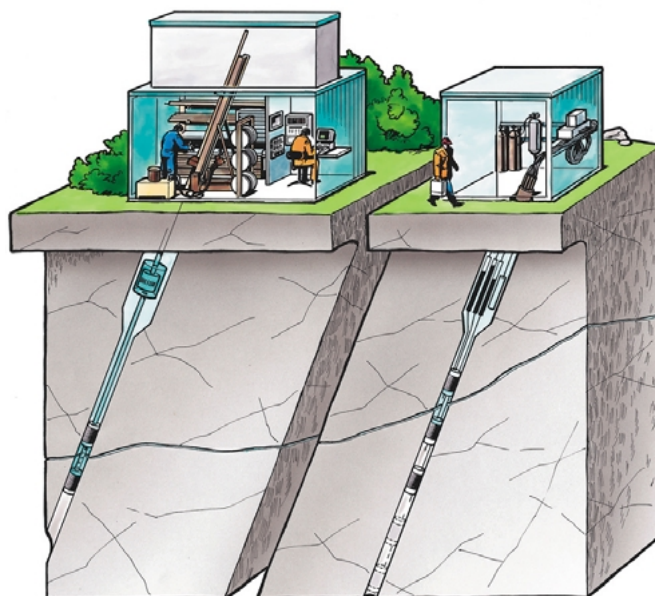
Pumptest i öppet hål ger ett genomsnittligt värde för vattengenomsläppligheten i borrhålskanalen 500–1000 meter, medan flödesloggningen ger dels information om fördelningen av vattenförande zoner längs med borrhålet, dels enskilda värden för de större zonerna. Flödesloggning kombineras med mätning av elektrisk konduktivitet och temperatur vilket förbättrar möjligheten att lokalisera läget för de vattenförande zonerna. Vid pumptesten tas även vattenprover i lämplig omfattning.

Hydrauliska injektionstester

Hydrauliska injektionstester utförs genom att vatten injiceras ut i berget i korta borrhålssektioner avgränsade av manschetter. Testerna utförs systematiskt med lämpliga manschettavstånd. Vid förundersökningarna för Äspölaboratoriet gjordes injektionstester i 30 meter och 3 meter långa borrhålssektioner, varav 30-meter testerna gjordes i tre hål och 3-meter testerna i 8 hål. Genom att studera testernas tidsberoende utseende kan information om flödesregim (linjärt, radiellt eller sfäriskt flöde) också erhållas förutom vattengenomsläpplighet. I figur 4-4 ges exempel på resultat från injektionstester i 20–25 meter långa borrhålssektioner i SKB:s typområden Kamlunge och Klipperås. Vilka skalor som kommer att användas vid platsundersökningarna kommer att behandlas i kommande ämnesprogram för hydrogeologi. Metoden kan i viss utsträckning komma att ersättas av differensflödesloggning.

Differensflödesloggning

Vid differensflödesloggning mäts flödet från en avgränsad borrhålssektion (till skillnad från vanlig flödesloggning där man mäter det ackumulerade inflödet på väg upp längs borrhålet). Resultatmässigt kan metoden betraktas som ett mellanting eller kombination



Figur 4-3. Exempel på hydrauliska tester.

av flödesloggning och hydrauliska injektionstester. Metoden inbegriper mätning vid olika pumpkapacitet vilket innebär att vattengenomsläppligheten kan bestämmas. En särskilt detaljerad loggning i korta steg ger också information om läget hos enskilda vattenförande sprickor. Metoden är relativt snabb och förväntas minska användningen av de mer traditionella och tidskrävande injektionstesterna.

Interferenstester

Hydrauliska tester, där tryckresponser registreras i ett antal borrhål som omger det man pumpar i, benämns interferenstester. Med interferenstester bestäms hydrauliska egenskaper för större vattenförande sprickzoner eller enheter i bergmassan. Resultatet ger bland annat information om den hydrauliska konnektiviteten i berget och är ett värdefullt hjälpmedel för att kalibrera hydrauliska simuleringar vid numerisk modellering (se avsnitt 5.1). SKB brukar genomföra interferenstester mellan manschetter och långa interferenspumptester i öppna borrhål

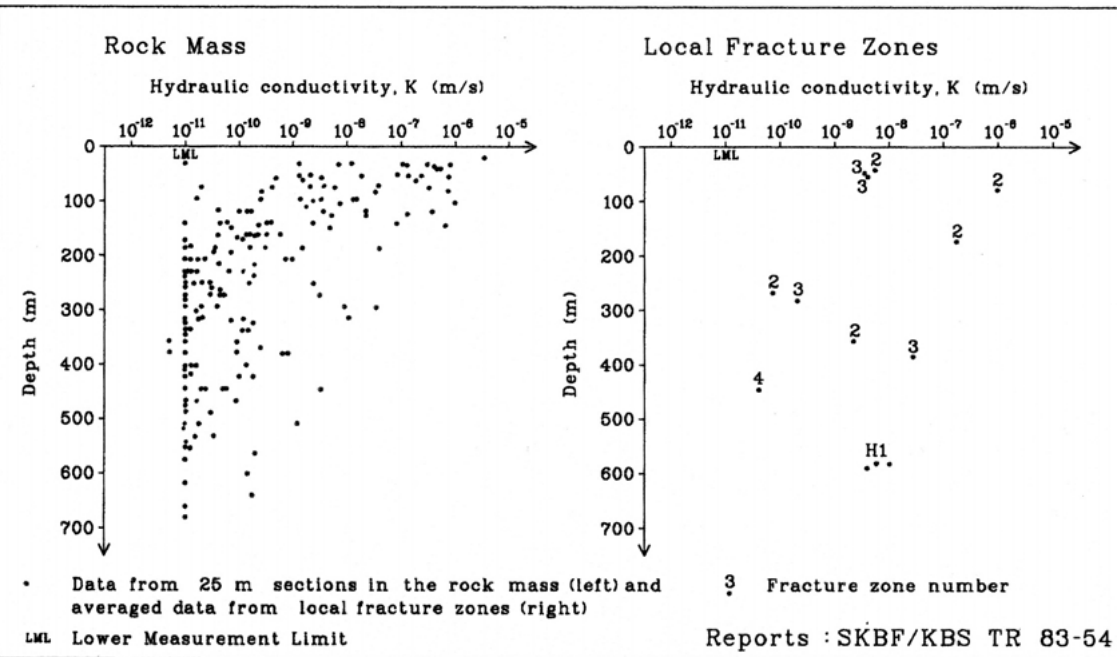
Vid *interferenstester med pumpning mellan manschetter* pumpas vatten från en större vattenförande sprickzon som avskärmats med manschetter. Pumpningen sker under relativt lång tid (oftast ett par dagar) för att trycknivåresponser ska kunna uppträda i angränsande borrhål (observationshål). Dessa är uppdelade i flera avskärmade borrhålssektioner med tillhörande registreringsinstrument för mätning av grundvattentrycknivåer. Syftet med dessa tester är dels att kontrollera/verifiera strukturens tolkade geometriska utbredning och hydrauliska konnektivitet till andra strukturer, dels att bestämma dess hydrauliska egenskaper i en förhållandevis stor skala.

Långa interferenspumptester i öppna borrhål syftar till att ge information om berggrundens hydrauliska egenskaper inom en större del av undersökningsområdet. Pumpstegen genomförs då i ett strategiskt beläget öppet borrhål, d v s utan avgränsande manschetter. Monitering av orsakad grundvattensänkning görs liksom tidigare mellan manschetter i angränsande borrhål. Från dessa tester kan den genomsnittliga vattengenomsläppligheten för berggrunden i området beräknas.

KAMLUNGE

Site Characterization

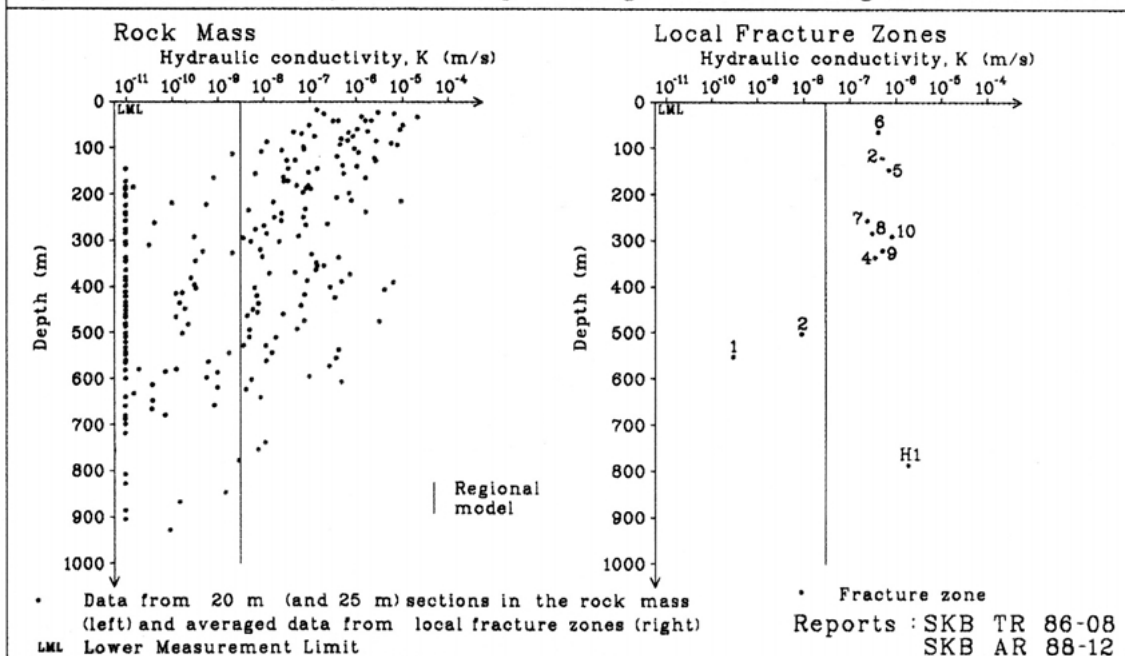
Hydraulic Conductivity Versus Depth



KLIPPERÅS

Site Characterization

Hydraulic Conductivity Versus Depth - Regional and Subregional Models



Figur 4-4. Exempel på resultat från hydrauliska injektionstester. Mätningarna härrör från SKB:s typområdesundersökningar i Kamlunge och Klipperås /Ablbom m fl, 1992a,b/.

Interferenstester kan kombineras med spår försök, vilket innebär ett eller flera spårämnen injiceras i någon eller några av observationspunkterna (kontinuerligt eller i form av pulser). Under pumpningens gång registreras sedan ämnens koncentration i pumphålet och, om möjligt, var inflöden sker i pumphålet.

För att det ska vara meningsfullt att genomföra interferenstester och spår försök måste den berörda bergvolymen vara fri från andra hydrauliskt störande aktiviteter om testerna ska kunna tolkas korrekt, en aspekt som i princip gäller för alla hydrauliska tester. Det är dock särskilt betydelsefullt för dessa långvariga tester, eftersom de också inbegriper en stor undersökningsvolym, vilket ställer extra stora krav på planering och samordning.

In-situ mätning av grundvattenströmning

Det finns även metoder för *in-situ mätning av grundvattenströmning*, vilka kan användas för kalibrering och/eller kontroll av numeriska modellberäkningar av grundvattenflöde. Den så kallade utspädningsmetoden går ut på att mäta utspädningen av ett spårämne som injiceras i en avgränsad borrhålssektion. Under förutsättning att metoden utförs under ostörda förhållanden bestäms utspädningen av det genom sektionen genomströmmande grundvattnet varur också strömningshastigheten ute i berget kan uppskattas. Olika tillämpningar finns för metoden, där exempelvis tester i korta sektioner ger information om enskilda vattenförande zoner, även mindre sådana.

Hydrauliska undersökningar i jord

Jordlagers hydrauliska egenskaper (vattengenomsläpplighet med mera) uppskattas indirekt genom kännedom om jordtyp eller bestäms genom analys av prover, infiltrationsförsök och pumptester.

Monitering av grundvattenyta och grundvattentryck

Monitering av grundvattentyta i öppna borrhål och *grundvattentryck* i manschetterade borrhålsavsnitt bör inledas så tidigt som möjligt efter det att borrhålsundersökningarna utförts. Informationen används bland annat för att bestämma randvillkor och för att kalibrera framtagna grundvattenmodeller (se avsnitt 5.1). I samband med hydrauliska tester finns möjlighet att mer eller mindre noggrant bestämma grundvattentrycket i de sektioner som testas. Beroende på mätsystem görs detta antingen genom att bestämma den relativa tryckfördelningen längs borrhålet eller genom mätning av absoluta tryck.

Moniteringssystemet kan också användas för registrering av eventuella hydrauliska störningar, t ex i samband med borrhning av nya hål. Informationen kan då användas tillsammans med data från själva borrhningen för att identifiera vattenförande zoner, d v s moniteringen kan nyttjas som en enkel form av interferenstest.

Om det förekommer salt grundvatten, vilket är relativt vanligt på större djup, måste man ta hänsyn till detta vid de flesta hydrauliska testers utförande, men särskilt vid tryckbestämning, pumptester och flödesloggning utan manschetter. Det salta grundvattnet kan innebära att vattenpelaren i borrhålet har en densitet som avviker från grundvattnets densitet i omgivande berg. Det är speciellt vid tester som innehåller pumpning från öppet hål som man måste ta hänsyn till eventuell förflyttning av gränsskiktet mellan sött och salt grundvatten. Även vid tryckmätning är det väsentligt att ta hänsyn till förekomst av salt grundvatten.

Förutom monitorering av grundvattenyta och grundvattentryck i borrhål sker även *monitoring av meteorologiska och hydrologiska parametrar*. Data om nederbörd, temperatur, lufttryck, snödjup, avrinningsområden, flöden i vattendrag etc, införskaffas antingen från registreringar i närheten eller genom egen mätning av dessa parametrar.

Kartläggning av det regionala strömningsmönstret

Det regionala strömningsmönstret beräknas väsentligen utifrån topografi, historisk strandlinjeförskjutning, tolkad grundvattenbildning och tolkade hydrauliska egenskaper i regional skala. Data samlas även in för att bedöma om de beräknade strömningsmönstren är rimliga. Betydande in- och utströmningsområden kartläggs i regional skala. Kemisk vattenprovtagning och hydrauliska tester i ett eller ett fåtal djupa borrhål placerade utanför den prioriterade platsen kan komma att genomföras. Antal hål och placering av dessa styrs av resultaten av den inledande regionala flödesmodelleringen.

De hydrogeologiska parametrar som ska bestämmas under platsundersökningsskedet sammanfattas i tabell 4-3.

4.3.5 Hydrogeokemiska undersökningar

De hydrokemiska undersökningarna syftar till att undersöka grundvattnets (kemiska) sammansättning. Bergets kemiska sammansättning (främst bergarter och sprickmineral) bestäms huvudsakligen inom geologiprogrammet. Provtagning och analys kommer att genomföras enligt väletablerade rutiner som för ändamålet utarbetats av SKB /SKB, 1998/. Karakteriseringen baseras framförallt på data från djupa kärnborrhål, hammarborrhål, befintliga brunnar och källor samt i viss mån även ytvatten. Insatserna fokuseras på den prioriterade platsen, men vattenprov i borrhål utanför denna används för att få en bild av den storskaliga fördelningen (regionala trender) av grundvattnets sammansättning.

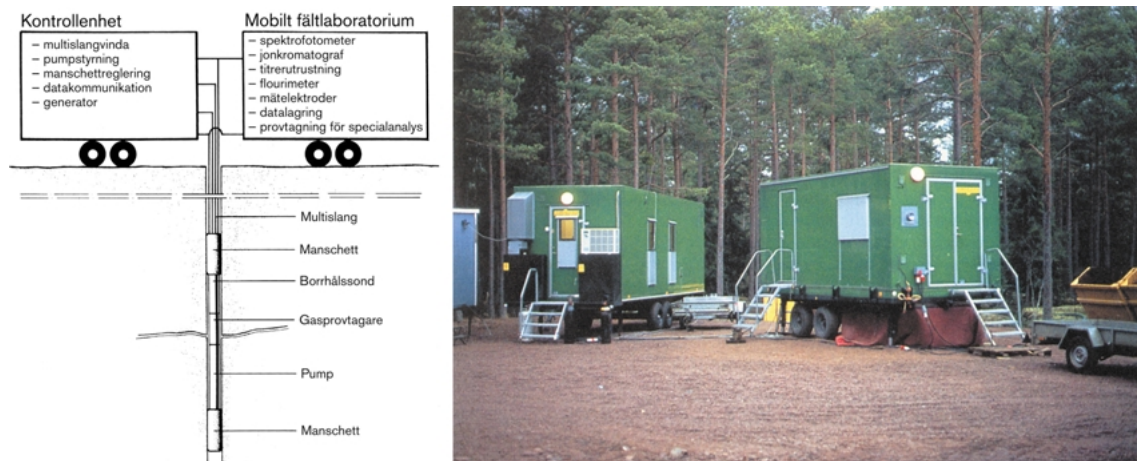
Den grundvattenkemiska karakteriseringen är mycket beroende av att provtagningar genomförs på rätt plats och vid rätta tillfällen samt av att den genomförs på rätt sätt. Genomförandet är som tidigare berörts mycket känsligt för störningar. Dels kan tagna vattenprover vara uppblandat med främmande vatten trots att provtagningen som sådan genomförts korrekt och väl kontrollerat. Detta kan bero på att spolvatten trängt in i berget under så lång tid att provtagningsförfarandet inte kunnat kompensera för detta. Det kan också bero på att ett borrhål åstadkommit en kortslutning mellan olika grundvattenförande enheter. Om så är fallet kan vattenprovet bestå av ett icke representativt blandvatten. Felaktiga vattenprover kan orsakas av dålig provtagningsmetodik, felaktigt utförande eller bristfällig provhantering. Alla dessa problemområden måste hanteras och bemästras.

Grundvattenkemisk provtagning i samband med borrhning har som huvudsyfte att ta vattenprover innan platsen respektive det aktuella borrhålet utsatts för långvarig störning. Vid vattenprovtagning i samband med borrhning kan en relativt stor mängd vattenprover tas med en god spridning över den undersökta platsen. På dessa vattenprover kan dock endast ett begränsat antal kemiska parametrar bestämmas, främst därför att provtagningsmetodiken inte medger tillförlitlig analys av vissa parametrar. Därför måste också ett mer avancerat provtagningsprogram genomföras, s k fullständig hydrokemisk karakterisering, med användande av SKB:s mobila provtagnings- och analyssystem, se nedan.

Tabell 4-3. Sammanställning av hydrogeologiska parametrar som kommer att bestämmas i olika skeden. Inledande platsundersökning (IPLU) och komplett platsundersökning (KPLU) tillhör platsundersökningsskedet och föregås av förstudier (FS) och följs av detaljundersökningar (DETU).

Parametergrupp	Parameter	Bestäms huvudsakligen under			
		FS	IPLU	KPLU	DETU
Deterministiskt modellerade sprickzoner	Geometri – regionala och lokala sprickzoner (se geologitabell)	x	x	x	x
	Deterministisk eller statistisk fördelning av transmissivitet eller av hydraulisk konduktivitet		x	x	x
	Magasinskoefficient		(x)	x	x
Stokastiskt modellerade sprickzoner och sprickor samt bergmassa	Geometri – bergvolymmer med likartade hydrauliska egenskaper	(x)	x	x	x
	Statistisk beskrivning av sprickzonernas och sprickors rumsliga fördelning och geometriska egenskaper. Statistiska fördelningar på transmissivitet		x	x	x
	Statistiska fördelningar på hydraulisk konduktivitet		x	x	x
	Statistiska fördelningar på specifik magasinskoefficient och magasinskoefficient		(x)	x	x
Jordlager	Geometri – jordvolymmer med likartade hydrauliska egenskaper		x	x	
	Hydraulisk konduktivitet		(x)	x	
	Specifik magasinskoefficient		(x)	x	
Grundvattnets hydrauliska egenskaper	Densitet, viskositet och kompressibilitet		x	x	x
	Salinitet		x	x	x
	Temperatur		x	x	
Randvillkor och stödjande data	Meteorologiska och hydrologiska data	x	x	x	(x)
	In/utströmningsområden		x	x	x
	Tryck eller tryckhöjd i borrhålsektioner och ytvattendrag.		x	x	x
	Grundvattenflöde genom borrhål		(x)	x	x
	Regionala randvillkor, historisk och framtida utveckling		x	x	(x)

Hydrokemisk loggning kallas en förhållandevis enkel och snabb metod att ta vattenprover utmed ett helt borrhål. Metoden går ut på att en slang sakta sänks ner längs borrhålet varvid vatten hela tiden strömmar in genom slangmynningen. Den vattenpelare som då byggs upp inne i slangen motsvarar vattenpelaren ute i borrhålet. Eftersom slangen är skarvad med jämna mellanrum, t ex varje 50 meter och försedd med backventil, hålls vattnet kvar inne i de avgränsade slangintervallen när slangen lyfts upp till markytan igen. Slangsektionerna töms och proverna kan analyseras. Metoden ger en förhållandevis snabb möjlighet till typklassning, men en väsentlig begränsning är att endast vatten från det öppna borrhålet kan tas, vilket inte nödvändigtvis representerar vattnet inne i berget på samma nivå.



Figur 4-5. SKB:s mobila hydrokemiska provtagnings- och analysystem.

Den *fullständiga hydrokemiska karakteriseringen* som genomförs med SKB:s mobila provtagnings- och analysystem (figur 4-5) är mer omfattande och därmed avsevärt mer tidskrävande. Den genomförs därför i ett begränsat antal borrhål, vilka väljs strategiskt över hela platsen så att grundvattnets kemiska egenskaper i vattenförande sprickzoner, enskilda sprickor och bergmassa, kan bestämmas med god säkerhet. Detta provtagningsprogram fokuseras på bergenheter med vattengenomsläpplighet i intervallet 10^{-6} – 10^{-8} m/s, vilket huvudsakligen innebär grundvatten från enskilda sprickor eller lokala mindre sprickzoner. Detta vatten bedöms vara det som kommer i kontakt med djupförvarets tekniska barriärer (bentonit och kapsel). Provtagningen görs från avgränsade borrhålssektioner och Eh och pH mäts med elektroder i provtagningssektionen. In situ-mätningen av dessa parametrar görs för att utesluta möjligheten till förändringar betingade av att vattnet under sin transport upp till markytan kan kontamineras av bland annat syre eller förändras av trycksänkningen. Syre kan nämligen diffundera in genom rör och slangar, speciellt som de låga vattenflödena (ofta mindre än 0,1 l/minut) medför relativt långa uppehållstider. Det uppumpade vattnet analyseras dels i det mobila fältlaboratoriet, dels på externa vattenlaboratorier. Trycksatta vattenprover tas även direkt nere vid provtagningssektionen, dels för att analysera de i vattnet lösta gaserna, dels för att kunna studera vattnets innehåll av bakterier.

Vatten från mer vattengenomsläppliga delar av borrhålen kan provtas med relativt sett enklare metoder i samband med hydrauliska pumptester, utan att för den skull göra väsentligt avkall på vattenprovernas kvalitet. Detta beror framförallt på att pumpkapaciteten är stor och vattnets uppehållstid i slangar eller rör därmed blir mycket kort. Provvattnet kan då låtas flöda genom en mätcell för registrering av Eh och pH innan det kommer i kontakt med luftens syre. Denna provtagning förväntas ge i det närmaste motsvarande kvalitet som in situ-mätningen vid låg pumpkapacitet. Oftast görs samma kemiska analyser på dessa prover som för de tidigare behandlade. Skillnaden ligger däri att inga trycksatta prover tas nere vid provtagningssektionen, varför varken gas- eller bakterieinnehåll kan bestämmas.

