

**R-10-08**

# **Ramprogram för detaljundersökningar vid uppförande och drift av slutförvar för använt kärnbränsle**

Svensk Kärnbränslehantering AB

Oktober 2010

**Svensk Kärnbränslehantering AB**

Swedish Nuclear Fuel  
and Waste Management Co

Box 250, SE-101 24 Stockholm  
Phone +46 8 459 84 00



ISSN 1402-3091

SKB R-10-08

# **Ramprogram för detaljundersökningar vid uppförande och drift av slutförvar för använt kärnbränsle**

Svensk Kärnbränslehantering AB

Oktober 2010

*Nyckelord:* Undersökningsmetoder, mätinstrument, modellering, metodutveckling, instrumentutveckling, SKBdoc ID1229423

En pdf-version av rapporten kan laddas ner från [www.skb.se](http://www.skb.se).

## Abstract

This report presents a programme for the detailed investigations planned to be applied during construction and operation of the repository for spent nuclear fuel at Forsmark. The report is part of SKB's application according to the Nuclear Activities Act.

The detailed investigations shall provide relevant data on and site-descriptive models for the bedrock, soil deposits and eco-system of the site in order to facilitate a step-wise design and construction of the final repository. This shall be implemented in a manner that all demands on long-term safety are fulfilled, including accurate documentation of the construction work, and so that assessments of the environmental impact of the repository can be made. For the operational phase, the detailed investigations should also provide support to the deposition process with related decisions, thereby enabling fulfilment of the design premises for the siting and construction of deposition tunnels and deposition holes, as well as for deposition of canisters, and for the subsequent backfilling and closure of the repository.

The Observational Method will be applied during the construction of the repository. This method entails establishing in advance acceptable limits of behaviour regarding selected geoscientific parameters and preparing a plan with measures to keep the outcome within these limits. Predictions of expected rock properties are established for each tunnel section. The outcome after excavation is compared with the acceptable range of outcomes. Information from detailed characterization will be of essential importance for application of the Observational Method and for adapting the repository to the prevailing rock properties.

SKB has for the past several decades developed methods for site characterisation, applying both above- and underground investigation techniques. Experiences from this work, put into practice during the site investigations, has resulted in a solid knowledge and understanding of the bedrock conditions at Forsmark. The detailed investigations will employ, apart from established and earlier practiced methods, also further refined and newly developed techniques and methods for investigations and modelling. The report describes the present status for investigation and modelling methodology and techniques and also provides an overview of currently planned method developments.

The report also presents a proposed scenario for how the detailed investigations, in light of presently available knowledge and techniques, should be conducted. Starting points for the investigation programme in this context are the reference design of the facility and remaining uncertainties associated with the site descriptive model and underground design. The scenario highlights those investigations which, more or less as a matter of routine work, will be performed closely coordinated with the progression of the underground excavation work. The investigations related to the development of the deposition areas will primarily be linked to the sequences pilot drilling followed by excavation of deposition tunnels, and pilot drilling with subsequent full-face drilling of deposition holes. Continuous supervision of the fulfilment of design premises and documentation of the facility are in this context important issues.

Information acquired during the construction process will also provide the substantial basis for the assessment of the long-term safety of the final repository. Further, it is emphasised in the report that supplementary investigations will be performed, if the information in any respect is regarded as insufficient. Such investigations may as well be performed from the ground surface. The final repository will in different ways have an impact on the surrounding environment. Monitoring of such changes is therefore an important and integral part of the detailed investigations.

Until the construction work for the final repository is initiated, the detailed investigation programme will be modified and made more circumstantial, including results of planned developments. These updates will be accounted for in ensuing versions of the programme.

# Sammanfattning

Denna rapport presenterar ett ramprogram för detaljundersökningar under uppförande och drift av slutförvaret för använt kärnbränsle i Forsmark. Rapporten utgör underlag för SKB:s ansökan enligt kärntekniklagen.

Detaljundersökningarna ska ge relevanta data om och platsbeskrivande modeller för platsens berggrund, jordlager och ekosystem så att det är möjligt att steg för steg projektera och bygga slutförvaret. Detta ska ske på ett sådant sätt att säkerhetskraven uppfylls, den byggda anläggningen blir noggrant dokumenterad, och så att bidrag till bedömning av miljöpåverkan tillhandahålls. För driftskedet ska detaljundersökningarna ge stöd för deponeringsprocessen och dess beslut, så att uppställda krav (konstruktionsförutsättningar) för placering och utförande av deponeringstunnlar och deponeringshål, för deponering av kapslar samt för återfyllning och förslutning av förvaret uppfylls. De konstruktionsförutsättningar som påverkar detaljundersökningsprogrammet beskrivs i en bilaga till rapporten.

Vid uppförandet av slutförvaret kommer observationsmetoden att tillämpas. Metoden innebär att man i förväg definierar acceptabla utfallsrum för olika geovetenskapliga parametrar och upprättar en plan med åtgärder för att hålla utfallet inom angivna gränser. För varje tunnelavsnitt upprättas prognoser av förväntade bergegenskaper. Utfallet efter utbrytning jämförs sedan med det acceptabla utfallsrummet. Information från detaljundersökningarna kommer att ha väsentlig betydelse vid tillämpning av observationsmetoden och för att anpassa slutförvaret till berggrundens egenskaper.

SKB har under flera årtionden utvecklat metoder för platskaraktärisering av berggrunden med hjälp av undersökningar både från markytan och under jord. Erfarenheterna från detta arbete tillämpades vid platsundersökningarna, vilket resulterade i en god kunskap om och förståelse av berggrundsförhållandena i Forsmark. Vid detaljundersökningarna kommer, förutom etablerade och tidigare tillämpade metoder, även vidareutvecklade och nya metoder för undersökningar och modellering att användas. Förutom nuläget av metodik och teknik för undersökningar och modellering beskriver rapporten även de utvecklingsinsatser som för närvarande planeras.

Rapporten redovisar också hur detaljundersökningarna, mot bakgrund av nuvarande kunskap och teknikstatus, föreslås bli utförda. Utgångspunkter för programmet är dels anläggningens referensutformning och de frågeställningar som aktualiserats mot bakgrund av konstruktionsförutsättningarna för respektive anläggningsdel, dels kvarstående osäkerheter i den platsbeskrivande modellen och för anläggningsutformningen. Programmet lyfter fram de undersökningar och modelleringar som mer eller mindre rutinmässigt kommer att genomföras samordnat med bergarbetenas framdrift. Vid utbyggnad av deponeringsområdena är sekvenserna pilotborrning, undersökningar och byggande av deponeringstunnlar samt pilotborrning, undersökningar och utförande av deponeringshål centrala aktiviteter. Kontinuerlig kontroll av att konstruktionsförutsättningarna uppfylls, liksom detaljerad dokumentation av anläggningen, är härvid viktiga verksamheter.

Den information som insamlas under uppförandet utgör också underlag för förnyad bedömning av slutförvarets långsiktiga säkerhet. I rapporten betonas att kompletterande undersökningar kommer att genomföras om informationen inom något område bedöms vara bristfällig. Sådana undersökningar kan även komma att utföras från markytan. Slutförvarsanläggningen kommer att på olika sätt påverka platsen och dess omgivning. Monitering av förändringar är därför viktigt och utgör en integrerad del av detaljundersökningsprogrammet.

Fram till dess att bygget av slutförvaret inleds kommer detaljundersökningsprogrammet att modifieras och detaljeras, bland annat med hänsyn till resultat från SR-Site samt utvecklingen av undersökningsmetoder och instrument. Dessa uppdateringar kommer att redovisas i kommande versioner av programmet.

# Innehåll

<b>1</b>	<b>Detaljundersökningar – bakgrund och syfte</b>	<b>9</b>
1.1	Bakgrund	9
1.2	Rapportens syfte och avgränsningar	10
1.3	Detaljundersökningarnas syfte och utförande	11
1.4	Uppförande och drift av slutförvaret	11
1.4.1	Skeden	12
1.4.2	Huvudprocesser vid uppförande och drift av slutförvaret	12
1.4.3	Strategi för projektering och uppförande	14
1.4.4	Observationsmetoden	14
1.4.5	Stegvis uppförande	15
<b>2</b>	<b>Informationsbehov och informationsflöde</b>	<b>17</b>
2.1	Informationsbehov	17
2.1.1	Informationsbehov för uppfyllande av konstruktionsförutsättningar	17
2.1.2	Informationsbehov för att reducera osäkerheter	18
2.2	Informationsflöde	20
<b>3</b>	<b>Metoder för undersökningar och modellering</b>	<b>23</b>
3.1	Översikt	23
3.2	Modelleringsstrategi	23
3.2.1	Övergripande strategier	24
3.2.2	Ämnesövergripande integration	28
3.3	Undersökningsmetoder	28
3.4	Verktyg för datahantering, datalagring och modellering	30
<b>4</b>	<b>Detaljundersökningar under olika steg av uppförande och drift</b>	<b>31</b>
4.1	Inledning	31
4.2	Detaljundersökningar – generellt	32
4.2.1	Rutinmässiga undersökningar	32
4.2.2	Modellering	34
4.2.3	Monitering	34
4.3	Detaljundersökningar – tillfarer	37
4.3.1	Frågeställningar, osäkerheter och konstruktionsförutsättningar	37
4.3.2	Detaljundersökningar i samband med uppförande	37
4.3.3	Andra undersökningar i anläggningens tillfarer	39
4.4	Detaljundersökningar – centralområde	40
4.4.1	Frågeställningar, osäkerheter och konstruktionsförutsättningar	40
4.4.2	Detaljundersökningar i samband med uppförande	40
4.4.3	Andra undersökningar i centralområdet	41
4.5	Detaljundersökningar – förvarsområdet	41
4.5.1	Översikt	41
4.5.2	Frågeställningar relaterade till konstruktionsförutsättningar och osäkerheter	43
4.5.3	Beslutssekvens och detaljplanering vid utbyggnad av förvarsområdet	47
4.5.4	Detaljundersökningar i samband uppförande av transport- och stamtunnlar för nytt deponeringsområde	47
4.5.5	Detaljundersökningar i samband med uppförande av deponeringstunnlar	50
4.5.6	Detaljundersökningar i samband med tillredning av deponeringshål	51
4.5.7	Andra undersökningar i förvarsområdet	53
4.6	Kompletterande undersökningar med syfte att bedöma slutförvarets säkerhet	53
<b>5</b>	<b>Kvalitetsstyrning och kvalitetssäkring av detaljundersökningarna</b>	<b>55</b>
5.1	Kvalitetsaspekter	55
5.2	Styrning och kvalitetssäkring	56