Provtagning av ytvatten och ytligt grundvatten (källor, jordbrunnar) genomförs också för att komplettera den hydrogeokemiska karakteriseringen mot djupet i berggrunden. Dessa provtagningar och analyser är jämförelsevis okomplicerade. Detsamma gäller grundvattenkarakterisering från egna undersökningshål av enklare typ.

Ett antal provtagningspunkter från ytvatten, brunnar, grunda och djupare undersökningsborrhål väljs för uppföljande regelbunden provtagning, s k *hydrokemisk monitorering*. Avsikten med denna monitorering är att identifiera eventuella kemiska förändringar på relativt kort sikt (under platsundersökningsskedet), men framförallt för att inleda en långtidsmonitorering, vilket är speciellt viktigt för den plats som kommer att väljas för detaljundersökning. Provtagningspunkterna väljs strategiskt för att representera såväl ytligt som djupt grundvatten inom olika grundvattenmagasin. Den hydrokemiska monitoreringen samordnas med den hydrogeologiska monitoreringen.

De hydrokemiska parametrar som ska bestämmas under platsundersökningsskedet sammanfattas i tabell 4-4.

4.3.6 Bergmekaniska undersökningar

Bergmekaniska undersökningar syftar dels till att bestämma bergmassans spänningstillstånd, dels till bestämning av det intakta bergets och däri ingående naturliga sprickors deformations- och hållfasthetsegenskaper.

Mätning av bergspänningar avses göras med två olika mätprinciper, *överborrning* och *hydraulisk spräckning*. På grund av osäkerheter i båda metoderna avses de i möjligaste mån användas samordnat. Mätningarna utför dels inom ett djupintervall, t ex 100–800 meters djup för att erhålla trender mot djupet, dels inom troliga förvarsnivåer för att erhålla rumslig fördelning. De strukturgeologiska förhållandena som identifieras kommer att påverka omfattningen av mätningar.

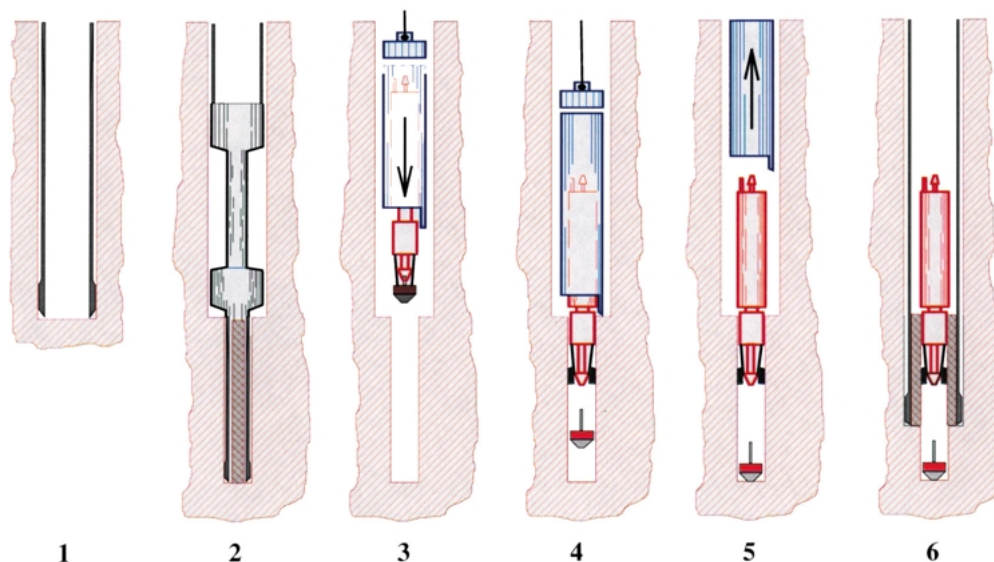
Tabell 4-4. Sammanställning av hydrogeokemiska parametrar som kommer att bestämmas i olika skeden. Inledande platsundersökning (IPLU) och komplett platsundersökning (KPLU) tillhör platsundersökningsskedet och föregås av förstudier (FS) och följs av detaljundersökningar (DETU).

Parametergrupp	Parameter	Bestäms huvudsakligen under			
		FS	IPLU	KPLU	DETU
Tillståndsvariabler	pH, Eh		x	x	x
Huvudkomponenter	TDS (summan av huvudkomponenter: Na, K, Ca, Mg, HCO ₃ , SO ₄ , Cl, Si)		x	x	x
Spårämnen	Fe, Mn, U, Th, Ra, Al, Li, Cs, Sr, Ba, HS, I, Br, F, NO ₃ , NO ₂ , NH ₄ , HPO ₄ , REE, Cu, Zr		x	x	x
Lösta gaser	N ₂ , H ₂ , CO ₂ , CH ₄ , Ar, He, C _x H _x , O ₂		x	x	x
Stabila Isotoper	² H i H ₂ O, ¹⁸ O i H ₂ O och SO ₄ , ¹³ C i DIC och DOC, ³⁴ S i SO ₄ och HS, ⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr, ³ He, ⁴ He, (Xe-isotoper, Kr-isotoper)		x	x	x
Radioaktiva Isotoper	T, ¹⁴ C i DIC och DOC, ²³⁴ U/ ²³⁸ U, ³⁶ Cl, ²²² Rn		x	x	x
Övrigt	DOC (Löst organiskt material), Humussyror, Fulvosyror, Kolloider, Bakterier		x	x	x
Sprickmineral	d ¹⁸ O d ¹³ C, ⁸⁶ Sr/ ⁸⁷ Sr, ²³⁵ U/ ²³⁸ U, morfologi i kalcit och järnoxider			x	x

Överborrningsmetoden utförs i samband med borrhning och går i princip till så att man på önskat mätdjup installerar ett antal töjningsgivare i olika riktningar i ett mindre pilothål och sedan mäter hur töjningarna i dessa givare förändras när en cylinderformad bergkärna kring pilothålet överböras och friläggs från bergets spänningsfält, se figur 4-6. Mätningarna görs normalt på minst fyra punkter per nivå för beräkning av ett medelvärde för spänningstensorn. Metoden medger tredimensionell beräkning av spänningstillståndet från uppmätta töjningar och presenterar de tre ortogonala huvudspänningarnas riktning och storlek. Metoden förutsätter att berget har en elastisk respons vid friborrning. Metoden är relativt tidskrävande men det kommer sannolikt att utföras sådana mätningar i några borrhål såväl under den inledande som under den kompletta platsundersökningen.

Hydraulisk spräckning går till så att man innesluter en borrhålssektion och sedan med vattentryck spräcker berget. Med hjälp av avtrycksmanschetter kan sedan den inducerade sprickans riktning bestämmas. För ett vertikalt hål som borrar i ett homogent berg spricker berget i normalfallet parallellt med den största horisontella spänningen, d v s uppsprickningen sker längs borrhålet. Genom att mäta det vattentryck som krävs för att hålla sprickan öppen kan man beräkna minsta spänningen i planet vinkelrätt borrhålet, normalt horisontalplanet eftersom metoden vanligen används i vertikala borrhål. Största spänningen beräknas utifrån teoretiska antaganden. Den vertikala spänningen kan inte mätas på detta sätt men kan i många fall antas motsvara den vertikala berglasten. Metoden är något snabbare att använda än överborrning och kan utföras i befintliga borrhål. Det möjliggör därför ett större antal mätpunkter. Eftersom man med denna metod injicerar vatten måste man dock vänta med mätningar tills all vattenprovtagning och känsliga hydrauliska tester utförts.

BERGSPÄNNINGSMÄTNING MED ÖVERBORRNINGSMETOD



Figur 4-6. Bildsekvens som visar utförandet av en bergspänningsmätning med överborrningsmetoden. På valt borrhålsdjup (1) borrar ett kort pilothål (2) vari mätsond med trådtöjningsgivare monteras (3-5). Vid överborrning (6) frigörs bergspänningarna vilket registreras med mätsonden. /Almén och Zellman, 1991/.

De två metoderna kombineras vanligen på olika sätt, dels i samma borrhål och dels genom att de används i olika borrhål. Under förutsättning att hydraulisk spräckning kan användas kommer fler mätningar att utföras med denna metod. Mängden kan inte avgöras i förhand men man kan räkna med att hydraulisk spräckning för hela platsundersökningsskedet utförs i ca 4-7 borrhål medan överborrning begränsas till 2-4 borrhål.

En variant på hydraulisk spräckning kallas ”*Hydraulic Tests in Pre-existing Fractures*” (*HTPF*). Som namnet antyder innebär denna metod att man med vattentryck mäter vilka tryck som råder över öppna, befintliga sprickor. Metoden förutsätter dock förekomst av minst tre sprickgrupper i stor vinkel till varandra inom ett begränsat djupintervall. Erfarenheterna av denna metod är begränsade, men den är potentiellt användbar vid förhållanden då hydraulisk spräckning ej är tillämpbar.

Höga bergspänningar, i synnerhet vid betydande anisotropi (riktningsberoende) kan indikeras redan vid kärnborrning genom att sk core-discing då kan uppträda, med vilket menas att borrhärnan brister upp i skivor. Fenomenet är bra som indikator metod, men inte tillräcklig för att med säkerhet avgöra om olämpliga spänningsförhållanden och hållfasthetsegenskaper råder.

Spänningarna i berget påverkas i hög grad av förekomsten av sprickzoner och sprickor, i vars närhet spänningarna kan variera både i storlek och riktning. Detta behöver beaktas när man placerar mätpunkter och när man utvärderar resultaten.

Mätresultaten påverkas också av mätskalan, vilken i huvudsak bestäms av den använda mätmetoden. Resultat från överborrning representerar en mindre bergvolym (storleksordning borrhålsdiameter) än resultat från hydraulisk spräckning.

Andra bergmekaniska parametrar som hanteras vid platskaraktiseringen avser mekaniska egenskaper för det intakta berget och för enskilda sprickor. Dessa parametrar bestäms dels genom kartering och *laboratorieanalyser av bergprover*, framförallt borrhärnor samt med stöd av generisk kunskap om dessa parametrar avseende deras samband och beroende av bergart.

De bergmekaniska parametrar som ska bestämmas under platsundersökningsskedet sammanfattas i tabell 4-5.

4.3.7 Bestämning av bergets termiska egenskaper

Data om bergets värmeledningsförmåga, värmekapacitet och temperaturutvidgningskoefficient bestäms framförallt utifrån kända data för de ingående bergarterna. Informationen kompletteras med direkta mätningar på borrhärna i laboratorium. I fält mäts endast bergets temperatur, som inkluderas i det geofysiska loggningsprogrammet.

De termiska parametrar som ska bestämmas under platsundersökningsskedet sammanfattas i tabell 4-6.

4.3.8 Bestämning av bergets transportegenskaper

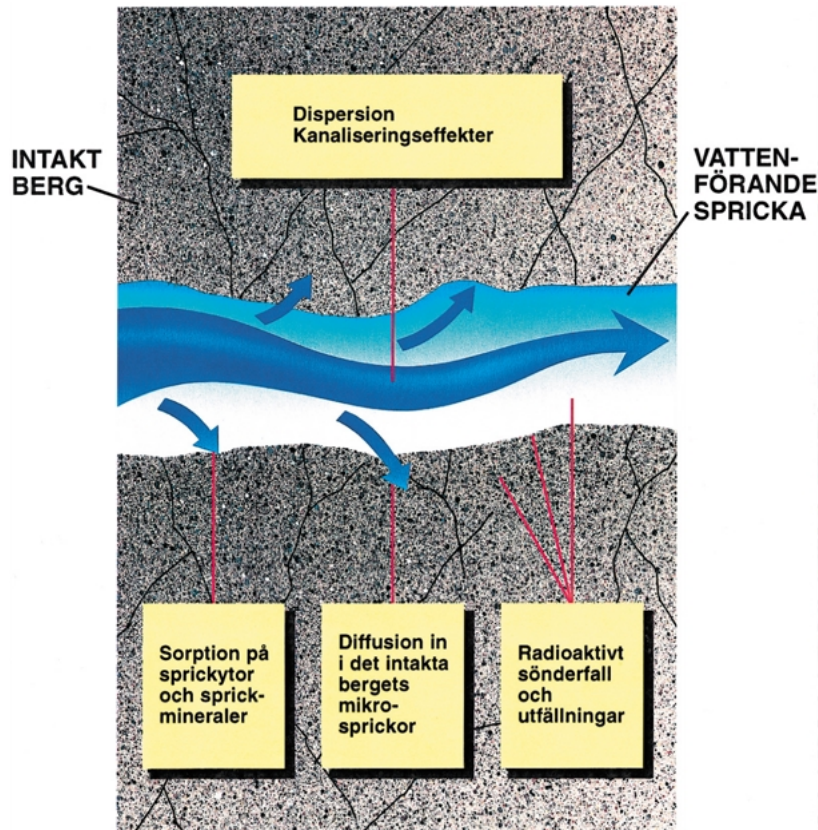
Bergets transportegenskaper beror framförallt av berggrundens geokemiska och hydrauliska egenskaper, grundvattnets kemiska egenskaper samt bergmatrisens fysikaliska egenskaper såsom matrisporositet och matrisdiffusivitet (figur 4-7).

Tabell 4-5. Sammanställning av bergmekaniska parametrar som kommer att bestämmas i olika skeden. Inledande platsundersökning (IPLU) och komplett platsundersökning (KPLU) tillhör platsundersökningsskedet och föregås av förstudier (FS) och följs av detaljundersökningar (DETU).

Parametergrupp	Parameter	Bestäms huvudsakligen under			
		FS	IPLU	KPLU	DETU
Sprickzoner	Geometri, se geologitabell		x	x	x
Mekaniska egenskaper för sprickor	Deformationsegenskaper i normalled			x	x
	Deformationsegenskaper i skjuvled			x	x
	Hållfasthet vid skjuvning			x	x
Mekaniska egenskaper för intakt berg	Elasticitetsmodul (E-modul)		x	x	x
	Poissons tal (n)		x	x	x
	Tryckhållfasthet		x	x	x
	Draghållfasthet		x	x	x
	Inträngningsindex, borrhållfasthet, slitegenskaper			x	x
	Sprängbarhet				x
Mekaniska egenskaper för bergmassa	Elasticitetsmodul (E-modul)			x	x
	Poissons tal (n)			x	x
	Bergklassning		x	x	x
	Dynamisk gånghastighet tryckvåg		x	x	x
	Dynamisk gånghastighet skjuvvåg			x	x
	Hållfasthet			x	x
Densitet och termiska egenskaper	Densitet		x	x	x
	Temperaturutvidgningskoefficient		x	x	x
Randvillkor och stödjande data	In situ spänningar, magnitud och riktningar		x	x	x
	Observerade deformationer och seismisk aktivitet	x	x		

Tabell 4-6. Sammanställning av termiska parametrar som kommer att bestämmas i olika skeden. Inledande platsundersökning (IPLU) och komplett platsundersökning (KPLU) tillhör platsundersökningsskedet och föregås av förstudier (FS) och följs av detaljundersökningar (DETU).

Parametergrupp	Parameter	Bestäms huvudsakligen under			
		FS	IPLU	KPLU	DETU
Bergets termiska egenskaper	Värmeledningsförmåga – berg		x	x	x
	Värmekapacitet – berg		x	x	x
Temperaturer	Temperatur i berg och grundvatten		x	x	
	Termiska randvillkor/gradient			x	



Figur 4-7. Illustration av de mekanismer som påverkar transport av radionuklider i kristallint berg.

Bergets retentionsförmåga (transportmotstånd) för olika nuklider är mycket svåra att bestämma platsspecifikt genom fältmätningar, bland annat beroende på att sorptionen är mycket kraftig, vilket medför en mycket långsam transport och därmed också lång transporttid. En viktig del av transportmotståndet bestäms dock av fördelningen av grundvattenströmningen i berget, se /SKB, 1999a/. Denna del kan statistiskt bestämmas väl även under platsundersökningen.

Laboratorietester på bergprover ger i sammanhanget värdefull information om bergmatrisens transportegenskaper. Flertalet av de transportparametrar som används under platsundersökningsskedet för olika analyser och beräkningar bygger dock på SKB:s generella kunskap om förhållanden i den kristallina berggrunden och är bestämda genom tidigare försök på olika bergmaterial, i fält och på laboratorier. Principiellt är bergets mineral-sammansättning betydelsefull för sorptionsegenskaperna, men mineralsammansättningen varierar inte så mycket. Sorptionsegenskaperna beror framförallt på grundvattnets kemiska sammansättning, varför sorptionsdata i första hand bestäms utifrån bestämningen av grundvattnets sammansättning. Laboratorietesterna omfattar bestämning av matrisdiffusivitet, matrisporositet samt bestämningar av sorptionskoefficienter för ett urval av ämnen. Skattningar av maximalt penetrationsdjup görs bland annat med hjälp av sprick-mineralanalyser och speciella porositetsmätningar. Mätningarna görs på ett urval av platsspecifikt bergmaterial och sprickor där kopplingen till SKB:s tidigare undersökningar är viktig.

Spår försök i fält används i platsundersökningen för att verifiera att de transportparametrar, som bestämts i laboratoriemätningar och de som tolkas från hydraulisk och geologisk information, är rimliga. I praktiken kan spår försöken endast göras med så kallade vattentrogna eller svagsorberande ämnen, dvs sådana som sorberas svagt eller inte alls på sprickmineralen. Spår försöken kan ge viss uppfattning om transportmotstånd, flödesporositet, transportvägar (konnektivitet) och dispersion. Eftersom traditionella spår försök mellan borrhål är relativt tidskrävande kommer troligen också enhålsmetoder att användas. Detta möjliggör flera mätningar och säkrare underlag för bestämning av platsspecifika transportparametrar. Förmodligen kommer dock merparten av spår försöken att genomföras under detaljundersökningsskedet.

De transportparametrar som ska bestämmas under platsundersökningsskedet sammanfattas i tabell 4-7.

4.4 Vidareutveckling av undersökningsmetoder

En grundprincip för undersökningsmetoder och mätinstrument har genom åren varit att i första hand använda befintlig och kommersiellt tillgänglig teknik. SKB:s ofta mycket speciella behov av information från stort djup har dock gjort det nödvändigt att också bedriva en omfattande egen metod- och instrumentutveckling. SKB:s internationella nätverk, i form av bland annat informations- och kunskapsutbyte och gemensamma utvecklingsprojekt, är en annan källa till metodkunskap. En lista på metoder som SKB själv utvecklat, eller i hög grad bidragit till utveckling eller vidareutveckling av, kan göras lång. Utvecklingsarbeten pågår fortfarande och nya kommer att initieras även i framtiden.

Tabell 4-7. Sammanställning av transportparametrar som kommer att bestämmas i olika skeden. Inledande platsundersökning (IPLU) och komplett platsundersökning (KPLU) tillhör platsundersökningsskedet och föregås av förstudier (FS) och följs av detaljundersökningar (DETU).

Parametergrupp	Parameter	Bestäms huvudsakligen under			
		FS	IPLU	KPLU	DETU
Egenskaper i deponeringshållsskala	Grundvattenkemi		x	x	x
	Grundvattenomsättning		(x)	x	x
	Sprickapertur, geometri			(x)	x
Egenskaper längs strömningsvägar	Strömningsvägar*		(x)	x	x
	Transportmotstånd längs strömningsvägar*		(x)	x	x
	Dispersivitet*			x	x
	Flödesporositet*			x	x
Egenskaper i berg	Sorptionsdata (K_d)			x	x
	Matrisdiffusivitet			x	x
	Matrisporositet			x	x
	Max. penetrationsdjup			x	x
	Grundvattenkemi			x	x
Stödjande data	Spår försök			x	x
	Kemisk analys av sprickfyllnad			x	x
	Kemisk analys av sidoberg				
	Grundvattenkemi			x	x

* Beräknas genom utvärdering av andra data och/eller modellering.

I detta program presenteras undersökningsmetoder (bilagan) och dessa är att betrakta som tillgängliga metoder som kan komma att användas. Vilka metoder som verkligen kommer att användas är en fråga för de platsspecifika programmen och detaljplanerna för genomförande av platsundersökningarna. Det är väsentligt att de metoder som används är väl beprövade och dokumenterade. Dessa metoders användning kommer också att styras av metodbeskrivningar, se kapitel 6. Detta hindrar dock på intet sätt nyutveckling av metoder och teknik, men man måste här vara extra observant på det faktum att nya metoders användbarhet kanske ännu inte är fullt verifierade. Med ett ändamålsenligt kvalitetssystem ska dock även detta kunna hanteras med god kontroll och spårbarhet.

Med undersökningsprogrammet som underlag gör SKB regelbundna avstämningar av kunskapsläge och tillgång till resurser inom undersökningsmetod- och instrumentområdet. Dessa avstämningar ligger till grund för utvecklingsinsatser. I samband med dessa avstämningar kan vidare- eller nyutveckling av metoder, som kan användas för att bestämma de mer kritiska parametrarna i säkerhetsanalysen, särskilt lyftas fram och ges prioritet. Äspölaboratoriet ger speciellt värdefulla erfarenheter när det gäller att pröva nya mätmetoder för exempelvis bergets transportegenskaper. Nedan ges några exempel på den utveckling av metoder och instrument som för närvarande görs av SKB.

Den reflektionsseismiska metoden har med hjälp av Uppsala universitet vidareutvecklats för praktisk användning vid platsundersökningar. Såväl mätmetodik som analysmetodik har förbättrats, det senare bland annat genom att utnyttja modelleringsverktyget RVS (Rock Visualization System) för tolkning av strukturers utbredning i 3D. Tidigare genomförda metodtester i djupa borrhål vid Laxemar kompletteras nu med VSP (Vertical Seismic Profiling). Syftet är dels att optimera tillämpningen av denna metod och dels att vidareutveckla samtolkningen av de båda seismiska metoderna. Ett sådant "seismiskt mätpaket" ingår i planeringen för de inledande platsundersökningarna.

Utvecklingen av RVS som datorverktyg för tredimensionell modellering och visualisering av berg fortsätter. Metodik för geometrisk modellering och presentation av tolkade ämnesspecifika egenskaper för modellerade geometriska element håller på att tas fram. En väsentlig del i detta arbete är hanteringen av modellversioner och dokumentation av hur tolkningar gjorts.

Den borrhålsradar som utvecklades inom ramen för Stripaprojektet håller på att ersättas av en ny radar baserad på modern teknik.

En grundlig genomgång av bergspänningsmetoder pågår för att öka kunskapen om de olika metodernas måtnoggrannhet och tillämpbarhet för platsundersökningar. I samband med detta görs mätningar med överborrning och hydraulisk spräckning i det kärnborrhål som för närvarande borrar i SKB:s instrumentförråd i Oskarshamn.

I samma borrhål testas även en ny metod för vattenprovtagning och hydrauliska tester under borrrning. Den nya metoden är anpassad för borrrning med wire-line teknik, vilken innebär att utrustningen kan lyftas och sänkas snabbare. Borrhålet i instrumentförrådet kommer sedan att vara till stor nytta för såväl test och kalibrering av utrustningar som för utbildning av mätpersonal.

En ny längdkalibreringsmetod för korrekt positionering av mätpunkter längs ett borrhål kommer att testas efter det att borrhålet i Oskarshamn har färdigställts.