5.2.1	Kontroll av datakvalitet	56
5.2.2	Dokumentation och spårbarhet	56
5.2.3	Rimlighetskontroll av data	57
5.3	Kvalitetssäkring av modeller och modelleringsresultat	57
5.3.1	Kontroll av kod och resultat	57
5.3.2	Dokumentation och spårbarhet	57
<b>6</b>	<b>Redovisning av resultat från detaljundersökningsprogrammet</b>	<b>59</b>
6.1	Vad ska redovisas?	59
6.2	När och hur ska redovisning ske?	59
<b>7</b>	<b>Fortsatt planering och utveckling</b>	<b>61</b>
7.1	Fortsatt utveckling av program för undersökningar och modellering	61
7.2	Modellering – vidareutveckling av strategi, metodik och verktyg	61
7.2.1	Modellering – strategi och metodik	62
7.2.2	Modelleringsverktyg	62
7.2.3	Redovisning	62
7.3	Vidareutveckling av metoder och instrument för undersökningar	62
7.3.1	Kartering och andra undersökningar av bergutrymmen	64
7.3.2	Geologiska och geofysiska borrhålsundersökningar	66
7.3.3	Bergmekanik	67
7.3.4	Termiska egenskaper	67
7.3.5	Hydrogeologiska undersökningar	67
7.3.6	Hydrogeokemiska undersökningar	68
7.3.7	Bergets transportegenskaper	68
7.3.8	Monitering	69
7.3.9	Borrning	69
7.3.10	Geodesi	70
7.4	Vidareutveckling av verktyg för datahantering och datalagring	70
	<b>Referenser</b>	<b>71</b>
<b>Bilaga 1</b>	Detaljundersökningarnas roll för att konstruktionsförutsättningarna ska uppfyllas	73
<b>Bilaga 2</b>	Modelleringsmetodik	79
<b>Bilaga 3</b>	Metoder och instrument	85

# 1 Detaljundersökningar – bakgrund och syfte

## 1.1 Bakgrund

Denna rapport presenterar ett ramprogram för detaljundersökningar under uppförande och drift av slutförvaret för använt kärnbränsle i Forsmark. Rapporten utgör underlag för SKB:s ansökan enligt kärntekniklagen. Förvarets långsiktiga säkerhet står i centrum, vilket i hög grad styr kravbilderna för såväl undersökningar som utförande. Rapporten utgör ett stöd för och komplement till SKB:s rapport ”Design, construction and initial state of the underground openings” (benämns i fortsättningen Berglinjerapporten /SKB 2010a/).

SKB har redan i dag god kunskap om bergförhållandena i Forsmark. Platsbeskrivningen för Forsmark /SKB 2008a/ redogör för platsens egenskaper och utgör en syntes av en stor mängd underliggande rapporter, som redovisar hela kedjan från datainsamling till färdig platsmodell. I /SKB 2009a/ presenteras en ingenjörsgelogisk tolkning av platsmodellen som underlag för den platsanpassade projekteringen av ett slutförvar i Forsmark. De osäkerheter i platsbeskrivningen som kvarstår sammanfattas i /SKB 2008b/. Baserat på detta underlag har en platsanpassad utformning av slutförvarets bergförlagda delar tagits fram /SKB 2009b/.