SKB genomför tillsammans med Posiva ett mätprogram för test och i viss mån vidareutveckling av differensflödesloggningsmetoden. Detta görs i det djupaste borrhålet vid Laxemar där det är av särskilt intresse att undersöka metodens förmåga att hantera de höga salthalter som förekommer på större djup. Samarbetet med Posiva innefattar även test av deras vattenprovtagare i samma borrhål. Resultatet från denna test har redan kommit till nytta för det nya vattenprovtagningssystem som håller på att tas fram.

För bestämning av transportegenskaper sker viss metodutveckling i anslutning till TRUE (Tracer Retention Understanding Experiments) vid Äspölaboratoriet, bland annat gällande alternativa metoder för bestämning av matrisdiffusion samt utveckling av enhålsmetoder för spår försök. Vid KTH genomförs vidare ett projekt som går ut på att undersöka huruvida man kan bestämma matrisdiffusiviteten med hjälp av data från resistivitetsloggning.

5 Utvärdering av den platsspecifika informationen

Utifrån den uppmätta platsspecifika informationen upprättar huvudaktiviteten *undersökningar* geovetenskapliga modeller av platsen. *Projektering* använder dessa modeller för att ta fram en platsspecifik anläggningsbeskrivning med förvarsutformning och bedömer konsekvenser av anläggningsarbetena. *Säkerhetsanalysen* utvärderar den långsiktiga säkerheten utifrån angivna platsmodeller och förvarsutformning. Kunskapen om platsen växer fram stegvis varför även de olika analyserna av platsen måste göras i steg. Resultat av tidiga analyser kan även komma att användas för att rikta in de fortsatta undersökningssatsarna i senare steg. De olika huvudaktiviteterna måste därför samspela.

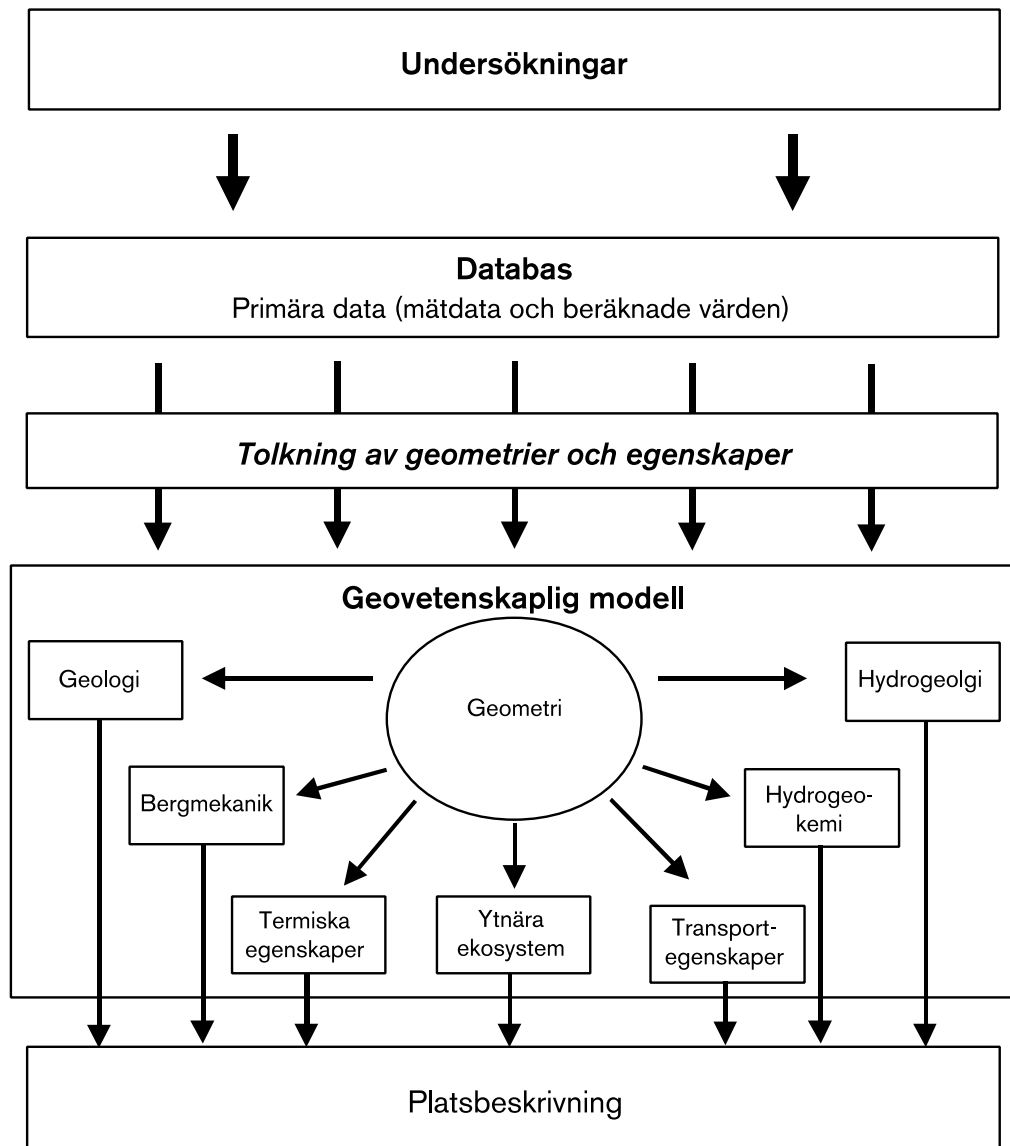
5.1 Geovetenskaplig modellering

När platsundersökningarna är klara vid en plats ska aktiviteten *undersökningar* ha:

- presenterat erforderliga data om platsen för att en platsanpassad utformning av djupförvaret och analys av djupförvarets långsiktiga radiologiska säkerhet ska kunna genomföras,
- uppnått grundläggande geovetenskaplig förståelse, d v s ha analyserat tillförlitligheten och bedömt rimligheten i gjorda antaganden med avseende på platsens nuvarande tillstånd och naturligt pågående processer,
- identifierat objekt som kan kräva speciella miljöhänsyn under bygge och drift av djupförvaret.

Undersökningarna ger primära data (mätvärden och direkt beräknade värden) som samlas i en databas. För att kunna utnyttja den insamlade (uppmätta) informationen för projektering och säkerhetsanalys, samt för att bedöma informationens tillförlitlighet måste den tolkas och presenteras i en geovetenskaplig modell, figur 5-1. Den geovetenskapliga modellen består av en beskrivning av platsens geometri och olika egenskaper, en platsbeskrivning.

Den geovetenskapliga modellen av en plats upprättas och uppdateras stegvis under de pågående platsundersökningarna. Modellversioner upprättas i takt med att ny information blir tillgänglig. För att kunna upprätthålla spårbarhet och konsistens mellan olika ämnesområden tillämpas en strikt versionshantering (jfr kapitel 6). Det ska klart framgå vilka mätdata som ligger till grund för en viss modellversion. När aktiviteterna projektering eller säkerhetsanalys använder platsspecifik information måste det alltid anges vilken modellversion som avses. Avsnitten 5.2 och 5.3 redovisar hur olika modellversionerna används i olika skeden av projekterings- respektive säkerhetsanalyset. Observera dock att antalet modellversioner kan komma att modifieras. Både färre och fler versioner kan komma att tas fram beroende på de lokala förhållandena och hur lätt det är att tolka den studerade platsen. Detta påverkar i sin tur samspelet med övriga aktörer. För att hantera osäkerheterna i tolkningen av data kan, speciellt i de inledande skedena, även alternativa beskrivningar tas fram.



Figur 5-1. Undersökningarnas primära data samlas i en databas, som tolkas och presenteras i en geovetenskaplig modell, vilken består av en beskrivning av platsens geometri och olika egenskaper.

5.1.1 Geovetenskapliga modeller

Resultatet av gjorda mätningar måste analyseras och tolkas för att kunna ge en beskrivning av platsen som kan användas för projektering och säkerhetsanalys. Baserat på undersökningsresultaten byggs en tredimensionell geovetenskaplig modell (avbildning) av berget. Modellen består av olika geometriska enheter i jord och berggrund, som väsentligen bestäms av geometri för sprickzoner samt jord- och bergartsfördelning. För varje geometrisk enhet beskrivs de *geologiska* förhållandena, *mekaniska*, *termiska*, *hydrauliska* och *kemiska* egenskaper samt egenskaper av betydelse för *radionuklidtransport* i berget. Dessutom beskrivs de *ytnära ekosystemen*.

Vilka egenskaper som behöver ingå i den geovetenskapliga modellen avgörs av projekterings behov av att ta fram en anläggningsbeskrivning, säkerhetsanalysens behov av att studera utvecklingen på lång sikt och behovet av att kunna uppnå och visa geovetenskaplig förståelse. De processer som styr utvecklingen avgör vilka egenskaper hos berget som behöver beskrivas i den geovetenskapliga modellen. För att t ex beräkna den termiska utvecklingen på sikt krävs bland annat beskrivningar av bergets nuvarande temperatur och värmeledningsförmåga. De transportegenskaper som behöver beskrivas i den geovetenskapliga modellen styrs av den matematiska modell som används för att beräkna radionuklidtransport i säkerhetsanalysen.

Ambitionsnivån för beskrivningen baseras på det behov som framkommit vid tidigare studier. Uppbyggnaden av den geovetenskapliga modellen kommer att baseras på den utveckling och tillämpning som gjorts vid Äspölaboratoriet och inom SR 97 /Olsson m fl, 1994, Rhen m fl, 1987, SKB, 1999a/. I "Parameterrapporten" /Andersson m fl, 1996/ och i rapporten om krav och kriterier /Andersson m fl., 2000/ identifieras och beskrivs olika egenskaper som bör ingå i beskrivningen, se även avsnitt 4.1.1, samt tabellerna i avsnitt 4.3.

Berget undersöks med borrhål medan strävan i den geovetenskapliga modellen är att ge en full beskrivning i tre dimensioner. Mätresultaten behöver därför interpoleras och extrapoleras till att omfatta hela bergvolymen. Detta kan göras utifrån olika konceptuella modeller av hur bergets struktur kan beskrivas. Detta gäller speciellt för den hydrogeologiska beskrivningen. I dessa fall bör flera alternativa beskrivningar tas fram. Därigenom kan säkerhetsanalysen bättre analysera betydelsen av olika antaganden och osäkerheter i desamma.

Den geovetenskapliga beskrivningen tas i första hand fram för att möjliggöra prognoser av förvarets framtida utveckling med hjälp av matematiska modellverktyg inom säkerhetsanalysen. Även den geovetenskapliga modelleringen och projekteringen behöver använda matematiska beräkningsmodeller. Beskrivningen av berget kompliceras av att flera av dess egenskaper (parametrar), t ex vattengenomsläpplighet, inte kan mätas direkt. Mätningar för att bestämma dessa parametrar innebär istället att berget utsätts för en störning, t ex. ett pumptest, varvid konsekvenserna av störningen observeras. För att bestämma modellens parametervärden simuleras mätningen genom att förutsäga mätningens konsekvenser med hjälp av en matematisk modell. Parametervärdena anpassas så att de beräknade konsekvenserna överensstämmer med observationerna. Beräkningar med de matematiska modellerna används också för att simulera platsens historiska utveckling. Sådan s k paleohydrogeologisk analys kan komma att användas för att belysa om beskrivningen av platsens olika egenskaper utifrån olika ämnesområden (främst hydrogeologi och hydrogeokemi) verkar rimlig och utgör därmed ett led i arbetet att nå geovetenskaplig förståelse.

Gränsdragningen mellan de beräkningar som utförs inom ramen för den geovetenskapliga modelleringen och den modellering som görs inom huvudaktiviteterna projektering och säkerhetsanalys är inte självklar och ska inte uppfattas som alltför strikt. Större delen av det tekniska beräkningsarbetet kommer sannolikt att utföras inom ramen för projektering och säkerhetsanalys. En omfattande integrering av modellarbetet behövs, se vidare avsnitt 5.3.1.

För varje plats upprättas en *lokal platsmodell* för att beskriva förhållandena inom det område inom vilket förvaret förväntas bli inplacerat, inklusive tillfarter och den närmaste omgivningen. Den lokala platsmodellen förväntas täcka ett geografiskt område om cirka 5–10 km².

Utöver de lokala modellerna upprättas *regionala platsmodeller* för att ge randvillkor och för att sätta in de lokala modellerna i sina sammanhang. De regionala platsmodellernas geografiska omfattning beror på de lokala förutsättningarna och styrs av behovet att uppnå förståelse för de förhållanden och processer som bestämmer förhållandena på platsen. Generellt ska omfattningen vara tillräckligt stor för att förstå respektive modells randvillkor.

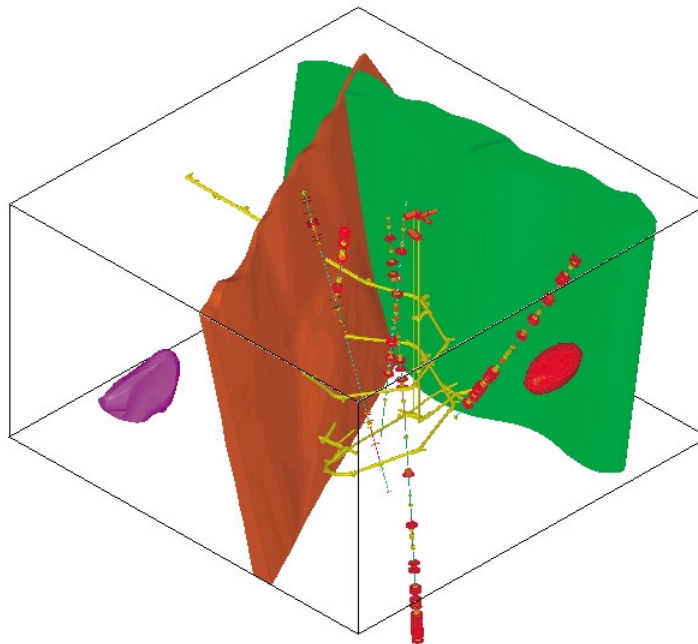
I följande avsnitt ges en kortfattad redovisning av omfattningen av den geovetenskapliga beskrivningen. En betydligt mer detaljerad beskrivning kommer att ingå i de kommande ämnesprogrammen.

Geologisk och geometrisk beskrivning

Grunden för en samlad geovetenskaplig karakterisering är en geometrisk representation av det undersökta områdets topografi, deformationszoner, bergartsgränser, bergenheter, jordlager och vattendrag och en beskrivning av dessa för de olika ämnesområdena.

Det är nödvändigt att en gemensam geometrisk modell används för alla ämnesområden. Den geometriska berggrundsmodellen kommer att grunda sig huvudsakligen på geologisk information, men information även från de övriga ämnesområdenas databaser ingår i underlaget, se figur 5-1. SKB:s datorverktyg för visualisering, Rock Visualisation System (RVS), figur 5-2, kommer att vara det centrala redskapet i den geometriska modellen, och en metodik för hur det ska användas är under utveckling.

Varje enhet i den geometriska modellen beskrivs med geovetenskapliga egenskaper som tolkats utifrån databasens primära mätvärden. Enligt den modellstruktur som SKB kommer att använda består den geologiska berggrundsmodellen av en strukturdelen och en bergartsdelen. I strukturdelen beskrivs berggrundens deformationszoner och sprickor. I bergartsdelen beskrivs bergarternas fördelning och sammansättning.



Figur 5-2. Exempel på visualisering av borrhål, sprickzoner och tunnlar med RVS.

Tabell 5-1. Indelning och benämning av berggrundens sprickzoner och sprickor (spröda strukturer) samt ambitionsnivå för geometrisk beskrivning vid platsundersökning (angivna längd- och breddmått är ungefärliga).

Benämning	Längd	Bredd	Ambition för geometrisk beskrivning
Regionala sprickzoner	> 10 km	> 100 m	Deterministisk
Lokala större sprickzoner	1–10 km	5–100 m	Deterministisk (med osäkerheter)
Lokala mindre sprickzoner	10 m–1 km	0,1–5 m	Statistisk (vissa deterministiskt)
Sprickor	< 10 m	< 0,1 m	Statistisk

För att erhålla en enhetlig terminologi, som ska kunna förstås av olika ämnesföreträdare, använder SKB samlingsbegreppet sprickzoner för att beteckna alla olika typer av deformationszoner där deformationen varit av spröd karaktär, och plastiska skjuvzoner där deformationen varit av plastisk karaktär. SKB har vidare valt att indela sprickzoner efter längd (storlek) och använder beteckningarna regionala sprickzoner, lokala större sprickzoner, lokala mindre sprickzoner samt sprickor (se tabell 5-1).

Sprickzonernas ofta komplexa uppbyggnad och geometri medför att gränserna för indelningen i tabell 5-1 används något flytande beroende på skalan eller undersökningens syfte. Läge och utbredning av regionala och lokala större sprickzoner kan ofta bestämmas deterministiskt. Med detta menas att sprickzonernas lägen kan fastslås med god noggrannhet under platsundersökningarna. För lokala mindre sprickzoner och sprickor är detta inte möjligt i hela den bergmassa som beskriver förhållandena för ett djupförvar och dess omgivning. I stället används statistiska beskrivningar av zonernas eller sprickornas antal (densitet), orientering och storlek. Angiven ambitionsnivå ger vägledning till hur omfattande dataunderlag som krävs. Många lokala mindre sprickzoner, som bara beskrivs statistiskt under platsundersökningarna, kommer vid efterföljande detaljundersökningar undersökas mer omfattande så att även de kan beskrivas mer eller mindre deterministiskt inom delar av förvarsvolymen. Det bör observeras att indelningen inte innebär någon värdering av sprickornas/sprickzonernas egenskaper eller betydelse för djupförvaret. Zonernas specifika egenskaper behandlas i respektive ämnesområdes modellbeskrivning.

Beskrivning av berget dominerar den geologiska modellen, men den inbegriper även beskrivning av jordlagren. Beskrivningen av *jordarter* ger underlag för modellering av den ytnära hydrologin och för analysen av de ytnära ekosystemen. Informationen används i sin tur för säkerhetsanalysens biosfärsmodellering och som underlag till miljökonsekvensbeskrivningen. Beskrivning av ett områdes topografi ingår också i den geologiska modellen. Som grund för förståelsen av de geologiska förhållandena upprättas också en beskrivning av områdets geologiska utveckling i ett historiskt perspektiv.

Bergmekanisk beskrivning

Den bergmekaniska modellen beskriver fördelningen av bergets mekaniska egenskaper och spänningstillstånd i olika skalor. Inom ramen för den geometriska beskrivningen anges bergspänningar, hållfasthet och deformationsegenskaper för det intakta berget och bergmassan, och geometri, hållfasthet och deformationsegenskaper för bergets sprickzoner och större sprickor. Informationen presenteras så att olika beräkningsmodeller kan användas för att analysera mekaniska frågeställningar i olika skalor.

Termisk beskrivning

I den termiska beskrivningen anges i första hand parametrar som har betydelse för transport av värme (värmeledningsförmåga och värmekapacitet) och omgivande temperatur (initial temperatur, yttemperatur och geotermisk gradient). Egenskaperna bestäms i första hand från bergartsmodellen.

Hydrogeologisk beskrivning

Den hydrogeologiska beskrivningen omfattar hydrauliska egenskaper för bergets olika delar (sprickzoner och bergmassa), platsens grundvattenförhållanden och de processer som är styrande för grundvattnets naturliga strömning. I den hydrogeologiska modellen anges i första hand vattengenomsläpplighet för sprickzoner och sprickor, flödesporositet och magasinskoefficient, grundvattnets densitets- och viskositetsfördelning och hydrogeologiska data för de yt nära ekosystemen. Uppmätta trycknivåer och tolkade lägen för in- och utströmningsområden anges. Den senare informationen kan användas för att sätta randvillkor eller i övrigt bedöma modellens rimlighet.

Det finns olika konceptuella modeller för att beskriva den rumsliga variationen av bergets hydrauliska egenskaper. De två främsta är diskreta spricknätverks- och kontinuummodeller. I det första modellkonceptet definieras varje sprickas läge, storlek, orientering och hydrauliska egenskaper explicit. I det andra är upplösningen grövre och egenskaperna varierar kontinuerligt i bergvolymen. Vilken modell som är lämpligast beror delvis på vilken skala som ska studeras. Vid den hydrogeologiska karakteriseringen ska parametrar väljas som i så hög grad som möjligt uppfyller olika modellkonceptets behov. SKB planerar att beskriva bergets egenskaper både deterministiskt och stokastiskt. I det senare fallet kallas modellerna vanligtvis för stokastiskt kontinuum och stokastiskt diskret spricknätverk.

Hydrogeokemisk beskrivning

Den hydrogeokemiska beskrivningen omfattar grundvattnets (kemiska) sammansättning och fördelning i berget. Beskrivningen baseras främst på mätningarna av grundvattnets sammansättning, men använder även den hydrogeologiska och geologiska (bergarts) modellen som underlag. Beskrivningen ger även underlag till eventuella simuleringar av den historiska hydrogeokemiska utvecklingen.

Grundvattnets sammansättning påverkas av omgivande bergarter och sprickmineral genom fällnings- och lösningsprocesser. Storskaliga grundvattenrörelser skulle på sikt kunna påverka grundvattenkemin i förvarsskala genom att grundvatten av annan kemisk sammansättning transporteras dit. En nyckel till att kunna förutsäga den framtida utvecklingen är därvid förståelse för grundvattnets ursprung (genes), för vilket kunskap om bergarter och sprickmineral också är väsentlig.

Beskrivning av bergets transportegenskaper

Beskrivningen av bergets transportegenskaper omfattar de parametrar som behövs för att beräkna transport av lösta ämnen och partiklar med grundvattnet, i första hand flödesrelaterade transportparametrar och egenskaper för "bergmatris". Det kommer inte att vara möjligt att deterministiskt ange transportegenskaper för olika vägar genom berget. En statistisk beskrivning liknande den som gjordes för SR 97 kommer att användas.

Ytnära ekosystem

Platsens ytnära ekosystem (skog, sjö, äng m m) beskrivs i form av biotoper (flora och fauna), aktivitet (markutnyttjande, upptagningshastigheter), transport av vatten och partiklar (meteorologiska/hydrologiska data) samt jordlagrens hydrogeologiska egenskaper (vattengenomsläpplighet, mäktighet och porositet). Landhöjningsförloppet och strandlinjeförskjutningen beskrivs. Strandlinjeförskjutningen används för erosionsmodeller som beskriver transporten av sediment och bildningen av jordarter. Successionsmodeller beskriver hur vegetationen förändras med tiden (skogtillväxt, myrtillväxt med mera). Den ger också kunskap om potentiellt resursutnyttjande i området. I systemekologiska modeller beskrivs flödet av material genom ekosystemen till människa och miljö.

Informationen behövs för att inom säkerhetsanalysen kunna beskriva omsättning, spridningsvägar och konsekvenser (dos/risk) av radionuklider som kommer ut i miljön, men även för att kunna bedöma miljökonsekvenser av anläggningsarbetena samt anpassa förslag till ovanmarksetableringar och dess tillfarer med hänsyn till miljöförhållandena. De marknära förhållandena inverkar även på grundvattenbildningen och grundvattenkemin i stort, även om grundvattenomsättningen på djupet är mycket långsam.

5.1.2 Tilltro till modeller och parametrar

Tilltron till säkerhetsanalysens prognoser beror i mycket hög grad på tilltron till de modeller som tas fram. Denna tilltro behöver beskrivas för att man ska kunna värdera hur väl underbyggd säkerhetsanalysen är. Strävan är att göra modellerna så tillförlitliga som möjligt, men eftersom alla modeller är förenklade representationer av verkligheten kommer det alltid att finnas avvikelser mellan modellen och verkligheten. De osäkerheter som finns i modeller består dels i att processer kan ha försumrats eller förenklats och att vissa parametrar uppvisar en rumslig variabilitet, som endast är möjlig att hantera statistiskt, dels i osäkerheter som beror av mätfel, mätnoggrannhet, tolkningsmetodik etc. Osäkerheter av det senare slaget är dock ofta små. Osäkerheter ska beskrivas och om möjligt kvantifieras. Det är väsentligt att inte låsa sig vid ett enstaka modellalternativ, speciellt i ett tidigt karakteriseringsstadium. Ett viktigt sätt att hantera osäkerheter och alternativa tolkningar är att ta fram alternativa beskrivningar och att analysera konsekvenserna för de olika alternativen inom säkerhetsanalysen. Metodik för detta har prövats i SR 97/SKB, 1999a/.

Modellbeskrivningars tillförlitlighet prövas genom att för nya uppsättningar av mätdata kontrollera överensstämmelsen med förutsägelser från aktuella modellversioner och modellalternativ. I denna process kan vissa modellalternativ förkastas och nya kan komma till. Ett alternativ kan visa sig vara mera rimligt än andra och blir därmed att betrakta som huvudmodell. Det är dock viktigt att behålla möjliga alternativ till huvudmodellen och att genomföra variationsanalyser för att pröva modellernas känslighet. Under platsundersökningarnas slutskede kan det även bli naturligt att genomföra vissa undersökningar specifikt för detta syfte. På basis av aktuella modeller görs då prognoser över bergets egenskaper innan ett nytt hål borrar eller över hur grundvattenmagasinet ska reagera vid en hydraulisk test. God överensstämmelse mellan prognos och mätresultat är tecken på att modellerna är rimliga i den aktuella jämförelsen medan dålig överensstämmelse tyder på det motsatta.

Vissa parametrar kan mätas eller bestämmas direkt. Det vanligaste är dock att mätdata ger indirekt information som måste tolkas eller utvärderas med hjälp av olika typer av analysverktyg/metoder eller med expertbedömningar för att en eller flera parametrar ska kunna bestämmas. I andra fall fastlägger man parametrar genom att mäta och utvärdera hur berget reagerar på en "störning" som vid hydrauliska tester. Mätningar på, samt tester och analyser av, jord-, berg- och vattenprover är andra varianter av parameterbestämning. I vissa fall är det omöjligt eller förknippat med stora svårigheter att bestämma parametrar i fält eller på laboratorieprover. I dessa fall kan det ibland vara lämpligare att bestämma parametern vid de senare detaljundersökningarna. För andra parametrar kan den kunskap som allmänt finns om förhållanden i liknande geologiska miljöer vara fullt tillräcklig.

Osäkerheter ska på ett ändamålsenligt sätt alltid beskrivas och diskuteras i samband med resultatredovisningar, och då inte bara vid slutredovisning utan även i alla mät- och undersökningssteg. En sådan redovisning är dessutom förenlig med kvalitetssäkringskrav på spårbarhet.

Förutom att beskriva osäkerheten i data är det också väsentligt att de redovisade modellerna på ett trovärdigt sätt kan förklara platsens nuvarande tillstånd utifrån de naturligt pågående processer som förändrar tillståndet. Till exempel måste grundvattnets sammansättning på platsen vara rimlig i förhållande till bergartsammansättning, sprickmineralogi, grundvattenströmning och den tidigare klimatutvecklingen med tillhörande förändringarna av hydrogeologiska och kemiska randvillkor. Även om sådana paleohydrogeologiska argument inte kan användas som formella bevis för att modeller och parametrar valts på ett riktigt sätt, är de väsentliga i en kvalitativ indiciekedja för att avgöra modellernas tillförlitlighet.

Det är ytterst avnämarna, främst ansvariga för säkerhetsanalysen och projekteringsarbetet, som kan avgöra när dataunderlaget är tillfyllest och osäkerheterna är acceptabla. Säkerhetsanalysen gör alltid en värdering av osäkerheten i ingående data, se t ex /Andersson, 1999/, och analyserar hur dessa osäkerheter inverkar på prognosen av förvarets långtidsfunktion /SKB, 1999a/. Vid layoutarbetet påverkar de bedömda osäkerheterna hur detaljerat olika förvarsdelar kan beskrivas och hur nära de kan placeras kända sprickzoner. Genom det planerade interaktiva förfaringssättet med successiv informationsöverföring och återkoppling, är det också möjligt att åtminstone i viss omfattning styra undersökningsinsatserna.

5.1.3 Modellversioner under den inledande platsundersökningen

Utifrån tillgängliga förstudiedata upprättas en översiktlig modell (*version 0*) som omfattar hela kandidatområdet i regional skala. Modellen innehåller ingen ny information jämfört med förstudierna, men byggs upp enligt den struktur som kommer att användas under hela platsundersökningskedet för de olika ämnesområdena, se avsnitt 5.1.1.

Upprättandet av geovetenskapliga modeller utförs sedan parallellt med undersökningarna där i princip varje avgränsat undersökningssteg åtföljs av en uppdatering av dessa modeller. Utgående från modellversion 0 görs en första modelluppdatering (*version 1.1*) med hjälp av information från de inledande ytundersökningarna (karteringar och geofysiska mätningar). Den första versionens modeller är utan detaljer och har ett stort inslag av generiska data. Eftersom underlaget väsentligen bygger på data från ytundersökningar är kunskapen om sprickzonernas utbredning (och lutning) mot djupet synnerligen begränsad. Tänkbara zoner ansätts i detta läge oftast som vertikala. I senare versioner ersätts den generiska informationen successivt av platsspecifik information och högre detaljupplösning och säkerhet, se tabell 5-2.

Tabell 5-2. Tänkbar uppdelning av olika versioner av de geovetenskapliga modellerna som tas fram under platsundersökningen.

Undersökningsskede	Underlag	Omfattar	Geovetenskaplig produkt/modell
Inledande platsundersökning	Kommunvisa förstudier. Bearbetning av existerande data. Fältkontroller.	Kommundel och regional omgivning där prioriterad plats kommer att väljas.	Översiktlig modell i regional skala (version 0).
	Översiktliga undersökningar från luft, mark samt korta borrhål.	Kandidatområde (och prioriterad plats).	Översiktlig modell (version 1.1). Val av prioriterad plats.
	Undersökningar från mark och några djupa borrhål.	Prioriterad plats. (Regional omgivning).	Preliminär modell i lokal och regional skala (version 1.2).
Komplett platsundersökning	Undersökningar i många djupa borrhål och kompletterande markmätningar.	Prioriterad plats. Regional omgivning.	Modell i regional och lokal skala, platsbeskrivning (version 2.1).
	Ytterligare djupa borrhål och kompletterande markmätningar.	Prioriterad plats. Regional omgivning.	Reviderad modell i regional och lokal skala, platsbeskrivning (version 2.2).
	Ytterligare kompletteringar.	Prioriterad plats. Regional omgivning.	Färdig modell i regional och lokal skala, platsbeskrivning (version 2.x).

När en prioriterad plats valts definieras det lokala modellområdet varvid också lokala modeller börjar utarbetas. Modellarbetet domineras i dessa inledande steg av den geologiska och geometriska beskrivningen, med hjälp av RVS. Även stommen för de övriga ämnesmodellerna ska byggas i detta skede även om den platsspecifika informationen är mycket begränsad.

När data erhållits från de hål som borrhåts under den inledande platsundersökningen utvecklas modellversion 1.2. De geovetenskapliga modellerna uppdateras allt eftersom databasen kompletteras med nya undersökningsresultat. Från och med detta skede domineras modellarbetet i den lokala skalan av representationer i tre dimensioner. Både nu och framgent ska dock även de regionala modellerna hållas uppdaterade. Aktuella modellversioner representerade i RVS förväntas i detta skede kunna användas effektivt också vid planering av fortsatta undersökningar. De geometriska och geologiska modellerna är fortfarande de som ägnas mest insatser, men samtliga ämnesmodeller ska vid slutet av de inledande platsundersökningarna finnas i uppdaterade versioner, ingående i den preliminära platsmodellen (platsbeskrivningen).

Återkopplingar med andra analyser

Modellversionerna 0 och 1.1 ingår i de första bedömningarna av platsen som görs inom projektering och säkerhetsanalys. Alla ämnesområden bidrar med underlag för val av prioriterat område för de fortsatta undersökningarna. Projekteringsens bedömning av var det geometriskt sett är möjligt att rymma förvaret, samt tidiga värderingar av etableringens miljöstörning är viktiga delunderlag i beslut om prioriterad plats.

De preliminära platsbeskrivningarna ingår i det underlag som projektering och säkerhetsanalys behöver för att kunna göra preliminära anläggningsbeskrivningar och säkerhetsbedömningar. Dessa analyser ger i sin tur underlag för planeringen av undersökningsinsatserna under den fortsatta kompletta platsundersökningen.

5.1.4 Modellversioner under den kompletta platsundersökningen

De kompletta platsundersökningarna genomförs i delsteg. Antalet delsteg kan dock inte låsas i förväg, utan bör bestämmas av förhållanden på platsen och vad som bedöms vara det mest rationella. Stegindelningen under den kompletta platsundersökning speglar inte olika informationsbehov eller undersökningstyper utan motiveras främst av att det bedöms lämpligt att genomföra en större borrhåls- och mätkampanj, utvärdera resultaten och sedan, om nödvändigt, komplettera information med mer mätningar. Minst två versioner, *version 2.1* och *version 2.2* kommer att utarbetas under skedet (se tabell 5-2). Varje version ska beskriva förhållandena i regional och lokal skala, dock med lägre detaljeringsgrad och större osäkerheter i den regionala skalan.

I den geologiska/geometriska modellbeskrivningen representeras huvudbergarter deterministiskt, d v s geometrisk utbredning och egenskaper bestäms för varje bergart. Likaså bestäms regionala och lokala större sprickzoner deterministiskt. Underordnade bergarters förekomst, procentuella andel och egenskaper presenteras som statistiskt fördelade parametervärden. Lokala mindre sprickzoner och sprickor beskrivs statistiskt både vad avser geometrisk information och egenskaper. I än högre grad än för tidigare skeden kommer RVS-systemet att vara ett centralt hjälpmedel.

Redan version 2.1 av modellerna kan vara fullständig i den meningen att alla modellparametrar har tilldelats värden och ingående osäkerheter har uppskattats. Senare modellversioner innebär framförallt att parametervärden revideras och att osäkerhetsintervallen kan minska.

Analys av modellernas tillförlitlighet

Under den kompletta platsundersökningen intensifieras arbetet med att analysera modellernas tillförlitlighet. Analys av osäkerheter och framtagande av alternativa modellkoncept ingår som en naturlig del av tolknings- och modellarbetet. När version 2.1 av modellerna föreligger påbörjas även beräkningar och analyser för att utröna om platsens nuvarande tillstånd och ansatta transportegenskaper kan förklaras utifrån den rumsliga fördelningen av grundvattnets sammansättning, grundvattensströmning och sannolik tidigare förändring av randvillkor eller andra naturligt pågående processer. Analyserna redovisas i ett speciellt dokument och används som underlag till säkerhetsanalysens säkerhetsrapport.

Återkoppling

Modellversion 2.1 utgör huvudunderlag för det projekterings- och säkerhetsanalysarbete som pågår under den kompletta platsundersökningen. De reviderade modellversionerna (2.2 och eventuellt flera) förväntas inte innebära så fundamentala förändringar att analysarbetet helt måste göras om då en ny version av platsmodellerna presenteras. Den slutgiltiga anläggningsutformningen och säkerhetsrapporten bygger självfallet på den sista modellversionen.

5.1.5 Geovetenskaplig redovisning

Primära data från undersökningarna samlas i SKB:s geovetenskapliga databas SICADA. För datamängder som av någon anledning inte fysiskt lagras i databasen ger SICADA information om i vilket annat arkiv dessa data finns. För kartbaserad information i GIS-format upprättas en GIS-databas som utgör ett komplement till SICADA. För icke plats-specifika data som används vid den geovetenskapliga karakteriseringen bör en egen databas upprättas. Den geovetenskapliga modellen upprättas och presenteras med hjälp av SKB:s datorverktyg för visualisering, Rock Visualisation System (RVS) och i platsbeskrivningen. (Se figur 5-1). Rutiner för versionshantering ger spårbarhet i modellernas utveckling.

Efter kvalitetssäkring av data och modeller, se kapitel 6, kommer resultat att vara öppna för granskning. Eventuellt kan databaser och modellbeskrivningar komma att presenteras via Internet, under förutsättning att datasäkerheten då inte äventyras.

Under pågående platsundersökning är de olika modellversionerna, utom den som ligger till grund för tillståndsansökan, i princip SKB:s interna produkter, men redovisningar under arbetets gång kommer att göras till granskande myndigheter. Den modellversion som föreligger efter den inledande platsundersökningen utgör vidare en del av den preliminära platsbeskrivning som då redovisas samlat. I takt med att informationstekniken utvecklas kommer förmodligen möjligheten till datorbaserade presentationer att vidgas så att också rörliga 3-D illustrationer av modeller kan ges till en större publik.

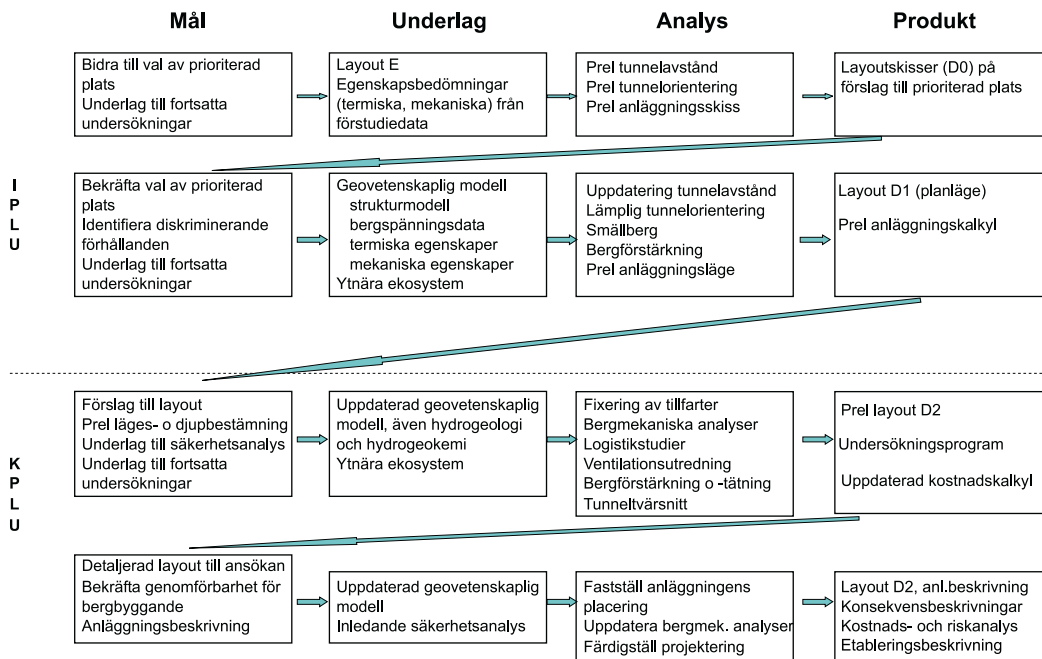
5.2 Projektering

När platsundersökningarna är klara ska aktiviteten *projektering* ha:

- presenterat en platsanpassad djupförvarsanläggning bland flera analyserade och påvisat genomförbarhet för denna,
- identifierat anläggningsspecifika tekniska risker, samt
- tagit fram detaljerade projekteringsförutsättningar för detaljundersökningsskedet.

Anläggningsbeskrivningen utvecklas stegvis, vilket översiktligt visas i figur 5-3. Den icke platsspecifika anläggningsbeskrivningen, s k layout E, finns framtagen innan platsundersökningarna påbörjas. Den bygger på ett generiskt samordnat förslag till utformning av djupförvaret och ligger till grund för den fortsatta platsspecifika projekteringen. Det sista utvecklingssteget under platsundersökningsskedet utgörs av den s k layout D2, som bygger på informationen från den kompletta platsundersökningen. I varje steg utförs olika analyser vars resultat används som underlag för den fortsatta detaljinriktningen av platsundersökningsprogrammet, som underlag till säkerhetsanalysarbetet och för det fortsatta projekteringsarbetet. Flödet av underlag, analyser och resultat framgår översiktligt av figur 5-3.

Anläggningsbeskrivningen utgör också en av förutsättningarna för utarbetande av förslagshandlingar för berg- och byggnadsarbeten samt utarbetande av program för layoutstyrande system inom underjordsanläggningen såsom ventilation, bergdränage, och elförsörjning. Den utformning av maskiner och fordon som föreslås i samband med layout E ger tillsammans med de layoutstyrande systemen underlag för att upprätta anläggningsbeskrivningen. Resultaten av platsundersökningarna används i projekteringen för att föreslå lägen för de olika anläggningsdelarna, och därmed erhålls djupförvarets platsanpassade layout.



Figur 5-3. Principiella steg i projekteringsarbetet, underlag, analyser och delprodukter.

5.2.1 Projekteringsarbete under den inledande platsundersökningen

Preliminära skisser av layouten

När de första plats specifika geovetenskapliga beskrivningarna av prioriterade platser finns tillgängliga utvecklas layoutskisser (D0), som tar hänsyn till identifierade sprickzoner och erforderlig bergvolym med hänsyn till bergets termiska och mekaniska egenskaper. Flera alternativ per område kan behövas som delunderlag i val av prioriterad plats. En preliminär bedömning görs av vilka miljöstörningar och bergbyggnadstekniska problem som kan uppkomma. Med skisserna som utgångspunkt kan man inledningsvis bedöma om de förslag till prioriterade platser som tas fram är lämpliga ur miljömässig synpunkt samt tillräckligt stora för att rymma förvaret.

Underlaget för analysen utgörs av den första geovetenskapliga beskrivningen (översiktlig platsmodell version 0 och version 1.1) d v s är baserat på förstudiematerial och kompletterande mätningar från ytan och från hammarborrhål (se avsnitt 5.1). Skisserna på layouten baseras på tolkade regionala sprickzoner (lineamenttolkning m.m.), de i detta skede mycket osäkert bestämda lokala större sprickzonerna och bedömda termiska och mekaniska egenskaper för berget. Tillgängliga erfarenheter av bergarbeten i området och bedömningar av bergspänningsriktningar och sprickriktningar utnyttjas också. Det bör betonas att layoutskisserna inte bygger på information från djupet. Stora förändringar kan ske när borrhålsinformationen blir tillgänglig i senare skeden.

Utifrån främst den generella kunskapen om bergets termiska och mekaniska egenskaper görs en första bedömning av vad som kan vara lämpligt avstånd mellan deponeringshål och deponeringstunnlar. Lämplig tunnelorientering väljs med utgångspunkt från bland annat bedömda bergspänningsriktningar och observerade sprickriktningar i ytan. I första hand görs analysen genom en avstämning mot tidigare generella analyser. Kontrollberäkningar kan eventuellt komma att utföras.

Preliminära skisser av layouten tas fram, där deponeringsområden inplaceras mellan identifierade regionala och lokala större sprickzoner med de respektavstånd som framgår av angivna kriterier /Andersson m fl, 2000/. Storleken på deponeringsområdet ges av mängden deponeringshål och de avstånd mellan hål och tunnlar som bestämts i analysen. I detta skede består layoutskissen av preliminära områden för deponerings- och driftutrymmen samt korridorer för tillfarter och transporttunnlar inom deponeringsområdet. Placeringen i djupled anges inom ett relativt stort intervall. Med tanke på osäkerheterna om sprickzonernas lägen kan inte detaljerad placering ske av förvaret, vare sig i yt- eller djupled.

Med ledning av layoutskisserna identifieras möjliga kritiska passager av tillfartstunnlar genom sprickzoner. Därvid görs en preliminär bedömning av vilka bergbyggnadstekniska problem som kan uppkomma. Förutsättningarna för etablering av driftområde ovan mark och för att anlägga infrastruktur på markytan, samt andra påverkansfrågor som t ex hantering av schaktmassor studeras och behandlas i den samrådsprocess enligt miljöbalken som påbörjas efter platsundersökningarna inletts.

En preliminär bedömning görs av var det behövs ytterligare information från undersökningar och geovetenskaplig modellering. Skissen av layouten ingår i det första underlaget för den preliminära säkerhetsbedömning som görs inom säkerhetsanalysen. Under arbetet ges underlag till säkerhetsanalys för ett antal delanalyser för att belysa den säkerhetsmässiga betydelsen för ett antal alternativa anläggningsutformningar. Exempel på frågor relaterade till den långsiktiga säkerheten är:

- olika lösningar för transporter och annan kommunikation med ytan (ramp eller schakt),
- principiell placering av ramp/schakt i förhållande till sprickzoner, hydraulisk gradient, bergspänningar med mera, samt
- metod och material för återfyllning – speciellt frågan om förutsättningar att använda bergmaterialet självt för detta.

Arbetet koncentreras på frågor som behöver avgöras i tidiga skeden av layoutarbetet (som etableringsområde och val av utformning av nedfart). Frågor som kan avgöras i senare skeden studeras mer översiktligt.

Preliminär anläggningsbeskrivning

När undersökningarna och den geovetenskapliga modelleringen har upprättat en preliminär platsmodell (version 1.2) utifrån borrhålsinformationen som erhålls vid den inledande platsundersökningen utarbetas en första platsanpassad anläggningsbeskrivning med layout (D1). Beroende på situationen på den aktuella platsen utarbetas ett eller flera alternativ.

Typ av nerfart till förvarsnivå väljs preliminärt med hänsyn till de aktuella platsernas förutsättningar. Erforderligt driftområde ovan jord samt dess tillfarter anpassas till de lokala förutsättningarna. Resultat av hydrogeologisk modell samt modell av ekosystem kompletterad med resultat av konventionella geotekniska undersökningar utgör underlag för förslag till lokalisering av tillfartsvägar till djupförvaret.

Layout D1 består av situationsplaner över och under jord inklusive nedfarter. Varken läget för enskilda tunnlar eller deponeringsområdets exakta placering i djupled bestäms eftersom den strukturgeologiska modellen knappast har tillräcklig information om de djupt liggande sprickzonerna i detta läge. En bedömning av lämpliga djupintervall med hänsyn till bergrumsstabilitet och grundvattenkemi görs dock. Beroende på platsens förutsättningar kan alternativa layouter utarbetas för olika djup. Eftersom tunnelriktningarna i deponeringsområdena inte kan fastställas i detta läge utarbetas olika alternativ för tillfartstunnlar och centralområde för ett antal alternativa tunnelriktningar.