Undersökningar, analys och modellering under slutförvarets uppförande och drift ska utföras för att ge underlag för den slutliga anpassningen till rådande bergförhållanden. Detta kräver högre detaljeringsgrad vid mätningar, analys och modellering av undersökningsdata än som var fallet vid den genomförda platsundersökningen. Därför benämns kommande undersökningar, analyser och modellering fortsättningsvis ”detaljundersökningar”, och hela programmet benämns ”detaljundersökningsprogrammet”.

SKB har genom åren byggt upp kunskap om metoder för karakterisering av berggrunden. Grunden lades under 70- och 80-talens typområdesundersökningar och den geovetenskapliga forskning och utveckling som bedrevs inom Stripaprojektet, följt av förundersökningarna för Äspölaboratoriet. Undersökningarna i samband med Äspölaboratoriets uppförande och den därefter pågående forskningsverksamheten har tillfört omfattande kunskaper om metoder och instrument för karakterisering under jord. Internationella samarbeten har bidragit med erfarenheter från andra organisationer, där SKB:s finska systerorganisation Posiva har en särställning. Finlands slutförvarskoncept är detsamma som Sveriges, och samarbetet med Posiva om detaljundersökningar kommer att bedrivas både vid deras forskningsanläggning ONKALO och vid Äspölaboratoriet.

Detaljundersökningsprogrammet kommer att fördjupas och vidareutvecklas fram till genomförandet. Under de kommande åren fram till byggstart behöver programmet bland annat uppdateras med hänsyn till resultat från säkerhetsredovisningen, speciellt rapporten ”Långsiktig säkerhet för slutförvaret för använt kärnbränsle. Huvudrapport från projekt SR-Site” (benämns i fortsättningen SR-Site /SKB 2011/), myndigheternas granskning av denna och de villkor som kan komma att kopplas till tillståndet att uppföra och driva slutförvaret. Vidare kommer metoder och instrument för detaljundersökningarna att vidareutvecklas och funktionstestas, se även Fud-program 2010 /SKB 2010b/. Processen att utveckla programmet så att det finns tillgängligt inför olika skeden i slutförvarets uppförande och drift beskrivs nedan.

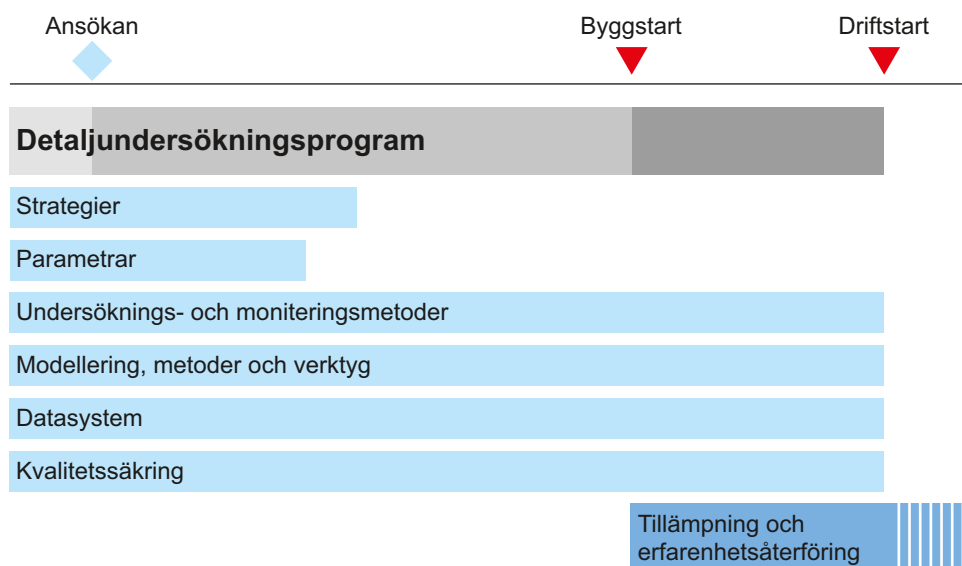
## 1.2 Rapportens syfte och avgränsningar

Syftet med denna rapport, som är en första version av detaljundersökningsprogrammet, kan uttryckas i följande punkter:

- Att presentera de övergripande förutsättningarna och strategierna för detaljundersökningsprogrammet.
- Att ge exempel på hur programmet kan tillämpas under uppförande och drift av slutförvaret med beaktande av krav på långsiktig säkerhet.
- Att presentera SKB:s planer för fortsatt utveckling av program, metoder och verktyg för undersökningar, modellering, datahantering och kvalitetssäkring.