Analyser av avstånd mellan deponeringshål och tunnlar uppdateras. Tillgänglig sprickstatistik, resultat från inledande bergspänningsmätningar och uppskattade värden av berghållfastheten används för att prognostisera stabilitetsförhållanden, som till exempel uppskattad risk för blockutfall (kilbildning) eller risk för annat omfattande bergutfall. Resultat av tidigare parameterstudier utnyttjas kompletterat med kontrollberäkning med bergmekanisk modell. Prognoserna används som underlag för att revidera lämpliga tunnelriktningar samt för att uppdatera tunnel- och deponeringshålsavstånd. Kontroll görs om grundvattnets salthalt kan komma att begränsa det möjliga förvarsdjupet genom att stämma av mot satta kriterier, se /Andersson m fl, 2000/. Layoutskissen uppdateras utifrån resultatet av ovanstående analyser och den uppdaterade geovetenskapliga modellen.

Med ledning av layout och den strukturgeologiska modellen identifieras kritiska passager av tunnlar genom sprickzoner. Behov av bergförstärkning bedöms. Med ledning av den hydrogeologiska modellen görs en bedömning av vilka tättningsbehov som finns, framförallt vid passage av vattenförande sprickzoner. Tättningsbehov påverkas dels av tekniska krav, dels av förekommande skyddsobjekt.

Byggekostnaden beräknas med utgångspunkt från layoutskisser samt från bedömningar av förstärknings- och tättningsbehov. Bergbyggnadstekniska risker inklusive miljökonsekvenser från bygget uppskattas. En preliminär kostnads kalkyl upprättas. En preliminär analys av miljökonsekvenser från anläggningsbygget genomförs.

Layout D1 är det underlag som säkerhetsanalys använder för att göra den preliminära säkerhetsbedömningen efter de inledande platsundersökningarna (se avsnitt 3.3). Vidare identifieras behov av kompletterande funktionsanalyser.

Layouten och identifieringen av områden där mer information kan behövas används också av platsundersökningen för att mer detaljerat lägga upp de olika insamlingsperioderna inom den kompletta platsundersökningen.

5.2.2 Projekteringsarbete under den kompletta platsundersökningen

Anläggningsbeskrivning med layout för djupförvaret

När de kompletta platsundersökningarna kommit så långt att platsmodellerna (version 2.1) har upprättats, utvecklas en anläggningsbeskrivning som omfattar samtliga anläggningsdelar, även i djupled, såväl ovan som under jord med en layout (D2) för djupförvaret. Respektive anläggningsdel dimensioneras med hänsyn till aktuella krav på funktion, utformning och samband. Endast en utformning utarbetas för respektive plats. Layouter ovan och under mark ska dock tillåta viss flexibilitet för ytterligare detaljanpassning. Områden för djupförvarets olika anläggningsdelar är i detta skede identifierade och i huvudsak fastlagda. Bergvolymen reserverade för deponering av kapslar är valda, samt tillfartstunnlarnas lägen och tunnelriktningar bestämda. Deponeringstunnlarnas exakta lägen och riktning behöver dock inte vara kända vid denna tidpunkt. De exakta lägena för deponeringstunnlarna vare sig kan eller behöver bestämmas under platsundersökningen, utan fastläggs först i samband med detaljundersökning och förvarsutbyggnad.

Förutsättningar för de olika bergarbetena som krav på bergförstärkning, täthetskrav eller materialval för återfyllnad, d v s *platsspecifika designkriterier*, bestäms preliminärt. Kostnadskalkyl och byggteknisk riskanalys (inklusive miljökonsekvenser) uppdateras.

Preliminära gränser för anläggningens placering i plan och djupled fastläggs med hänsyn till geologi, identifierade sprickzoner, kompletterat med information om bergspänningar, grundvattensammansättning och hydrogeologi i hela bergmassan. Deponeringsområdets gränser uppdateras med hänsyn till respektavstånd från regionala och lokala större sprickzoner som fastställts efter reviderade funktionsanalyser med hänsyn tagen till bergets hydrogeologiska och mekaniska egenskaper. Områden som bedömts ha olämpliga egenskaper (t ex hög vattengenomsläpplighet) undviks. Förvarsdjup väljs främst utifrån den tredimensionella geometriska strukturinformationen och det kontrolleras att risk för smällberg, annat omfattande bergutfall (se nedan) eller oönskad vattensammansättning inte kan förekomma inom den valda placeringen av djupförvaret.

Korridorer för ramp och schakt bestäms utifrån den geometriska strukturinformationen, infrastruktur på markytan och tillgång till områden på markytan som bedömts lämpliga för placering av tunnelpåslag och driftområden ovan mark. Eventuella synpunkter ur miljö- och säkerhetssynpunkt beaktas.

Ett antal bergmekaniska analyser genomförs, som till exempel:

- detaljerade termo-mekaniska känslighetsanalyser för deponeringshål och mellan deponeringstunnlar, utifrån uppmätta spridningar och bedömda osäkerheter i mekaniska egenskaper och randvillkor,
- uppdatering (val av olika alternativ) av lämplig tunnelorientering utifrån spänningar (nivåer och riktningar) och riktningar på lokala mindre sprickzoner och sprickor inom de bergblock som ingår i de utvalda deponeringsområdena,
- uppdaterade stabilitets- och förstärkningsprognoser utifrån uppdaterad tunnelgeometri, uppdaterade spänningar, sprickriktningar och bergmekaniska egenskaper,
- stabilitetsprognoser för deponeringshål och deponeringstunnlar utifrån tunnelgeometri sprickgeometri, bergspänningar och sprickornas mekaniska egenskaper, och
- optimering av tvärsnitt och riktningar för i djupförvaret ingående drift- och förvaringsutrymmen.

Resultaten från de genomförda analyserna påverkar huvudlayouten för djupförvaret utifrån mängden deponeringshål och utrymmesbehov för övriga anläggningsdelar.

Med ledning av framtagen layout och den geovetenskapliga platsmodellen identifieras kritiska passager av tunnlar genom sprickzoner eller andra tänkbart komplicerade områden. Utifrån de bergmekaniska analyserna görs en bedömning av behov av bergförstärkning. Den hydrogeologiska modellen (och modell av ekosystem) används för att uppskatta tätningsbehov. Med den framtagna layouten genomförs system- och logistikstudier för att upprätta förslag till utbyggnadsetapper. Förslag till platsspecifika designkriterier upprättas.

Byggekostnaden beräknas med utgångspunkt från layoutskisser med bedömningar av förstärknings- och tätningsbehov. Osäkerheterna i förutsättningarna uppskattas och deras inverkan på byggekostnaden analyseras. Analysen av miljökonsekvenser från anläggningsbygget uppdateras.

Den framtagna layouten utgör underlag för planeringen av den fortsatta placeringen av borrhålsundersökningar. Huvudlayouten utgör också underlag för den säkerhetsanalys som genomförs under den kompletterade platsundersökningen (se avsnitt 5.3).

Anläggningsbeskrivning med detaljerad layout

När platsundersökningarna slutförts och en fastlagd version (version 2.x) av platsmodellerna upprättats kan en detaljerad layout (D2) fastställas. Den detaljerade layouten har fastställda gränser för anläggningens placering i plan och djupled. Lägen av ramp och schakt fixeras. Orientering för deponeringstunnlar bestäms. Tvärsnitt och riktningar för drift- och förvarsutrymmen uppdateras.

En översiktlig utformning tas fram av de olika anläggningsdelarna vad gäller uttag, förstärknings- och tätningsbehov. Systemstudier och anläggningsbeskrivning färdigställs. Konsekvenser från anläggningsarbetet beskrivs. Den byggtekniska riskanalysen och kostnadsanalysen uppdateras.

De analyser som genomförs för att ta fram den detaljerade layouten är väsentligen av samma slag som de som genomförs för att ta fram huvudlayouten (se ovan). Analysen baseras på den slutliga geovetenskapliga platsmodellen.

Den framtagna anläggningsbeskrivningen och övrigt underlag används som underlag i lokaliseringsansökan. Säkerhetsanalysen (se nedan) uppdateras om den detaljerade layouten i väsentlig utsträckning avviker från den tidigare analyserade huvudlayouten.

5.3 Säkerhetsanalys

En utvärdering av den radiologiska säkerheten på lång sikt, för den förvarsutformning som föreslås på platsen, är en av de viktigaste uppgifterna under platsundersökningskedet. Långsiktig radiologisk säkerhet utvärderas med hjälp av säkerhetsanalyser. När platsundersökningarna är klara ska aktiviteten *säkerhetsanalys* ha:

- utvärderat den långsiktiga radiologiska säkerheten för det planerade djupförvaret baserat på redovisade undersökningsresultat och upprättad förvarslayout.

Större säkerhetsbedömningar levereras åtminstone vid två tillfällen i platsundersökningsprogrammet; dels i form av en *preliminär säkerhetsbedömning* baserad på data från den inledande platsundersökningen, dels som en *säkerhetsanalys* baserad på data från den kompletta platsundersökningen. Dessutom används de preliminära bedömningar och analyser som görs inom ramen för säkerhetsanalyserarbetet vid planeringen av de fortsatta undersökningarna och den geovetenskapliga modelleringen. Säkerhetsmässiga aspekter på layoutförslag eller mer detaljerade frågor om förvarets utformning analyseras och bedöms och ger därvid underlag till det fortsatta projekteringsarbetet.

SKB har nyligen rapporterat säkerhetsanalysen SR 97 /SKB, 1999a/. Eftersom underlaget till säkerhetsanalysen SR 97 till stora delar liknar det som kan förväntas från en platsundersökning, kan många av resultaten från SR 97 användas för att snabbt få en uppfattning om vad olika data från undersökningarna kan förväntas ge för resultat. Därmed möjliggörs snabba informella återkopplingar från säkerhetsanalysen till undersökningar och projektering under hela platsundersökningens gång. Den preliminära säkerhetsbedömningen liksom den fullständiga säkerhetsanalysen bygger dock på väldefinierade versioner av platsmodell och layout.

5.3.1 Omfattning och gränsdragning mot andra aktiviteter

Metodikerna och resultaten från säkerhetsanalysen SR 97 utgör en viktig grund för arbetet med säkerhetsanalyser under platsundersökningarna. En säkerhetsanalys är ett mycket omfattande arbete som måste bedrivas parallellt med undersökningarna. Under 2000 kommer en genomgång att göras av alla erfarenheter från genomförandet och synpunkter från granskningen av SR 97. Då upprättas också en tidsplan för utvecklingen av säkerhetsanalysens metoder och verktyg inför analysen av platserna. I denna rapport görs dock ingen ansats att förutsäga vilka nya rön som kan tänkas föreligga vid de kommande säkerhetsanalyserna. Redovisningen är i första hand inriktad på att klarlägga hur säkerhetsanalysen hör ihop med aktiviteterna undersökningar och projektering i platsundersökningsprogrammet. I allt väsentligt har dock SKB redan idag en metodik för att genomföra säkerhetsanalyser och har identifierat de flesta väsentliga processer som behöver analyseras. Platsundersökningarna tillför data om de aktuella platserna.

Säkerhetsanalysen kan sägas bestå av att:

- noga beskriva förvarssystemets utseende eller tillstånd vid en initial tidpunkt, t ex då det just har byggts och förslutits,
- kartlägga vilka förändringar förvaret kan tänkas genomgå med tiden till följd av dels inre processer, dels yttre påverkan, samt
- utvärdera förändringarnas konsekvenser för den långsiktiga säkerheten.

Mer konkret består den nyligen genomförda säkerhetsanalysen SR 97 av följande moment:

- Systembeskrivning – en strukturerad, generell beskrivning av hur inre processer påverkar förvaret över tiden.
- Initialt tillstånd – beskrivning av förvarets och omgivningens utseende då det just förslutits.
- Val av scenarier – ett antal olika händelseutvecklingar i omgivningen. De valda scenarierna bör tillsammans ge en rimlig täckning av de olika utvecklingsvägar förvaret och dess omgivning kan tänkas ta.
- Analys av valda scenarier – analys av förvarets utveckling för vart och ett av de valda scenarierna.
- Utvärdering – samlad bedömning av förvarets säkerhet. Här måste också tilltron till resultatet diskuteras i ljuset av de osäkerheter som finns i underlaget till analysen.

Platsundersökningarna ger framför allt underlag för att beskriva initialtillståndet för en plats och för tilltron till denna beskrivning. En värdering och prognos av hur platsens egenskaper förändras på grund av förvarsutbyggnaden behöver också göras. Säkerhetsanalysen får olika underlag från undersökningar och projektering och genomför sedan termiska, hydrauliska, mekaniska och kemiska delanalyser liksom beräkningar av radionuklidtransport. Figur 5-4 visar förenklat de delmoment i en säkerhetsanalys där information från undersökningar och projektering direkt kommer till användning. Slutprodukten från säkerhetsanalysen är en säkerhetsrapport som ligger till grund för lokaliseringsansökan vid en av platserna.

Samordning med undersökningar

Den geovetenskapliga modelleringen innebär väsentligen att de data som observeras i och kring borrhål extrapoleras till tre dimensioner. Dessutom byggs en förståelse av platsen upp, bland annat av hur den hydrogeokemiska och mekaniska utvecklingen lett fram till dagens situation. Både tolkning av data och analyser av den historiska utvecklingen innebär bland annat att olika slag av modellsimuleringar måste genomföras.

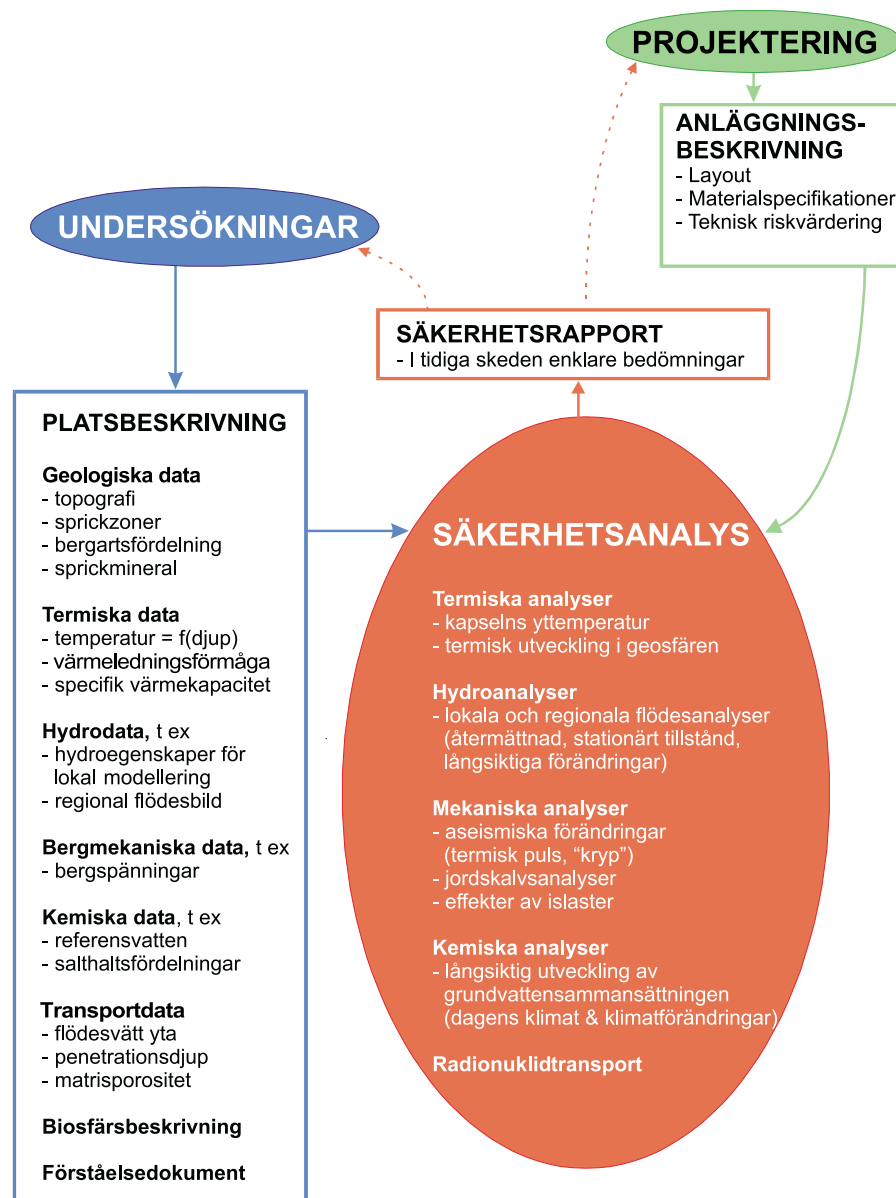
Till säkerhetsanalysen levereras data i form av de geovetenskapliga modellerna som beskrivits i avsnitt 5.1. Modellerna ger en tredimensionell avbildning av platsen och visar t ex geologiska strukturer samt mekaniska, termiska, hydrogeologiska och kemiska egenskaper. Till varje version av dessa modeller hör även en värdering av kvaliteten i data, ofta som en angivelse eller diskussion av osäkerheter i data. I vissa fall anges alternativa modelltolkningar. Dessutom produceras ett förståelsedokumentet som i ord beskriver förståelsen av platsen baserat på observerade fältdata, extrapolationer i rummet och modellsimuleringar, se avsnitt 5.1.2. Även detta dokument är ett viktigt underlag för säkerhetsanalysen.

Gränsdragningen mellan den geovetenskapliga modellsimulering som genomförs inom ramen för aktiviteten undersökningar och de simuleringar som görs inom säkerhetsanalysen ska inte överbetonas. Det handlar snarare om att olika modellanalyser utförs med olika syften, inte om att ta fram helt olika modeller. Regionala flödessimuleringar är ett exempel. Regionala modeller är viktiga i uppbyggnaden av förståelsen för platsen, vilket kan sägas vara en geovetenskaplig fråga, men regionalmodellerna ger också randvillkor till lokalm modeller i prognoser av den framtida grundvattenströmningen i förvarssområdet, vilket direkt används i säkerhetsanalysen. Simuleringar med den regionala modellen måste därför tillgodose säkerhetsanalysens behov och intressen, så att resultatet t ex kan användas som randvillkor för simuleringar med de lokala modeller av förvarets framtida utveckling som genomförs i säkerhetsanalysen. I den mån studierna också omfattar den historiska utvecklingen (för att demonstrera förståelse för hur dagens situation uppkommit) bör sådana studier samordnas med säkerhetsanalysens behov av studier av den framtida utvecklingen (som krävs i analysen av den framtida säkerheten).

Uppdelningen mellan geovetenskaplig modellsimulering och modellsimulering för säkerhetsanalysens direkta behov ska med andra ord inte tolkas alltför strikt. Uppdelningen görs främst för att betona att simuleringarna har olika syften (tolka data och förstå en plats respektive göra prognoser av platsens framtida utveckling). Beskrivningen av platsen och tilltron till data utgör centrala inslag även i säkerhetsrapporten. Normalt styr därför säkerhetsanalysen även den geovetenskapliga modellsimuleringen. Det kommer att eftersträvas att samma modellverktyg (och samma personer) används för att genomföra både den geovetenskapliga simuleringen och de tillhörande prognoser som direkt behövs i säkerhetsanalysen.

Samordning med projektering

Från huvudaktiviteten *projektering* levereras bland annat förslag till layout till säkerhetsanalysen. Till grund för den givna layouten har projekteringen bland annat använt preliminära respektavstånd till sprickzoner, termiska beräkningar eller bedömningar och mekaniska analyser av djupförvarets stabilitet vid berguttag och vid drift av anläggningen. Tidiga versioner av layout och övrig förvarsutformning kan också innehålla alternativa lägen för t ex schakt och ramper eller förslag till platsanpassade återfyllnads-material.



Figur 5-4. Säkerhetsanalysen får underlag från undersökningar och projektering. De i figuren angivna data och analyser är exempel. De utgör ingen komplett lista av vad som ingår i en säkerhetsanalys.

Säkerhetsanalysen studerar förvarets säkerhet för den föreslagna layouten. Funktionsanalyser genomförs för att belysa specifika frågeställningar. Om osäkerheter eller säkerhetsmarginaler bedöms som mindre tillfredsställande initieras en diskussion med projektering om hur layouten bör modifieras. Resultat av funktionsanalyser används för fortsatta val och dimensioneringsprinciper i projekteringsarbetet.

Precis som mellan "geovetenskaplig modellering" och "säkerhetsanalys" finns det ingen självklar uppdelning mellan den modellering som görs av *säkerhetsanalys* och de beräkningar som utförs inom ramen för projekteringsarbetet. Resultatet av säkerhetsanalysens termiska analyser (kapselns ytemperatur), hydrauliska analyser (t ex transportmotstånd

från enskilda deponeringshål) som mekaniska analyser (inverkan av värmelast, jordskalvsberäkningar) kan komma att användas för att modifiera layouten. Projekteringsanalys av värmeutveckling, vatteninläckage och mekanisk stabilitet av tunnlar under bygg- och driftskede behöver naturligtvis samordnas med säkerhetsanalysens modellering av motsvarande processer. Ett visst överlapp av olika modelleringsinsatser måste accepteras. Också här görs modelleringarna med olika syften och det kan ibland vara ändamålsenligt med olika angreppssätt inom säkerhetsanalys respektive bygganalys.

5.3.2 Preliminär säkerhetsbedömning efter inledande platsundersökning

Efter att inledande platsundersökningar genomförts är den platspecifika informationen i form av de preliminära platsmodellerna (version 1.2) och den preliminära anläggningsbeskrivningen (layout D1) relativt begränsad. Uppgiften är i detta skede att bedöma om det är rimligt att gå vidare med en komplett platsundersökning eller om platsen bör överges till förmån för en annan plats.

Vad gäller den långsiktiga säkerheten förväntas inte underlaget efter den inledande platsundersökningen vara tillräckligt för att genomföra en omfattande säkerhetsanalys. Bedömningen om platsens lämplighet för fortsatta undersökningar baseras därför i första hand på

- jämförelser med de krav och kriterier som formulerats i /Andersson m fl., 2000/,
- jämförelser med förhållandena vid de tre platserna som analyserades i SR 97 och vad som därigenom kan sägas om förväntat analysresultat, och
- enkla analytiska transportberäkningar av det slag som genomfördes i SR 97, med de nya platspecifika data som kan finnas tillgängliga.

I SR 97 analyserades tre platser med granitisk berggrund med något varierande förhållanden vad avser geologi, grundvattenomsättning, vattenkemi, närhet till kust, nordlig eller sydlig förläggning, omgivande biosfär etc. Det är rimligt att de områden som blir föremål för platsundersökningar inte skiljer sig alltför mycket från åtminstone någon av platserna i SR 97 vad gäller t ex grundvattensammansättning, avstånd till kust och dominerande biosfärstyp. Därmed bör också analysresultaten från SR 97 kunna användas för preliminära säkerhetsbedömningar efter den inledande platsundersökningen.

Även om den preliminära säkerhetsbedömningen grundar sig på data och layout som tagits fram när de inledande platsundersökningarna har genomförts, pågår ett betydande arbete under hela skedet och även innan data och layout finns tillgängliga i officiella versioner. Tidiga versioner av platsmodell och tillhörande skisser av layout bedöms fortlöpande. Funktionsanalyser eller bedömningar genomförs för att kunna svara på frågor som ställts av projektering, se avsnitt 5.2.1. Mest ägnas dock denna tid åt att förbereda aktiviteter inför den kompletta platsundersökningen, bland annat i form av metodikutveckling.

Återkoppling med undersökningar och projektering

Den inledande säkerhetsbedömningen används som underlag för planeringen av undersökningarna för den kompletta platsundersökningen. Säkerhetsbedömningen kan t ex peka ut områden eller parametrar där osäkerheten behöver minskas genom ytterligare undersökningar och geovetenskaplig modellering. Resultat av delanalyser eller funktionsbedömningar (t ex avseende placering av ramp och schakt, återfyllnadsmaterial) används som underlag för det fortsatta projekteringsarbetet under den kompletta platsundersökningen.