Eftersom detaljundersökningarna ligger flera år framåt i tiden planeras utvecklingsarbetet att genomföras i steg. Med begreppet ”ramprogram” i rapporttiteln avses att denna rapport ska ge en översiktlig beskrivning av de undersökningar som planeras för slutförvarets hela uppförande och drifttid. Det är svårt att för en så lång tidsperiod i detalj förutse dels alla krav som kommer att ställas på undersökningarna, dels vilka möjligheter ny teknik kan komma att erbjuda. Detaljundersökningsprogrammet måste därför i dagsläget beskrivas huvudsakligen i generella termer. Detaljerade program för olika delar av anläggningen (tillfarter, centralområde och förvarsområde) kommer senare att presenteras i separata rapporter. Figur 1-1 ger en översiktlig bild av utvecklingsgången för detaljundersökningsprogrammets framväxt och vilka underlag som kommer att vara viktiga.

Detaljundersökningsprogrammet behandlar inte frågor som avser byggkontroll, arbetsmiljö eller undersökningar specifikt avsedda för miljökontroll. Med miljökontroll avses den verksamhet som syftar till att dels förebygga slutförvarets påverkan på naturmiljön, dels övervakningen av eventuell miljöpåverkan. Miljökontrollen kommer att använda data från detaljundersökningarna, exempelvis data som visar hur anläggningen påverkar grundvattensituationen. Ett förslag till kontrollprogram, avseende omgivningspåverkan inklusive buller och vibrationer, presenteras i ”Förslag till kontrollprogram. Uppförande och drift av anläggningar för mellanlagring, inkapsling och slutförvaring av använt kärnbränsle”, som utgör bilaga till ansökan enligt miljöbalken.



**Figur 1-1.** Detaljundersökningsprogrammet med tillhörande underlag kommer att utvecklas vidare med förnyade redovisningar, t ex inför byggstart respektive driftstart.



### 1.3 Detaljundersökningarnas syfte och utförande

Detaljundersökningarnas syften är att:

- Ge underlag för anpassning av förvaret till de platsspecifika förhållandena för att möta konstruktionsförutsättningarna, bland annat med avseende på långsiktig säkerhet.
- Ge underlag till ingenjörsmässiga beslut om till exempel injekterings- och förstärkningsåtgärder.
- Uppdatera platsmodeller, som i sin tur ska vara underlag för säkerhetsanalyser avseende långsiktig säkerhet.

Syftena leder till att detaljundersökningarna ska tillhandahålla relevant och tillräcklig information om platsens berggrund, jordlager och ekosystem så att det blir möjligt att steg för steg projektera och bygga slutförvaret på ett sådant sätt att säkerhetskraven uppfylls, att dokumentera den byggda anläggningen samt att ge bidrag till bedömning av miljöpåverkan. Detta innebär att platsens generellt sett fördelaktiga egenskaper (låg sprickfrekvens liksom låg hydraulisk transmissivitet på förvarsdjup, generellt hög värmeledningsförmåga och lämplig hydrogeokemisk miljö) ska kunna bekräftas, och att slutförvarets layout och placering av deponeringshål ska anpassas till berggrundens egenskaper. Anpassning av layouten kan exempelvis avse optimering av deponeringstunnlarnas orientering i förhållande till bergspänningarna och att anpassa avståndet mellan deponeringshål med hänsyn till bergets värmeledningsförmåga.

För driftskedet avses med det första syftet att data tas fram och detaljerade modeller upprättas till stöd för deponeringsprocessen, så att uppställda konstruktionsförutsättningar uppfylls för placering av deponeringstunnel och deponeringshål, deponering av kapsel samt återfyllning och förslutning. Det tredje syftet, avseende modellering, innebär att information från detaljundersökningarna stegvis ska uppdatera befintlig platsbeskrivning genom att öka modellernas detaljeringsgrad och minska deras osäkerheter.

Modellering ska utföras inom olika geovetenskapliga ämnesområden med erforderlig determinism och i relevant modelleringsskala. Modelleringsstrategi och -metodik ska vidareutvecklas med hänsyn till erfarenheter från platsundersökningarna och kommuniceras i kommande programversioner. Vidare ska en ”verktygslåda” med metoder, instrument och datorsystem för undersökning, modellering, databearbetning och datalagring finnas tillgänglig och vara dokumenterad. Kravuppfyllelsen ska regelbundet prövas, och vid behov ska förbättringsåtgärder vidtas.

Detaljundersökningarna ska genomföras väl samordnat med projektering och byggande, där tillämpning av observationsmetoden (se avsnitt 1.4.4) utgör den övergripande strategin för insamling och användning av information. SKB:s tillämpning av observationsmetoden för slutförvaret kommer att vidareutvecklas fram till byggstart.