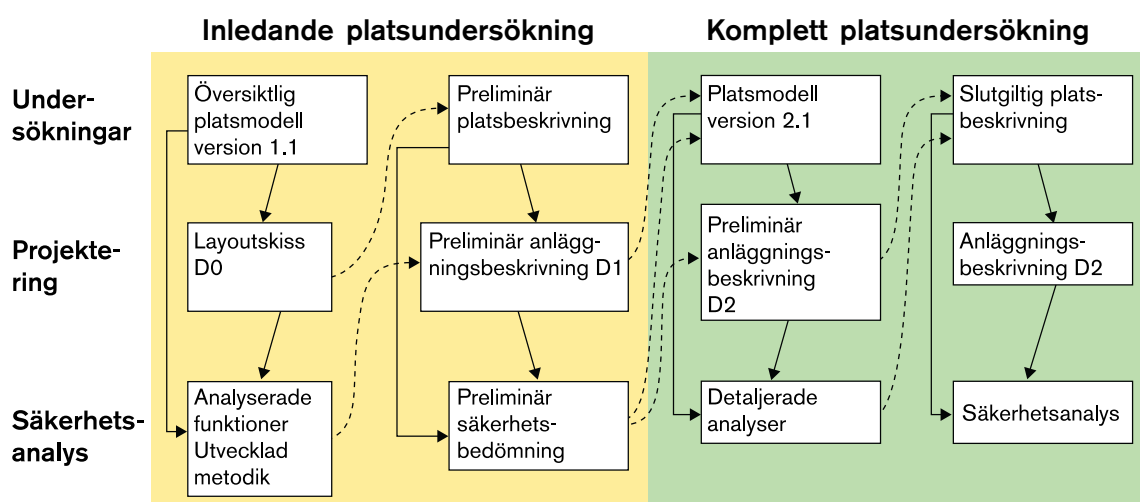
5.3.3 Säkerhetsanalys efter komplett platsundersökning

Den fullständiga säkerhetsanalysen baseras på de slutgiltiga platsmodeller (version 2.x) och den detaljerade layout (D2) som upprättats när undersökningarna har genomförts. I detta skede ska alla aktiviteter i figur 5-4 tillsammans med allt övrigt som ingår i en säkerhetsanalys genomföras. Den informationsmängd som kommer att finnas vid den kompletta platsundersökningen ger underlag för en analys av åtminstone samma omfattning som säkerhetsanalysen SR 97. Metodiken och kunskapsunderlaget för en säkerhetsanalys utvecklas ständigt och i den mån nya rön och metoder finns tillgängliga kan dessa användas i den analys som ska baseras på platsundersökningsdata. Pågående eller planerade forsknings- och utvecklingsprojekt som berör säkerhetsanalysen beskrivs i FUD 98 /SKB 1998/. Också i SR 97 identifieras ett antal punkter där underlaget till analysen kan utvecklas och förbättras. SR 97 genomgår under år 2000 en omfattande extern granskning och även detta förväntas leda till förslag till utveckling.

För att ge möjligheter till meningsfull återkoppling till övriga huvudaktiviteter, påbörjas det detaljerade analysarbetet redan utifrån den första kompletta uppsättningen av platsmodellerna (version 2.1) med tillhörande preliminär layout (D2) för djupförvaret. De delar av analysen som inte påverkas av plats-specifika förhållanden färdigställs tidigt. Områden där analysen kan komma att påverkas av nya data identifieras, men analysen genomförs redan med den första kompletta uppsättningen av data. Analysen revideras i den utsträckning senare versioner av platsmodellerna eller layouten innebär väsentliga förändringar.

Återkoppling med undersökningar och projektering

Resultaten av de analyser som genomförs utifrån de preliminära kompletta platsmodellernas data (modellversion 2.1) för den valda huvudlayouten kan komma att påkalla ytterligare undersökningskampanjer, om platsmodellerna behöver uppdateras eller om layouten behöver revideras. Avgörande för beslut om det behövs ytterligare undersökningsinsatser eller ytterligare modifiering av layouten är om osäkerheterna bedöms som för stora i relation till förvarets bedömda säkerhet.



Figur 5-5. Produkter som tas fram inom en huvudaktivitet används i sin tur som underlag för att ta fram nya delprodukter inom de andra huvudaktiviteterna.

5.4 Samordning

Under platsundersökningen kommer de olika huvudaktiviteterna att behöva information från varandra, figur 5-5. När *undersökningar* tagit fram och tolkat nya data till reviderade modeller av platsen kan först layouten modifieras och därefter kan *säkerhetsanalysen* revideras med utgångspunkt från de nya platsmodellerna med tillhörande layout. Vid layout och säkerhetsarbetet uppstår önskemål om nya data eller data med högre precision. Resultaten av säkerhetsanalysen kan dessutom innebära att layouten bör revideras.

Beroendet mellan de olika huvudaktiviteterna ställer krav på samordning för att bland annat säkerställa att:

- säkerhetsanalys och layout bygger på konsistenta versioner av platsmodellerna,
- onödiga överlapp mellan olika modelleringsinsatser undviks,
- frågor eller bedömningar som görs inom en huvudaktivitet faktiskt besvaras eller tillgodogörs i de andra aktiviteterna, samt
- arbetet avbryts när målen för de olika huvudaktiviteterna har uppnåtts.

Denna samordning utgör en viktig del av kvalitetssäkringen av platsutvärderingen, se kapitel 6. Figur 5-5 visar på en rimlig mängd återkopplingar mellan de olika huvudaktiviteterna. För en aktuell plats kan det finnas behov av färre eller fler återkopplingar. Varje ny version av platsmodell, layout och reviderad säkerhetsanalys (eller bedömning) innebär ett omfattande arbete. Det finns därför anledning att begränsa antalet modellversioner och inrikta arbetet på att nå hög kvalitet i de versioner och revideringar som faktiskt genomförs.

6 Kvalitetssäkring

I detta kapitel presenteras översiktligt SKB:s strategi för kvalitetssäkring av platsundersökningarna. Med kvalitetssäkring avses här dels att göra rätt saker, dels att göra saker på rätt sätt. Det berör allt från upprättande av program och planer till genomförande i form av undersökningar, projektering och säkerhetsanalys. Att ha full spårbarhet i hur data och resultat används och vad beslut grundas på är väsentligt och förutsätter bra rutiner för dokumentation och arkivering. Vidare krävs systematiska rutiner för att kunna överblicka resultat och vid behov vidta korrigerande åtgärder i den relativt stora verksamhet som platsundersökningarna kommer att innebära.

6.1 Centrala kvalitetsaspekter

6.1.1 Organisation

SKB:s planer vad gäller organisation för platsundersökningarna behandlas översiktligt i kapitel 7. Organisationens utformning påverkar naturligtvis detaljer i kvalitetssäkringsarbetet, men inte övergripande strategier. Verksamheten kommer att bedrivas i form av projekt, delprojekt och aktiviteter. Stödfunktioner inom vetenskap, teknik och administration kommer att byggas upp på olika nivåer i organisationen. Arbetsordningen kommer att definieras i den nedbrutna organisationen. Tydliga beställar- och leverantörsroller definieras både för interna eller externa relationer.

De olika enheter som etableras kommer att ha ett delegerat ansvar i tillämpliga delar för kvalitetssäkringsrutiner, inklusive ansvar för att säkerställa rätt kompetens genom t.ex. utbildning. Kvalitetsuppföljning kan göras av företags-, projekt- eller delprojektledning på olika sätt, där bland annat kvalitetsrevision är ett naturligt moment.

6.1.2 Kvalitetsstrategi

SKB arbetar med ett integrerat ledningssystem med rutiner enligt ISO 9001 samt miljöledningsrutiner enligt ISO 14001. Systemet kommer att vara implementerat när platsundersökningarna påbörjas.

Den väsentligaste kvalitetsaspekten är att rätt saker görs. I tidigare kapitel har presenterats hur SKB avser att genomföra platsundersökningar inom ramen för huvudaktiviteterna undersökningar, projektering och säkerhetsanalys. Programmet beskriver hur platsspecifik kunskap ska erhållas och vilka resultat som ska produceras. Vilka egenskaper som ska bestämmas och hur informationen används för att avgöra om en säker slutförvaring kan genomföras grundas på resultatet från SKB:s tidigare studier och erfarenheter, av vilka sammanställningen av parametrar /Andersson m fl, 1996/, krav och kriterier /Andersson m fl, 2000/ samt den senaste säkerhetsrapporten SR 97 /SKB, 1999a/ är de viktigaste för detta program. Detta har nämnts tidigare men upprepas eftersom dessa rapporter ger huvudmotiven för undersöknings- och utvärderingsprogrammet. Som komplement till detta program kommer ämnesspecifika program och platsspecifika program senare att presenteras. Sammantaget är det dessa program och granskningen och acceptansen av desamma som utgör kvalitetskontroll för att rätt saker görs.

SKB som beställarorganisation kommer att ha många leverantörer i samband med platsundersökningarna. Systematiska leverantörsbedömningar och kontraktsgenomgångar kommer att göras i enlighet med SKB:s inköpsrutiner. Strategier för kvalitetsrevisioner både för egna och inhyrda resurser tas fram så att de kan förankras och implementeras tidigt i organisationens olika delar.

6.1.3 Säkerhet, hälsa och miljö

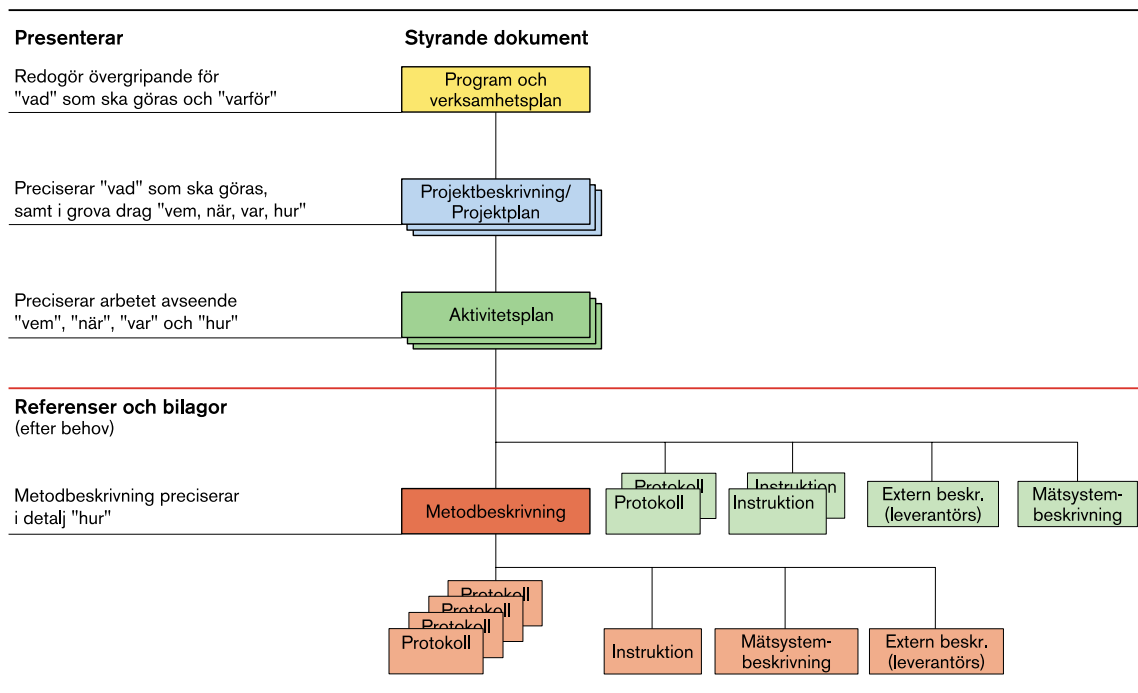
Inför varje delprojekt kommer de olika aktiviteternas eventuella miljörisker att identifieras med stöd av projektgemensamma miljösäkringsrutiner. Vad gäller den yttre miljön ges ett systematiskt stöd i den information som bland annat hämtas inom ramen för SKB:s undersökningar av ytnära ekosystem. Rutiner för samrådsprocesser är ett exempel på kvalitetssäkrat arbetssätt för att finna acceptabla lösningar ur miljösynpunkt. För människors hälsa och säkerhet gäller att miljöskadliga ämnen ska undvikas. Drivmedel och oljor till fältutrustningar och lösningar till mobila fältlaboratorier är dock exempel på ämnen som måste hanteras, vilket görs på ett kontrollerat sätt. Utrustningar kontrolleras med avseende på säkerhet och miljö och åtgärdas vid behov för att undvika skador på person och naturmiljö.

6.2 Styrande dokument

SKB:s system för ledning och kvalitet är strukturerat som en pyramid. Överst finns policies och företagsgemensamma rutiner för bland annat inköp, ekonomi, internrevision, avvikelsehantering och projektstyrning. Vidare finns avdelningsspecifika rutiner och för större projekt, såsom kommande platsundersökningar, upprättas *projekthandböcker* för ledning av den operativa verksamheten. Där ska bland annat finnas övergripande instruktioner för hur projektverksamheten ska bedrivas och dokumenteras. Organisation, ansvar och befogenhet för olika befattningar, hur beslut ska tas och hur rapporter ska godkännas, är exempel på innehållet i dessa instruktioner. För den tekniska verksamheten ger handboken besked om vilka styrande och redovisande dokument som ska användas.

Med hänvisning till figur 6-1 ges här en principiell översikt över de dokument som styr platsundersökningarnas genomförande.

Som övergripande styrdokument ligger SKB:s verksamhetsplaner och de *program* för platsundersökningar som presenterats. I programmen redogörs för syftet med de olika verksamheterna, framför allt avseende vilken information som ska tas fram, samt hur analys-, utvärderings- och projekteringsarbeten ska genomföras. Vidare presenteras i programmen med vilka metoder detta huvudsakligen ska genomföras och hur redovisning ska ske. Dessa tekniska program måste uppfylla kvalitetskraven utifrån aspekten "att göra rätt saker" (kan sägas svara på frågorna "vad" och "varför"). Denna kvalitets-säkring uppnås dels genom SKB:s interna granskning och dels genom extern granskning av myndigheter och annan vetenskaplig expertis.



Figur 6-1. *Principiell översikt över dokument för styrning av platsundersökningarnas genomförande.*

Platsundersökningarna kommer som tidigare nämnts att bedrivas i projektform. För varje projekt/delprojekt upprättas en *projektbeskrivning/projektplan* som definierar mål, hur projektet ska genomföras, samt identifierar förväntade resultat. Dessa styrdokument kan sägas ge preciserade svar på frågan "vad" samt övergripande svar på frågorna "vem", "när", "var" och "hur".

Inom ramen för beslutade projekt bryts verksamheten vanligen ner i aktiviteter. *Aktivitetsplaner* styr i detalj hur arbetet ska genomföras och dokumenteras utifrån kvalitetsaspekten "att göra på rätt sätt" och kan sägas ge preciserade svar på frågorna "vem", "när", "var" och "hur". Av redovisningssättet i form av protokoll, datafiler och rapporter ska klart framgå vilka utförare som ansvarat för olika delar.

Metodbeskrivningarna innehåller metodspecifika instruktioner för "hur" metoder ska utföras. Metodbeskrivningar utgör en del av "kvalitetspyramidens" bas och upprättas framförallt för undersökningsmetoder. Inte minst väsentligt är att specificera vilka informationsmängder som ska produceras, hur arbetet ska dokumenteras och hur resultat ska arkiveras. Korrekta och ändamålsenliga metodbeskrivningar är grunden för att en metod tillämpas på rätt sätt liksom att den utförs på samma sätt vid upprepade användning.

Exempel på andra instruktioner som är väsentliga för undersökningars genomförande är manualer och rutiner för utrustningars handhavande, kalibrering och underhåll. Vidare ska det finnas etablerade rutiner för vilka data som ska läggas in i SICADA och för hur inlagringen ska gå till.

6.3 Dokumentation och spårbarhet

Under platsundersökningsskedet genereras och hanteras stora mängder data. I de flesta fall används data i flera analys- och utvärderingssteg, där resultat från det ena steget används som ingångsinformation till nästa steg, o s v. Detta gäller dels vid upprättandet av platsbeskrivningar, dels vid projektering och säkerhetsanalys där bl.a. undersökningsresultaten används. Liksom i andra verksamhetskedjor är slutresultatet beroende av att varje länk håller måttet. En viktig grundprincip, för att uppnå full kontroll och spårbarhet på hela kedjan, är att för varje länk åstadkomma fullgod dokumentation av indata, process och utdata, enligt:

- **indata:** det använda dataunderlaget för aktiviteten otvetydigt identifierade,
- **processen:** aktivitetens genomförande fullständigt dokumenterat,
- **utdata:** producerade resultat från aktiviteten otvetydigt identifierade.

Vad gäller mätresultatens kvalitet är principen att den som utför en aktivitet (leverantören) ansvarar för att levererade produkter uppfyller de ställda kraven enligt aktivitetens styrande dokument, d v s produkten ska vara kvalitetssäkrad vid leverans. Vid mottagandet genomförs en leveranskontroll, främst för att förvissa sig om att all dokumentation erhållits. I lämplig omfattning genomför SKB också kvalitetskontroller.

6.4 SKB:s centrala datorverktyg

6.4.1 SICADA:s roll som kvalitetssäkrad databas

Huvudsyftet med en central databas är att insamlade platsdata ska vara tillgängliga från en källa. Informationen blir därmed gemensam för alla användare som arbetar med analys, utvärdering, tolkning och modellering.

I SICADA (figur 6-2) lagras inte bara primära resultat (mätdata, direkt beräknade värden) utan också information om de aktiviteter som genererar dessa data liksom om aktiviteter som kan tänkas påverka mätdata. Varje aktivitet dokumenteras med var och när den utförts. Till varje aktivitet kopplas sedan resultaten samt uppgifter om vem som utfört aktiviteten.

Det finns ett par grundregler gällande SKB:s datahantering och användningen av SICADA. För det första får endast kvalitetskontrollerade data lagras i SICADA. Arkiverad information ska underhållas enligt kvalitetssäkrade rutiner. Den andra grundregeln säger att endast data från SICADA får användas vid tolkning, analys och modellering av de undersökta platserna. Uttag av data följs av en loggfil, med vars hjälp samma datamängd återigen kan tas ut ur databasen om så behövs. Detta gör att datamängdens ursprung är otvetydig. Spårbarhet för bearbetningar, från ursprunglig datakälla fram till färdiga resultat, kan på så sätt säkerställas.

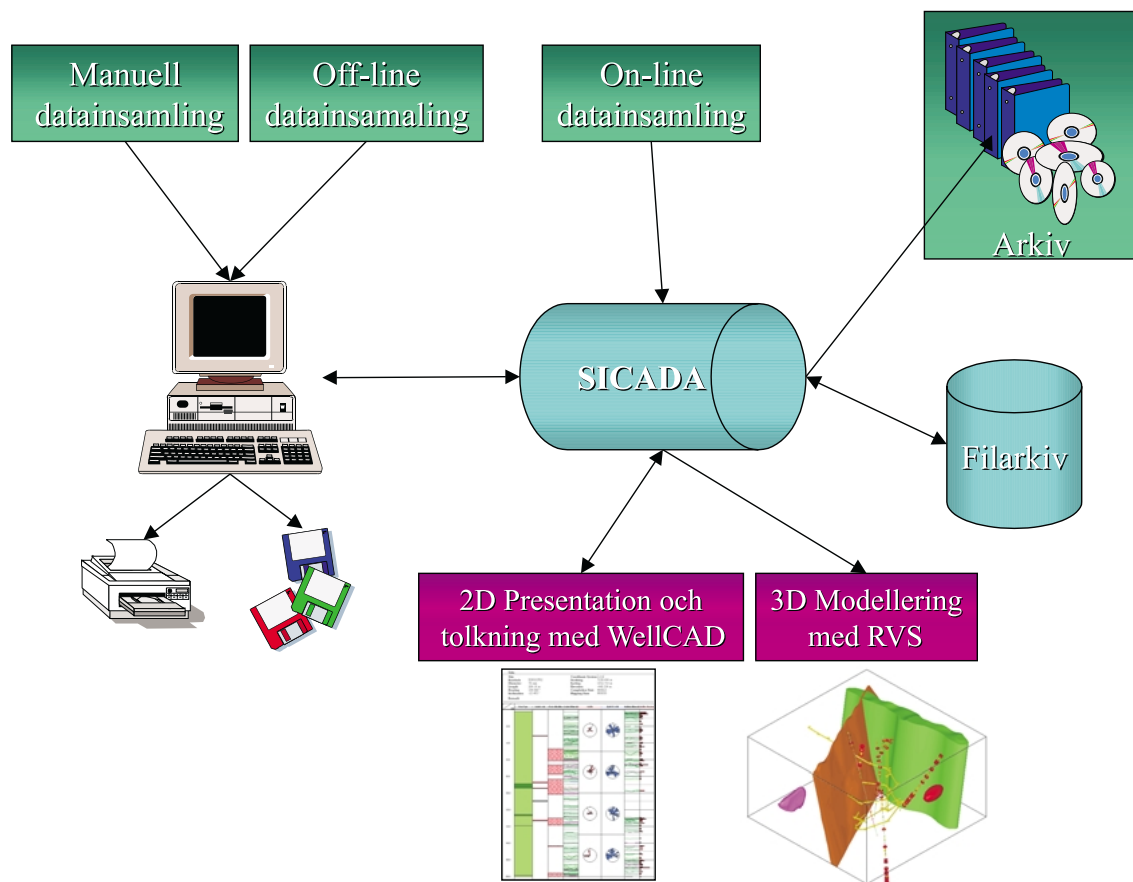
Undersökningsdata från platsundersökningarna kommer att samlas i SICADA enligt den befintliga huvudstrukturen. En övergripande princip är att alla undersökningsresultat ska lagras i rådataform. Bearbetade data kommer dock också att finnas i SICADA när vedertagen metod för tolkning finns tillgänglig. Data är sorterade i en hierarkisk struktur, med ämnesområden och mätyper som grund. Vidare kopplas data till den aktivitet som producerat dessa data. De platsspecifika databaserna kommer att byggas upp successivt. Meningen är att producerade och kvalitetssäkrade resultat från varje mätning ska läggas in i SICADA utan onödigt dröjsmål.

Den övervägande mängden data lagras i tabeller i SICADA. Ur dessa tabeller kan data sökas och hämtas on-line. Vissa speciella typer av data lagras i SICADA:s filarkiv vilket innebär att back-up och underhåll sköts enligt samma rutiner men att data måste beställas. Det gäller exempelvis sådana data som endast kan läsas och bearbetas av specialprogram, t ex. radardata. Det gäller också rådatamängder som är så stora att lagringen lämpligare sker på exempelvis CD. I varje fall ska förekomsten av data finnas bokfört i SICADA med referens till det andra arkivet.

Den övervägande mängden data i SICADA utgörs av mätdata eller resultat från beräkningar baserade på mätdata. Resultat från de utvärderingar som görs baserade på mätdata från en eller flera metoder lagras vanligen inte i SICADA, eftersom de utgör tolkningar (modellbeskrivningar) av platsens egenskaper.

Förutom att data kan exporteras i olika format kan olika programvaror kopplas upp mot SICADA. Exempel på sådana är vanliga program som Excel, samt specialprogram som RVS och WellCAD.

SICADA är SKB:s egen databas men är i princip öppen för både interna och externa användare. Detta är viktigt för att SKB:s resultat ska kunna granskas, eftersom underlaget finns lättillgängligt endast i SICADA.



Figur 6-2. SKB:s databas SICADA med tillhörande funktioner.

6.4.2 GIS

Som komplement till SICADA kommer en hel del data att förekomma i GIS-databaser (Geografiskt InformationsSystem). GIS är i detta sammanhang således ett annat arkiv för digitala data till vilket hänvisning görs från SICADA. GIS är inte bara en databas utan också ett bearbetnings- och presentationssystem. Vid platsbeskrivningen kommer GIS-information (företrädesvis 2-D) att knytas samman med RVS för vidare modellering i 3-D.

6.4.3 RVS

SKB har utvecklat ett geometriskt bergmodelleringsystem baserat på det tredimensionella CAD-systemet Microstation. Det benämns RVS (Rock Visualization System) vilket också antyder nyttan vid presentation och förevisning av modeller. RVS är alltså det verktyg som används för att bygga upp geometriska modeller, vilka utgör en gemensam grund för ämnesmodellerna, se avsnitt 5.1. RVS kommer också att användas som planeringsverktyg för borrhål, vilket kvalitetsförbättrar och underlättar val av borrhållsläge och -riktning för att rätt del av bergvolymen ska nås. Inte minst väsentligt är att projekteringen kommer att använda samma bergmodell för upprättande av platsspecifika layouter.

RVS är utvecklat med effektiva datalänkar till såväl SICADA som GIS och vid modelleringsarbetet importeras datamängder direkt från SICADA. Vid den geometriska modelleringen identifieras geometriska objekt, såsom sprickzoner eller bergenheter. För dessa objekt åsätts sedan för varje ämnesområde de egenskaper vilka ska ingå i respektive ämnesmodell. RVS-modeller versionshanteras strikt, och för varje alternativ modell eller version framgår vilka data som använts och hur de tolkade egenskaperna bestämts. Denna hantering möjliggör att man med de modellversioner som sparas bygger upp något som kan benämnas modelldatabas.

Den geometriska RVS-modellen ska också utgöra underlag för numeriska modellberäkningar såsom för simulering av grundvattenströmning och nuklidtransport. Det är då ur kvalitetssynpunkt väsentligt att dessa modellberäkningarna grundar sig på samma geometriska ramverk som de beskrivande modellerna.

RVS är i egentlig mening snarare ett modelleringsverktyg än ett verktyg för kvalitets-säkring. Systemet har dock en mycket stor betydelse för kvaliteten i de geometriska modellerna och utgör dessutom en gemensam utgångspunkt för övriga geovetenskapliga modeller, förvarslayouter och de modelleringar som görs inom ramen för säkerhetsanalys, vilket borgar för att det geometriska ramverket kommer att användas konsistent.

7 Organisation, resurser och tidsåtgång

7.1 Inledning

När SKB går in i platsundersökningsskedet efter 2001 startar omfattande undersökningar av ytnära ekosystem, jordtäcke och berggrund med bland annat borrhål ner till omkring en kilometers djup. I detta skede görs även detaljerade studier av hur anläggningarna och transportererna kan utformas och genomföras samt vilka miljökonsekvenserna blir. En platsundersökning innebär en ytterligare etablering på orten i fråga och ger en viss fysisk påverkan i form av borrhål och fältverksamhet under flera år. Arbetet kräver att SKB som organisation förändras till de nya förutsättningarna. Detta kapitel diskuterar ur ett tekniskt undersöknings- och utvärderingsperspektiv vilka krav som kommer att ställas på den nya organisationen och vilka resurser som krävs. Vidare presenteras en övergripande tidsplan för undersökningarnas genomförande.

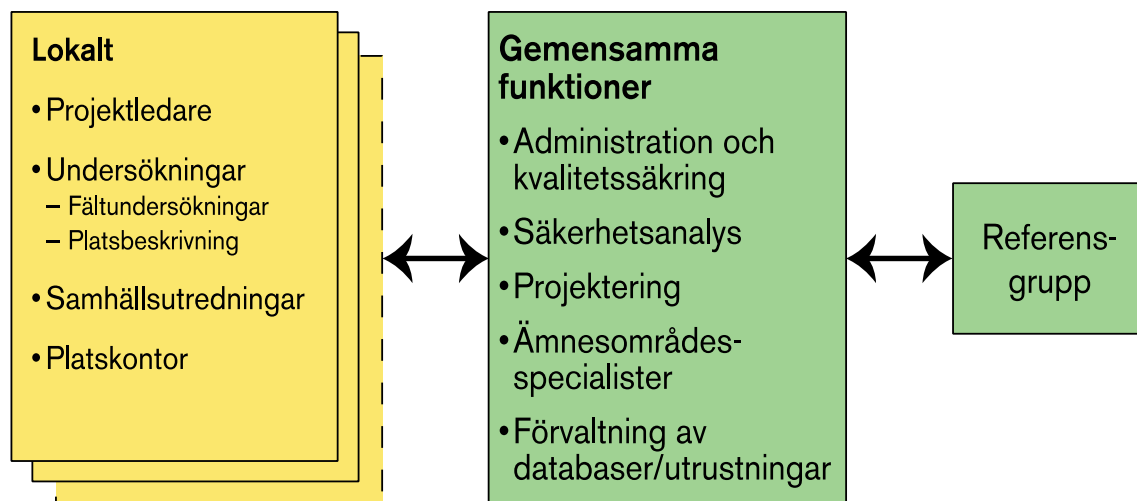
Organisatoriska aspekter är en viktig del i det förberedelsearbete och den programskrivning som pågår inför platsundersökningarna och som fortsätter även framöver. Det handlar om att tidsuppskatta olika aktiviteter under undersökningarna, att identifiera samverkan mellan dessa aktiviteter, att optimalt utnyttja mätutrustningar mellan borrhål och platser, hantering av stora datamängder vid insamlandet och utvärderingen, kvalitetskontroll m m.

7.2 Organisation och resurser

Den kommande organisationen för platsundersökningarna ska användas för att genomföra de aktiviteter som presenterats i kapitel 2 till 6 på minst två platser. Ett antal tekniska huvudaktiviteter (undersökningar, projektering och säkerhetsanalys) ska genomföra sina insatser och samverka så att olika beslut kan fattas under pågående undersökningar och så att insatserna ska kunna styras till det som är väsentligt. Aktiviteterna är mycket beroende av varandra och det är viktigt att samverkan blir god. Detta är förutsättningar som styr organisationen och även de samlade resurser som krävs för genomförandet.

Den fortsatta diskussionen om en möjlig organisation och de resurser som krävs görs bäst utifrån en översikt av olika funktioner som behövs i platsundersökningsskedet, se figur 7-1. Denna skiss är relativt allmänt hållen och detaljering ingår som en naturlig del i det fortsatta förberedelsearbetet.

Det ska betonas att det som listas i figuren är funktioner som krävs i organisationen och inte personella resurser. Det totala antalet personer som krävs på varje plats torde uppgå till ett tjugotal. En av de avgörande organisatoriska frågorna är balansen mellan de centrala och lokala funktionerna samt samspelet dem emellan. Det är viktigt med en stark organisation på plats. Det är på platsen undersökningarna ska genomföras och anpassas till de speciella förutsättningar som gäller där. Undersökningarna förutsätter tillträde till mark, för borrhål och undersökningar och för viss vägbyggnation. Stor hänsyn måste tas till miljön på platsen så att ingreppet i samband med borrhål och övriga fältverksamheter blir så begränsat som möjligt, se kapitel 2. En projektledare utses med helhetsansvar för undersökningar och kontakter med kommunen, allmänhet och media. Mätning, kvalitetskontroll, datahantering och analys av mätdata för att



Figur 7-1. Översikt av funktioner för genomförande av platsundersökningar på minst två platser med betoning på de tekniska aktiviteterna.

bygga upp den platsspecifika förståelsen är ett omfattande arbete som sker lokalt. Bland resursbehoven för undersökningarna lokalt kan nämnas ansvarig geolog, hydrogeolog, hydrokemist, RVS/SICADA-operatör, fältmättningsledare, mätkontrollanter, dataoperatör, servicetekniker samt IT-stöd.

Samtidigt som aktiviteterna styrs lokalt så att nödvändigt underlag tas fram för att bedöma respektive plats lämplighet, ska de olika platserna undersökas och utvärderas på ett likvärdigt sätt. Samordning av undersökningsinsatser, utvärdering, projektering och säkerhetsanalys är nödvändig under pågående undersökningar även om mycket av detta styrs i de program som kommer att finnas framme före undersökningarnas genomförande. Gemensamma funktioner innefattar även ämnesspecialister inom olika geovetenskapliga discipliner, kvalitetssäkring, övergripande undersökningsledning samt för planering inför kommande detaljundersökningar. Allmänt gäller att organisationen, både centralt och lokalt, ska struktureras för bästa möjliga samverkan över ämnesgränserna (gäller såväl geovetenskapliga discipliner som huvudaktörerna under platsundersökningen) för bästa möjliga sammanvägda beskrivning av platserna. En huvuduppgift för den gemensamma samordnings- och utvärderingsfunktionen är att förbereda den ansökan om lokaliseringstillstånd för en plats som ska lämnas in till regeringen.

Förutom den fasta organisationen enligt figur 7-1 (sammanlagt cirka 75 personer för två platser) tillkommer en ansevärd mängd experter, konsulter och entreprenörer. Emedan den fasta organisationen främst leder och utvärderar avropas externa tjänster för merparten av utförande arbete (borrning, fältmätningar, analyser, numerisk modellering, mm). Resursbehovet här kopplar till de undersökningsmetoder och tillhörande mätsystem som kommer att användas, se bilaga.

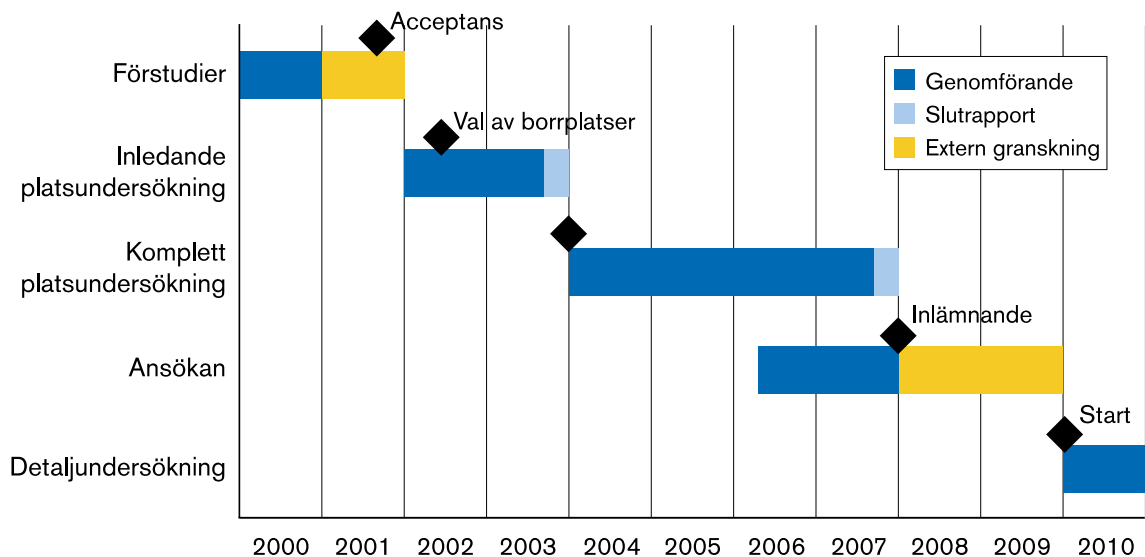
7.3 Tidsåtgång

En platsundersökning utgör en relativt omfattande verksamhet i fält som kommer att pågå under flera år. I figur 7-2 ges en bild av den övergripande tidsåtgången för platsundersökningsskedet. I det fortsatta förberedelsearbetet ingår att tidsuppskatta fältinsatser och att detaljplanera genomförandet.

De inledande platsundersökningarna beräknas kunna påbörjas kring årsskiftet 2001/2002. De inledande platsundersökningarna beräknas pågå i 1½–2 år. Tidsåtgången bedöms bli olika för de olika platserna därför att förhållandena och kunskapsnivån är olika. För att effektivt utnyttja resurserna kommer undersökningarna att bedrivas med en viss tidsförskjutning mellan platserna. Tidsförskjutningen beräknas uppgå till 4–6 månader.

Vid genomförandet av de kompletta platsundersökningarna görs borrhningarna i flera deletapper, där 3–4 djupa hål borrar samtidigt. Därefter följer mätningar och utvärdering av resultaten. Varje borrhålsetapp beräknas ta omkring ett år. Efter den sista borrhålsetappen slutförs en sammanfattande och jämförande utvärdering av de olika platserna och en tillståndsansökan med underliggande dokumentation färdigställs. Detta innebär att tiden för de kompletta platsundersökningarna kan uppskattas till 3½–4 år.

Ansökan om lokalisering och uppförande av djupförvaret vid en av de undersökta platserna enligt kärntekniklagen och miljöbalken lämnas till regeringen respektive miljödomstolen. Därefter granskas underlaget av myndigheter och ansökan prövas av miljödomstolen. Tidsåtgången för detta är mycket svårbedömd men uppskattas till omkring två år, vilket medför att platsundersökningsskedet i sin helhet beräknas ta 7–8 år.



Figur 7-2. Övergripande och preliminär tidsplan för platsundersökningsskedet i relation till föregående förstudier och det påföljande detaljundersökningsskedet. Tidsplanen bygger på antagandet att två platser undersöks.

Referenser

- Ahlbom K, Andersson J-E, Nordqvist R, Ljunggren C, Tirén S, Voss C, 1991a.** Gideå study site. Scope of activities and main results. SKB TR 91-51.
- Ahlbom K, Carlsson L, Olsson O, 1983.** Final disposal of spent nuclear fuel – geological, hydrogeological and geophysical methods for site characterization. SKB TR 83-43.
- Ahlbom K, Smellie J (Ed), 1991b.** Characterization of fracture zone 2. Finnsjön study site. Journal of Hydrology, Special issue, Vol. 126, Nos. 1-2.
- Almén K-E, Olsson P, Rhén I, Stanfors R, Wikberg P, 1994.** Äspö Hard Rock Laboratory – Feasibility and usefulness of site investigation methods. Experiences from the pre-investigation phase. SKB TR 94-24.
- Andersson J, Almén K-E, Ericsson L O, Fredriksson A, Karlsson F, Stanfors R, Ström A, 1996.** Parametrar av betydelse att bestämma vid geovetenskaplig platsundersökning. SKB Rapport R-97-03. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Andersson J, Ström A, C. Svemar, Almén K-E, Ericsson L O, 2000.** Vilka krav ställer djupförvaret på berget? Geovetenskapliga lämplighetsindikatorer och kriterier för lokalisering och platsutvärdering. SKB Rapport R-00-15. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Andersson J., 1999, SR 97:** Data and Data Uncertainties, Compilation of Data and Evaluation of Data Uncertainties for Radio-nuclide Transport Calculations, SKB, TR-99-09, Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co., Stockholm.
- Fairhurst C, Gera F, Gnirk P, Gray M, Stillborg B, 1993.** OECD/NEA International Stripa Project 1980–1992 Overview Volume 1. Executive Summary Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co, 1993.
- Lindborg T, Kautsky U, 2000.** Variabler och parametrar för att beskriva ytnära ekosystem vid platsundersökningar. SKB Rapport R-00-19. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Miljödepartementet, 2000.** Regeringsbeslut, dnr M1999/2151/Mk, M1999/3040/Mk, Miljödepartementet, 2000-01-24.
- Olsson O, Bäckblom G, Gustafson G, Rhén I, Stanfors R, Wikberg P, 1994,** The structure of conceptual models with application to the Äspö HRL Project. SKB TR 94-08, Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co.
- Pettersson S, Lönnerberg B, Sandstedt H, 2000.** Systemanalys – Omhändertagande av använt kärnbränsle enligt KBS-3-metoden. SKB Rapport R-00-29, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Rhén I, Bäckblom G, Gustafson G, Stanfors R, Wikberg P, 1997a.** Äspö HRL – Geoscientific evaluation 1997/2. Results from pre-investigations and detailed site characterization. Summary report. SKB TR 97-02, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Rhén I, Gustafson G, Stanfors R, Wikberg P, 1997. Äspö HRL – Geoscientific evaluation 1997/4. Results from pre-investigations and detailed site characterization. Comparison of predictions and observations. Geohydrology, groundwater chemistry and transport of solutes. SKB TR 97-05. Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co.

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

SKB, 1998, FUD-program 98. Kärnavfallets behandling och slutförvaring. Program för forskning samt utveckling och demonstration av inkapsling och geologisk djupförvaring. Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm.

SKB, 1999a, SR 97 – Säkerheten efter förslutning. Djupförvar för använt kärnbränsle. Huvudrapport (två volymer), Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm.

SKB, 1999b, SR 97 – Processer i förvarets utveckling, Underlagsrapport till SR 97, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm.

SKI, 1999. SKIs utvärdering av SKBs FUD-program 98. Gransknings-PM. SKI Rapport 99:16, april 1999.

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

Beskrivning av undersökningsmetoder

Här presenteras undersökningsmetoder som är tillgängliga och kan komma att användas under platsundersökningsskedet. Vilka metoder som verkligen kommer att användas klargörs i kommande platsspecifika program. Utveckling av undersökningsmetoder pågår.

För en beskrivning av alla använda metoder som bidrog till den geovetenskapliga karakteriseringen av Äspö i samband med förundersökningarna, hänvisas till (Almén m fl, 1994).

Tabell B-1	Metoder för ytnära ekosystem	104
Tabell B-2	Geologiska metoder	107
Tabell B-3	Bergmekaniska metoder	110
Tabell B-4	Termiska metoder	111
Tabell B-5	Hydrogeologiska metoder	112
Tabell B-6	Hydrogeokemiska metoder	115
Tabell B-7	Transportmetoder	117
Tabell B-8	Metoder för borrhning	118

Tabell B-1 Metoder för ytnära ekosystem

Metod	Information
METODER FÖR YTNÄRA EKOSYSTEM	
Mark	
Vegetationskartering	<ul style="list-style-type: none"> • Vegetations- och biotopskarta • Skogsbruk • Mängd • Produktion • Omloppstid • Åldersstruktur • Jordbruk • Produktionsgrödor • Vegetationstyp • Nyckelbiotop • Bestånd/produktion • Arter av kärlväxter, svampar, lavar, mossor och alger • Rödlistade arter
<ul style="list-style-type: none"> • Insamla befintligt mtrl • Flygbildstolkning • Karttolkning • Fältkontroll och inventering av mark/busk – skikt • Kulturlandskap • Nyckelbiotoper i skogs- och jordbruksmark • Övervakning 	
Faunakartering	<ul style="list-style-type: none"> • Hänsynskrävande arter • Jakt (tilldelning och fällstatistik) • Arter (antal/förekomst) • Biomassa • Produktion • Rödlistade (art/antal) • Miljögifter/radionuklider
<ul style="list-style-type: none"> • Insamla befintligt mtrl • Områdesbedömning • Områdesinventering • Övervakning 	
Markprovtagning	<ul style="list-style-type: none"> • Jordmån • Markkemi • Jordmån (typ och tjocklek) • Miljögifter/radionuklider
<ul style="list-style-type: none"> • Befintligt mtrl från SLU • Ev komplettering av SLU • Övervakning 	
Jordartskartering, se Geologiska metoder	<ul style="list-style-type: none"> • Höjdskillnad • Landhöjning/Strandförskjutning • Stratigrafi • Jordarter • Berg i dagen
Akvatisk	
Bottenkartering	<ul style="list-style-type: none"> • Vegetationszoneringskarta • Sjötyper • Sedimenttyp • Syrehalt/-sättning • Skiktning • Ljusförhållanden • Omsättning/ Strömmar • Exponeringsgrad
<ul style="list-style-type: none"> • Vegetation/djurzoneringar • Bottentypsfordelning • Övervakning • Årscykel 	

Metod	Information
Provtagning <ul style="list-style-type: none"> • Vattenhämtning • Håvning • Sonder, syre, salthalt, pH, ljus och temp • Bottenprov med skraphämtare, dykare etc. • Produktionsmätning • Övervakning • Årscykel 	<ul style="list-style-type: none"> • Artsammansättningar och mängd av fauna och flora • Produktion • Vattenkemi • Vattenfysik • Sjötyper • Sedimenttyp • Syrehalt/-sättning • Skiktning • Ljusförhållanden • Temperatur • Miljögifter/radionuklider • Omsättning/ Strömmar • Exponeringsgrad
Fiske <ul style="list-style-type: none"> • Sammanställning av befintlig kunskap • Nätfiske • Elfiske • Ekolod • Övervakning 	<ul style="list-style-type: none"> • Artsammansättning • Miljögifter/radionuklider • Fiskekort, fångst, yrkesfiskare
Batymetrimätningar <ul style="list-style-type: none"> • Lodning • Bottensedimentsstratigrafi 	<ul style="list-style-type: none"> • Morfometri
Vattenomsättningsmätningar <ul style="list-style-type: none"> • Modelling av avrinning • Flödesmätning • Strömmätning • Modelling av strömmar • Övervakning • Årscykel 	<ul style="list-style-type: none"> • Vattenflöden • Strömmar
Klimat/hydrologi Se, meteorologiska och hydrologiska metoder	<ul style="list-style-type: none"> • Tjäle/is • Antal dagar med tjäle • Tjäl djup • Isläggning • Islossning • Vindstyrka • Vindriktning • Lufttryck • Solinstrålning • Dagslängd • Insolation, instrålningsvinkel • Vegetationsperiod • Säsongsutsträckning (dagar) • Nederbörd • Avrinning • Temperatur • Evapotranspiration • Vattenstånd • Luftfuktighet • Vattendelare • In- utströmningsområden

Metod	Information
<p>Människan</p> <p>Datasammanställning från förstudiematerial samt andra databaser</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Friluftsliv • Plockning av bär/svamp • Djurhållning, köttproduktion • Antal/position jordbruk • Areal jordbruk • Kostvanor • Reservat, skyddsområde, riksintresse, m m • Industrier typ • Industrier position • Industrier yta (areal) • Exploateringsplaner mark • Boendeantal fast/fritid • Boende sysselsättning • Boende kostvanor • Områdeshistoria • Fornlämningar • Transporter • Samhällsutveckling • Demografi