Detaljundersökningarna ska kvalitetssäkras med avseende på utförande och resultat. Kvalitetssäkringen grundar sig på erfarenheter från platsundersökningen och ska vidareutvecklas med hänsyn till de krav som kommer att ställas på slutförvaret och de integrerade arbetsformer som kommer att gälla. Kvalitetsaspekter behandlas mer utförligt i kapitel 5.

### 1.4 Uppförande och drift av slutförvaret

Hur slutförvarsanläggningen ska utformas och anpassas till platsens egenskaper har utarbetats inom projekteringsarbetet. Bland redovisningarna nämns här anläggningsbeskrivningen för Forsmark /SKB 2010c/ samt rapporten från undermarksprojekteringen /SKB 2009b/. Den senare presenterar bland annat en layout som är anpassad till berggrundens egenskaper, metoder för uppförandet och en analys av genomföranderisker. Berglinjerapporten /SKB 2010a/ beskriver vald referensutformning och metoder för bergguttag, tätning och förstärkning och visar hur detta leder till att konstruktionsförutsättningarna för långsiktig säkerhet uppfylls. De senare redovisas i /SKB 2009c/.

### 1.4.1 Skeden

Uppförandet av slutförvaret och deponeringen av använt kärnbränsle kommer att pågå under flera decennier, se figur 1-2. En berganläggning av betydande storlek kommer att ha färdigställt då den sista kopparkapseln har deponerats.

*Uppförandeskedet* inleds när SKB fått tillstånd att uppföra slutförvarsanläggningen och byggnationen påbörjas. Under detta skede anläggs tillfarterna till slutförvaret och centralområdet, liksom de utrymmen och installationer som behövs för verksamheten under driftskedet. I senare delen av uppförandeskedet drivs de första deponeringstunnlarna, och ett antal deponeringshål borras för intrimning av deponeringstekniken. Även om tekniska system kommer att driftsättas under hela uppförandeskedet, kommer denna verksamhet successivt att öka mot slutet av skedet. Under *driftsättningen* kommer anläggningsdokumentation att upprättas och en driftorganisation att byggas upp. Då utförs även samfunktionsprovning av hela slutförvarssystemet. Baserat på denna upprättas en förnyad säkerhetsredovisning (SAR = *Safety Assessment Report*) som grund för ansökan om tillstånd att påbörja deponering av använt kärnbränsle.

När tillstånd för deponeringen erhållits, inleds *driftskedet*. Efter en period med provdrift övergår verksamheten i rutinmässig drift, under vilken säkra och funktionella arbetsrutiner är fundamentala. Driftskedet innefattar fortsatt utbyggnad av förvarsområdet, samtidigt som deponering utförs i de redan uppförda delarna. Driften består i att tillreda bergutrymmen för deponering (tunnlar och deponeringshål), att deponera kapslar med använt bränsle och att försluta deponeringshål och återfylla tunnlar. Det är således driftskedet som omfattar den dominerande delen av verksamheten i såväl tid som rum, varvid ca 6 000 kapslar ska deponeras under mer än 40 år.

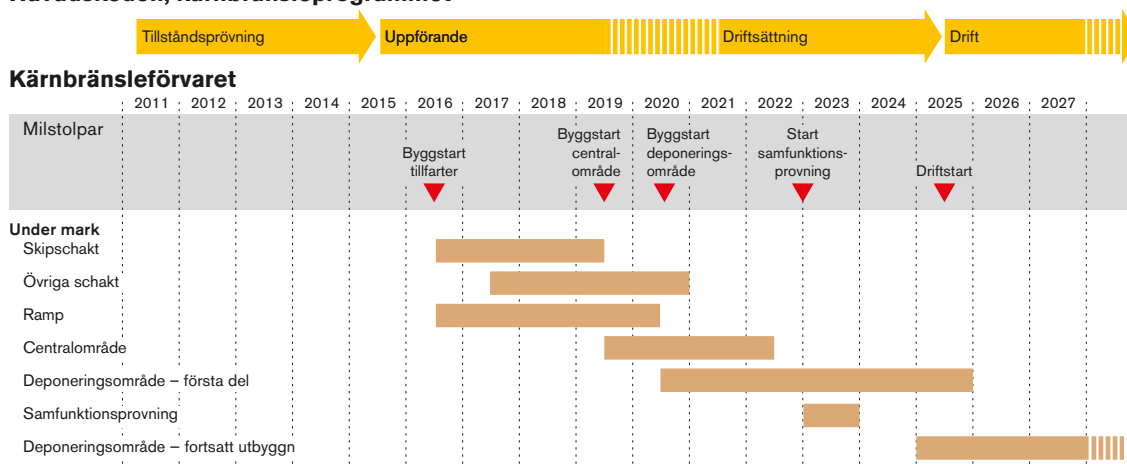
### 1.4.2 Huvudprocesser vid uppförande och drift av slutförvaret