Tabell B-2 Geologiska metoder

Metod	Information
GEOLOGISKA METODER	
YTGEOLOGISKA METODER	
Bildanalys topografi/lineament	Lineamentkarta
<ul style="list-style-type: none"> • flygbildstolkning • analys av digital höjddatabas 	<ul style="list-style-type: none"> • storskaliga tektoniska strukturer • regionala och lokala strukturer
Jordartskartering	Jordartskarta med beskrivning
<ul style="list-style-type: none"> • flygbildstolkning • fältkartering • provtagning • undersökning av bottensediment (sjö, hav) 	<ul style="list-style-type: none"> • jordarter, jordmån • jordtäckets mäktighet • identifikation av recipienter • neotektoniska indikationer • tolkningsunderlag för ytnära ekosystem • tolkningsunderlag för grundvattenbildning
Berggrundskartering	Berggrundskartor med beskrivningar
<ul style="list-style-type: none"> • berghällar, bergskärningar • frilagda bergytter • provtagning • jord/bergborrning med kärnprovtagning från bergyta 	<ul style="list-style-type: none"> • bergartsfördelning • bergartsbeskrivning • plastiska strukturer • spröda strukturer • neotektoniska indikationer
NEOTEKTONIK / BERGRÖRELSER	
Neotektonik – observationer och långtidsmonitoring	Indikatorfenomen
<ul style="list-style-type: none"> • geologiska/topografiska observationer i jord och berg • seismiska observationer/ monitoring • analys av geodetiska data <ul style="list-style-type: none"> – GPS-nät och precisions-avvägning – landhöjningsdata – deformationsmätningar 	<ul style="list-style-type: none"> • neotektoniska indikationer (postglaciala förkastningar) • seismisk aktivitet (stabilitet) • långsamma tektoniska rörelser och block-förskjutningar
GEOLOGISKA BORRHÅLSUNDERSÖKNINGAR	
Hammarborrning – undersökning av borrkax och MWD	Underlag för GBD (se nedan)
<ul style="list-style-type: none"> • okulär undersökning • provtagning för mineralogisk analys • MWD 	<ul style="list-style-type: none"> • bergartsgränser • sprickzoner
Kärnborrning – kartering av borrkärna med BOREMAP	Underlag till GBD (se nedan)
<ul style="list-style-type: none"> • bygger geometriskt på BIPS-loggning (om utfört) • geologisk beskrivning av borrkärna • provtagning av bergmatris och sprickmineral för labanalyser (se nedan) 	<ul style="list-style-type: none"> • bergartsfördelning • bergartsbeskrivning • plastiska strukturer • sprickors läge/orientering • sprickytors egenskaper
Provanalyser	Provresultat
<ul style="list-style-type: none"> • mikroskopisk analys • röntgendifraktion • röntgenspektrografi • petrofysisk analys • bergmekanisk analys • åldersdatering 	<ul style="list-style-type: none"> • mineralsammansättning • kemisk sammansättning • densitet, porositet, susceptibilitet, m m • se bergmekanik • ålder

Metod	Information
Geologisk BorrhålsDokumentation (GBD) <ul style="list-style-type: none"> • Geologisk karakterisering längs borrhål: <ul style="list-style-type: none"> – BOREMAP-kartering – undersökning av borrhål – MWD – tolkningsstöd från geofysik – tolkningsstöd från prov-analyser – statistisk bearbetning 	Geologisk beskrivning längs borrhål <ul style="list-style-type: none"> • bergartsfördelning • bergartsbeskrivning • plastiska strukturer • sprickors läge/orientering • sprickytors egenskaper • sprickor statistisk analys • tolkade sprickzoner
GEOFYSISKA METODER	
YTGEOFYSISKA METODER	
Flyggeofysik (även helikopter) <ul style="list-style-type: none"> • magnetiska metoder • elektromagnetiska metoder • radiometriska metoder 	Flyggeofysiska kartor, tolkningsunderlag för: <ul style="list-style-type: none"> • regionala och lokala strukturer, bergarter • regionala och lokala strukturer • bergarter
Geofysisk markmätning (olika skalor) <ul style="list-style-type: none"> • gravimetri • magnetiska metoder • resistivitet (CVES) • elektromagnetiska metoder (VLF, slingram) • transient elektromagnetisk sondering (TEM) • refraktionsseismik • reflektionsseismik • markradar 	Geofysiska kartor, tolkningsunderlag för <ul style="list-style-type: none"> • bergarter • bergarter, strukturer • strukturer, (porositet) • strukturer • strukturer, djupt salt grundvatten • strukturer • subhorisontella strukturer • strukturer, jorddjup
BORRHÅLSGEOFYSISKA METODER	
Geofysisk borrhålsloggning <ul style="list-style-type: none"> • caliper • radiometriska metoder (naturlig gamma, neutron, gamma-gamma) • elektriska metoder (resistivitet, punktresistans, vätskeresistivitet) • magnetiska metoder • sonic • temperatur 	Tolkningsstöd för GBD (se geologi) <ul style="list-style-type: none"> • borrhål status, geometri • bergartsparametrar • bergartsparametrar, strukturer, grundvattnets salthalt, hydrauliska ledare • bergartsparametrar, strukturer • bergartsparametrar, strukturer • bergarts temperatur, vattenförande sprickor
Borrhålsradar <ul style="list-style-type: none"> • reflektionsmätning • tomografi 	Tolkningsstöd för strukturmodell i RVS (se geologi) <ul style="list-style-type: none"> • strukturer (lokala större och lokala mindre) • dito (inom ca 100 m från borrhål)
Borrhålsseismik <ul style="list-style-type: none"> • VSP (Vertical Seismic Profiling) • reflektionsmätning • tomografi 	Tolkningsstöd för strukturmodell i RVS (se geologi) <ul style="list-style-type: none"> • strukturer (regionala, lokala större och lokala mindre) inom upp till 500 m från borrhål
Borrhåls-TV (BIP) <ul style="list-style-type: none"> • BIP-system 	Bild av borrhålsvägg <ul style="list-style-type: none"> • basunderlag för GBD (se geologi) • bergarter • sprickors läge/orientering • borrhålsstatus

Metod	Information
GEODETISKA METODER	
KOORDINATSYSTEM	
Bas-koordinatsystem	Positioneringsstruktur
<ul style="list-style-type: none"> • RAK nationella system används 	<ul style="list-style-type: none"> • X,Y,Z-koordinater
UTSÄTTNING OCH INMÄTNING	
Inmätning med traditionell metod eller GPS	Koordinatpositioner
<ul style="list-style-type: none"> • mätprofiler • mätpunkter/provtagningpunkter • borrhål 	<ul style="list-style-type: none"> • X, Y, Z (RAK) • X, Y, Z (RAK) • X, Y, Z (RAK) och riktning
Borrhålsinmätning och krökningsmätning	Positioner längs borrhål
<ul style="list-style-type: none"> • längd från borring • borrhålskrökning • längdmarkering och längdkalibrering i borrhål 	<ul style="list-style-type: none"> • borrhålslängd • X, Y, Z (RAK) mot borrhålslängd • längdkorrigerade mätpunkter

Tabell B-3 Bergmekaniska metoder

Metod	Information
UNDERSÖKNING AV BERGSPÄNNINGAR	
Bergspänningsmätningar	Bergspänningsresultat
<ul style="list-style-type: none">• överborrning• metoden hydraulisk spräckning• hydraulisk test av existerande sprickor (HTPF)• mätning av normalspänningen mot mekaniskt inducerade sprickor• borehole break-outs, mätning med caliper• kartering av core-discing (skivuppsprickning av borrhärna)• fokalplansanalys från seismisk monitorering, lokalt nätverk	<ul style="list-style-type: none">• storlek och riktning; 3-D metod• storlek och riktning; 2-D metod• storlek och riktning; 3-D metod• storlek och riktning, 2-D metod • riktning huvudspänningar i plan vinkelrätt borrhål• höga bergspänningar i borrhålsväggen i förhållande till bergets hållfasthet• spänningsfält (riktning)
UNDERSÖKNING AV MEKANISKA EGENSKAPER	
Bergmekaniska laborietester	Mekaniska egenskaper
<ul style="list-style-type: none">• tryckförsök (en- och fleraxliga)• bestämning av p-vågshastighet• brasilianskt test• normalbelastningsförsök på sprickor• skjuvförsök på sprickor• kärnkartering	<ul style="list-style-type: none">• deformations- och hållfasthetsegenskaper• p-vågshastighet• draghållfasthet• normalstyvhet• skjuvhållfasthet, skjuvstyvhet• byggegenskaper (RMR, Q)
Övriga laborietester	Övrig egenskaper
<ul style="list-style-type: none">• termiska tester (se även termiska programmet)• densitetsbestämning• röntgendiffraktion	<ul style="list-style-type: none">• längdutvidgningskoefficient• densitet• lermineralbestämningar
Bearbetning av geofysikdata	Tolkningsunderlag
<ul style="list-style-type: none">• seismiska mätningar och soniclogning	<ul style="list-style-type: none">• dynamisk gånghastighet

Tabell B-4 Termiska metoder

Metod	Information
UNDERSÖKNING AV BERGETS TERMISKA EGENSKAPER	
Fältmetoder	Berggrundens temperatur
<ul style="list-style-type: none">• temperaturloggning• termisk responstest i borrhål	<ul style="list-style-type: none">• grundvattnets och (indirekt) bergmassans temperaturfördelning mot djupet• fältbestämning av termiska egenskaper hos bergmassan
Laboratoriemetoder	Termiska egenskaper
<ul style="list-style-type: none">• bestämning av värmeledningsförmåga• bestämning av specifik värmekapacitet• bestämning av densitet• bestämning av porositet• bestämning av kemisk och mineralogisk sammansättning	<ul style="list-style-type: none">• värmeledningsförmåga• specifik värmekapacitet• densitet• porositet• kemisk och mineralogisk sammansättning

Tabell B-5 Hydrogeologiska metoder

Metod	Information
METEOROLOGISKA OCH HYDROLOGISKA METODER	
Analys av befintliga yhydrologiska data	Översiktlig grundinformation, underlag för randvillkor
<ul style="list-style-type: none"> • Topografi, vattendrag, källor 	<ul style="list-style-type: none"> • avrinningsområden • inströmnings-/utströmningsområden
Meteorologisk och yhydrologisk kartläggning och långtidsmonitorering	Tolkningsunderlag för randvillkor
<ul style="list-style-type: none"> • Meteorologi <ul style="list-style-type: none"> – nederbörd, snödjup – temperatur, avdunstning – lufttryck • Hydrologi <ul style="list-style-type: none"> – flöden i större vattendrag – källor, läge och ev flöde – in/utströmningsområden – små vattendrag, läge och ev flöde – (kartering- kvartärgeologi) 	<ul style="list-style-type: none"> • meteorologi och flöden: långtidsregistrerade parametrar • för beskrivning av lokalklimat • för modellering av grundvattenbildning • (se geologi)
HYDROGEOLOGISKA METODER	
UNDERSÖKNINGAR/DOKUMENTATION AV BRUNNAR	
Analys av befintliga data för brunnar och anläggningar	Översiktlig grundinformation
<ul style="list-style-type: none"> • Brunnsarkiv m m 	<ul style="list-style-type: none"> • jordlagrens och ytbergets hydrauliska och grundvattenkemiska egenskaper • markanvändning • dämningföretag, dränering etc
Datainsamling från befintliga brunnar och observationsrör	Grundinformation inom intresseområde
<ul style="list-style-type: none"> • Befintliga brunnar <ul style="list-style-type: none"> – kapacitetsuppgifter – uppgifter grundvattenuttag – grundvattennivåer • Observationsrör <ul style="list-style-type: none"> – kapacitetsuppgifter – grundvattennivåer 	<ul style="list-style-type: none"> • hydrauliska parametrar för jordlager/ytberg (som ovan, men mer detaljerat inom ett begränsat område) • underlag för monitoringsprogram • tillsammans med meteorologiska och ytvattenhydrologiska data utgör insamlade data under denna punkt ett första underlag för konceptualisering av grundvattenbildning och modellering
HYDRAULISKA BORRHÅLSUNDERSÖKNINGAR	
Registrering av spolvattenparametrar vid borrhning	Tolkningsunderlag
<ul style="list-style-type: none"> • spoltryck, spolvattenhalt, spolflöde, returflöde, avsänkning, elektrisk konduktivitet • provtagning av borrhax • registrering i befintliga närliggande borrhål 	<ul style="list-style-type: none"> • spolvattenbalans • hydrauliska strukturer • hydrauliska förbindelser/samband
Hydrauliska tester vid borrhning	Hydrauliska parametrar
<ul style="list-style-type: none"> • tryckregistrering • pumptest • (vattenprovtagning) 	<ul style="list-style-type: none"> • naturligt grundvattentryck • hydraulisk konduktivitet (K-värde) skala $\geq 100\text{m}$ • transmissivitet (T-värde) för större hydrauliska strukturer • (se kemi)

Metod	Information
<p>Absoluttryckmätning/beräkning</p> <ul style="list-style-type: none"> • under borrhning • indirekt från tester • från separat mätning • från monitorering 	<p>Absoluttryck</p> <ul style="list-style-type: none"> • naturligt grundvattentryck; för kontroll och kalibrering av grundvattenmodellering • kontroll av cirkulation i öppet borrhål
<p>Analys av geofysiska metoder</p> <ul style="list-style-type: none"> • temperatur • vätskeresistivitet • punktresistans • caliper 	<p>Tolkningsunderlag för</p> <ul style="list-style-type: none"> • hydrauliska strukturer • grundvattnets densitet
<p>Flödesloggning</p> <ul style="list-style-type: none"> • Spinner, UCM <ul style="list-style-type: none"> – Ackumulerat flöde längs borrhål under konstant avsänkning – flöde – temperatur – vätskeresistivitet • Differensflödeslogg <ul style="list-style-type: none"> – sektionsvis inflöde under konstant avsänkning – olika sektionslängder och avsänkningar – flöde – temperatur – vätskeresistivitet – punktresistans 	<p>Hydrauliska parametrar</p> <ul style="list-style-type: none"> • hydrauliska strukturer: läge och T (uppskattning baserat på helhålstest) • frekvens av större hydrauliska ledare (10 m-skala) • grundvattnets densitet
<p>Grundvattenflödesmätningar</p> <ul style="list-style-type: none"> • Utspädningssond (SKB) <ul style="list-style-type: none"> – ostörda förhållanden – störda förhållanden (pumptester e.dyl.) • Tempulsmetod (Posiva) <ul style="list-style-type: none"> – ostörda förhållanden – störda förhållanden (pumptester e.dyl.) 	<p>Beräkningsunderlag för</p> <ul style="list-style-type: none"> • naturligt grundvattenflöde (modellkalibrering) • om K- eller T-värde bestämts med oberoende metod kan tryckgradient beräknas • flödesrespons vid pumptester (förståelse av hydraulisk konnektivitet vid utvärdering av tester)
<p>Hydrauliska injektionstester</p> <ul style="list-style-type: none"> • Enkel sluten testsektion, <ul style="list-style-type: none"> – konstant tryck, anpassade testtider – transient registrering, – olika sektionslängder och injektionstryck – (ev. interferens mellan sektioner) 	<p>Hydrauliska parametrar</p> <ul style="list-style-type: none"> • K-värdesfördelning för bergmassa och hydrauliska strukturer (lokala större och lokala mindre sprickzoner) (samt skin) • frekvens hydrauliska ledare (>m-skala) • flödesdimension • (naturligt grundvattentryck) • (ev. konnektivitet)
<p>Enhålpumptester</p> <ul style="list-style-type: none"> • Enkel öppen testsektion (oftast hela borrhålet), <ul style="list-style-type: none"> – konstant flöde, anpassade testtider, – transient registrering (flöde, avsänkning, elektrisk konduktivitet) • Enkel avgränsad testsektion <ul style="list-style-type: none"> – konstant flöde, anpassade testtider – transient registrering (flöde, avsänkning, elektrisk konduktivitet) – olika sektionslängder 	<p>Hydrauliska parametrar</p> <ul style="list-style-type: none"> • K-värde för bergmassa, eller T-värde för dominerande hydraulisk struktur • flödesdimension • (naturligt grundvattentryck) • (ev. konnektivitet)

Metod	Information
<p>Hydrauliska interferenstester</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pumphål <ul style="list-style-type: none"> – öppna eller sektionerade borrhål, – konstant flöde, – anpassade testtider, – transient registrering (flöde, avsänkning, elektrisk konduktivitet) • Observationshål <ul style="list-style-type: none"> – öppna eller sektionerade borrhål – transient registrering (avsänkning, eventuellt elektrisk konduktivitet) – flödesförändring (option i vissa borrhålssektioner, grundvattenflödesmätning med utspädningsteknik) 	<p>Hydrauliska förhållanden och parametrar</p> <ul style="list-style-type: none"> • verifiering av väsentliga strukturers geometri och konnektivitet • K-värde för bergmassa, eller T-värde hydrauliska strukturer (lokala större och lokala mindre sprickzoner) • flödesdimension • (magasinskoefficient)
<p>HYDROGEOLOGISK MONITERING</p>	
<p>Långtidsmonitoring av grundvattentryck</p> <ul style="list-style-type: none"> • grundvattennivåer i öppna brunnar/borrhål i jord och ytberg • grundvattentryck i borrhålssektioner (se även hydrauliska interferenstester) 	<p>Grundvattentryckvariationer i tid och rum</p> <ul style="list-style-type: none"> • naturliga förhållanden • grundvattennivåkarta • randvillkor för grundvattenmodellering • kalibrering och kontroll av grundvattenmodeller
<p>Långtidsmonitoring av grundvattenflöde</p> <ul style="list-style-type: none"> • grundvattenflöde i borrhålssektioner (se även hydrauliska interferenstester) 	<p>Grundvattenflödesvariationer i tid och rum</p> <ul style="list-style-type: none"> • naturliga förhållanden • kalibrering och kontroll av grundvattenmodeller

Tabell B-6 Hydrogeokemiska metoder

Metod	Information
HYDROGEOKEMISKA METODER	
YTVATTEN OCH YTNÄRA GRUNDVATTEN	
Provtagning av ytvatten och nederbörd	Vattenkemisk översikt
<ul style="list-style-type: none"> • Nederbörd • Sjöar • Hav • Källor • Vattendrag (åar, bäckar, m m) 	<ul style="list-style-type: none"> • Enligt kemiklass¹ 3 • Enligt kemiklass¹ 3 • Enligt kemiklass¹ 5 • Enligt kemiklass¹ 5 • Enligt kemiklass¹ 3
Provtagning av sedimentporvatten	<ul style="list-style-type: none"> • Enligt kemiklass¹ 5
Provtagning av brunnar	<ul style="list-style-type: none"> • Enligt kemiklass¹ 3
Provtagning i jordrör	<ul style="list-style-type: none"> • Enligt kemiklass¹ 5
HYDROGEOKEMISKA BORRHÅLSUNDERSÖKNINGAR	
Provtagning i hammarborrhål	Grundvattenkemisk översikt
	<ul style="list-style-type: none"> • Grundvattensammansättning (kemiklass 3)
Provtagning under kärnborrning	Kemisk karakterisering av huvudkomponenter²
<ul style="list-style-type: none"> • spolvatten och returvatten-prover • från "teleskopdelen" 0-100 m • "in situ"-provtagning med avmanschetterad sektion, före hydrokemisk störning 	<ul style="list-style-type: none"> • för kvalitetskontroll • "tidig" hydrokemisk översikt <ul style="list-style-type: none"> – för avsnitt av bergmassa – för hydrauliska strukturer
Hydrokemisk loggning (slangprovtagning)	Kemisk karakterisering av huvudkomponenter²
<ul style="list-style-type: none"> • "kontinuerligt" vattenprov av vattenpelaren längs öppet hål 	<ul style="list-style-type: none"> • för identifiering av gränsskikt mot salt grundvatten • "tidig" hydrokemisk översikt
Provtagning vid pumptester	Omfattande kemisk karakterisering av grundvatten³
<ul style="list-style-type: none"> • vid enhåls pumptester • vid interferenstester i de fall där $T > 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ <ul style="list-style-type: none"> – registrering av Eh och pH på markytan 	<ul style="list-style-type: none"> • för bergmassa och hydrauliska strukturer • för väsentliga hydrauliska strukturer
Fullständig kemikarakterisering med mobilt fältlaboratorium	Fullständig kemikarakterisering av grundvatten⁴
<ul style="list-style-type: none"> • från borrhålssektioner $10^{-8} < K < 10^{-6} \text{ m/s}$ <ul style="list-style-type: none"> – kontroll av spolvatteninnehåll – in-situ registrering av Eh och pH – analys i fältlaboratorium och externa laboratorier – trycksatta prover 	<ul style="list-style-type: none"> • sprickor och lokala mindre sprickzoner

Metod	Information
HYDROKEMISK MONITERING	
Långtidsmonitoring av kemiska parametrar	Tolkningsunderlag
<ul style="list-style-type: none"> • provtagningsprogram <ul style="list-style-type: none"> – jordrör, brunnar, borrhål – anpassad mätfrekvens 	<ul style="list-style-type: none"> • huvudkomponenter • kemisk stabilitet • indikation på hydraulisk störning • grundvattnets densitet
ANALYS	
Vattenanalys enligt kemiklasserna 1 till 5	<ul style="list-style-type: none"> • Analysdata
Sprickmineralanalys	Sprickmineralkarakterisering
	<ul style="list-style-type: none"> • typ • kemisk sammansättning • ålder/historia

¹ Se Grundvattenkemisk provtagning och analys, avsnitt 9.5 i /SKB, 1998/.

² Kemiklass 3 inkl isotoper.

³ Kemiklass 4 och 5 med Eh och pH, (ev. humus-fulvo).

⁴ Kemiklass 4 och 5 med Eh och pH, lösta gaser, bakterier, humus-fulvo, kolloider m m.

Tabell B-7 Transportmetoder

Metod	Information
METODER FÖR BERGETS TRANSPORTEGENSKAPER	
LABORATORIEMÄTNINGAR	
Genomdiffusionsmätningar	<ul style="list-style-type: none">• sorptionskoefficienter• matrisdiffusivitet• matrisporositet
Gasdiffusionsmätningar	<ul style="list-style-type: none">• matrisdiffusivitet• matrisporositet
Porositetsmätningar	<ul style="list-style-type: none">• matrisporositet
Batchsorptionsmätningar	<ul style="list-style-type: none">• sorptionskoefficienter
FÄLTMÄTNINGAR	
Resistivitetmätning	<ul style="list-style-type: none">• diffusivitet
Radonmätning	<ul style="list-style-type: none">• våt yta
Enhålsspårförsök (utspädningsmätning)	<ul style="list-style-type: none">• grundvattenflöde• darcyhastighet• verifiering av strukturmodell (i kombination med pumpning)
Enhålsspårförsök (push-pull)	<ul style="list-style-type: none">• flödesporositet• transportmotstånd• dispersivitet• indikation på matrisdiffusion• jämförande sorptionsdata
Enhålsspårförsök (in-situ sorption)	<ul style="list-style-type: none">• sorptionsdata• diffusionsdata
Flerhålsspårförsök	<ul style="list-style-type: none">• gångtid• dispersivitet• flödesporositet (effektiv sprickvidd)• transportmotstånd• verifiering av strukturmodell (konnektivitet)• jämförande sorptionsdata• indikation på matrisdiffusion

Tabell B-8 Metoder för borrhning

Metod	Information
BORRNING	
Hammarborrning	Primär produkt: <ul style="list-style-type: none">• borrhål Mätningar/registreringar under borrhning: <ul style="list-style-type: none">• borrhax (bergarter/omvandling)• borrsjunkningsdata (sprickzoner)• inflödesökning (hydrauliska ledare)
Kärnborrning	Primär produkt: <ul style="list-style-type: none">• borrhål• borrhärna (för geologisk dokumentation, se kartering med BOREMAP) Mätningar/registreringar under och efter borrhning: <ul style="list-style-type: none">• borrsjunkningsdata (för tolkning av sprickzoner)• spolvattenparametrar (för identifiering av hydrauliska ledare, samt data för spolvattenbalansberäkningar)
Jordborrning och -sondering	Data för kvartärgeologisk tolkning: <ul style="list-style-type: none">• jorddjup• jordlagerföljd• ev. med provtagning av ytberg <p>Borrhål kan användas som:</p> <ul style="list-style-type: none">• observationshål för grundvattenyta• grundvattenprovtagning