Den bergrelaterade verksamheten vid slutförvarets uppförandeskede kan, enligt ”Verksamhet, ledning och styrning – uppförande av slutförvarsanläggningen” (benämns i fortsättningen Bilaga VU /SKBdoc 1199888/), på en övergripande nivå indelas i två huvudprocesser:

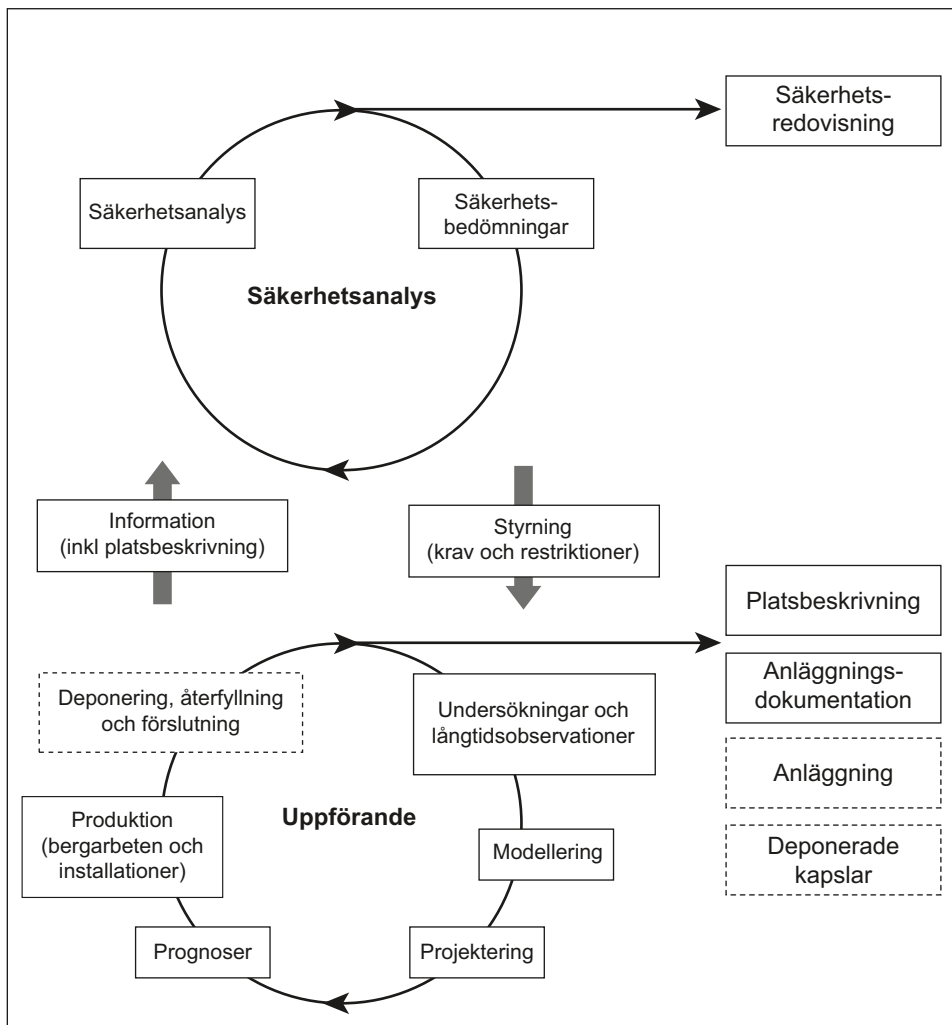
- Uppförande.
- Säkerhetsanalys.

Sambandet mellan huvudprocesserna illustreras i figur 1-3. Under slutförvarets driftskede tillkommer deponeringsverksamheten, vilken illustreras i figuren med den streckade rutan i uppförandeprocessen.

#### Huvudskeden, kärnbränsleprogrammet



Figur 1-2. Översiktlig tidsplan för slutförvarets anläggningar under mark.



**Figur 1-3.** Illustration av uppförandeskedets huvudprocesser Uppförande och Säkerhetsanalys. Streckade komponenter tillkommer när slutförvarsanläggningen tas i drift.

Huvudprocess *Uppförande* har som mål att leverera tillfarter, färdigställt centralområde och tillredning för provdrift. Verksamheten omfattar bland annat undersökningar, modellering, projektering, bergarbeten samt konstruktion och montage av tekniska system.

Projektering, undersökningar och bygge (produktion) kräver väl fungerande samordning och informationsutbyte, eftersom undersökningarna kommer att bedrivas parallellt med pågående produktion. Ett väsentligt syfte med undersökningar och modellering är att regelbundet uppdatera underlag till projektering och byggande av de olika försvarsdelarna. Uppdatering av platsmodellen över hela försvarsområdet och områden utanför detta görs mera sällan och i första hand för huvudprocess *Säkerhetsanalys*.

Inom huvudprocess *Säkerhetsanalys* samlas den verksamhet som har som mål att förnya den preliminära säkerhetsredovisningen (PSAR = *Preliminary Safety Assessment Report*) till en säkerhetsredovisning (SAR), som utgör en del i ansökan att inleda provdrift. Säkerhetsanalys ska också ge styrning till huvudprocessen *Uppförande* så att slutförvaret uppfyller uppställda säkerhetskrav (Bilaga VU, /SKBdoc 1199888/). Säkerhetsfrågorna, som kan beröra både driftsäkerhet och långsiktig säkerhet och som utgör en central del i genomförandet, avser i detta sammanhang de som relaterar till platsens egenskaper och till ingenjörsbarriärernas funktion.

Inom huvudprocess *Säkerhetsanalys* görs regelbundet avstämningar mot uppdaterade platsmodeller och mot förutsättningar och antaganden i den senaste säkerhetsredovisningen. Arbetet utgår från den platsbeskrivning som tagits fram efter avslutade platsundersökningar /SKB 2008a/ och de säkerhetsredovisningar, SR-Site och PSAR, som lämnats vid ansökan respektive inför byggstart.

Under genomförandet kan oförutsedda händelser inträffa; vissa kan ha betydelse för säkerheten. För att säkerställa en enhetligt dokumenterad och styrd hantering av dessa händelser finns funktionen Säkerhet i projektet (SIP). Målet med funktionen SIP är att den ska utöva en fortlöpande kontroll avseende geovetenskapliga förhållanden som påverkar platsanpassning, undermarksarbete och deponeringsarbete (inklusive kontroll och inspektion av främmande material). Genom funktionen SIP ska händelser som kan påverka kvalitetskritiska moment i projektet uppmärksammas i ett tidigt skede, så att de ska kunna åtgärdas (Bilaga VU, /SKBdoc 1199888/).

### 1.4.3 Strategi för projektering och uppförande

Att bygga i berg är förknippat med osäkerheter, som måste hanteras vid projektering och byggande. Även om en omfattande platsundersökning genomförts och de resulterande modellerna beskriver bergets egenskaper med en förhållandevis god detaljeringsgrad, innebär rumslig variabilitet och osäkerheter för vissa egenskaper att anläggningens utformning och strategier för uppförandet inte helt kunnat fastläggas då anläggningsarbetena påbörjas. Layout och plats specifika konstruktionslösningar kommer i stället att successivt och alltmer i detalj anpassas till berget, allteftersom nya undersökningsresultat och byggerfarenheter föreligger och modeller tas fram. I denna process står konstruktionsförutsättningarna avseende långsiktig säkerhet i fokus.

För att specificera kraven på slutförvarets utförande och funktion samt åskådliggöra det planerade produktionsflödet fram till färdigt slutförvar har SKB definierat ett antal produktionslinjer, av vilka ”berglinjen” omfattar uppförande och tillredning av slutförvarets undermarksdelar. Berglinjerapporten /SKB 2010a/ beskriver vald referensutformning och metoder för uttag, tätning och förstärkning av berget och värderar detta i förhållande till de konstruktionsförutsättningar som lagts fast för anläggningens långsiktiga säkerhet /SKB 2009c/ (konstruktionsförutsättningarna presenteras i bilaga 1). Dessutom ställer den valda referensutformningen av kapsel, buffert, återfyllning och förslutning ytterligare krav på berget. Även dessa redovisas i Berglinjerapporten. I enlighet med metodiken för framtagande av konstruktionsförutsättningarna kommer dessa att revideras efter varje säkerhetsredovisning.

Berglinjerapporten redogör dessutom för projekteringsmetodik och teknik för byggande samt procedurer för att verifiera att säkerhetskraven för slutförvaret uppfylls. Detaljundersökningsprogrammet kommer att ha en betydande roll i detta, både genom att ge underlag för anpassningen och för verifiering av kravuppfyllelsen, se avsnitt 2.2. Planerad teknik för slutförvarets uppförande och drift presenteras i Berglinjerapporten som så kallade ”referensmetoder”, med vilket avses de metoder som enligt gällande förutsättningar kommer att användas. Om konstruktionsförutsättningarna revideras eller befintlig teknik förbättras, kan också referensmetoderna med tiden behöva modifieras eller bytas mot andra.

### 1.4.4 Observationsmetoden

Bergprojekteringen och bergarbetena kommer att genomföras i enlighet med observationsmetoden /EN 1997-1:2004/. Metoden är en riskhanteringsmetod som bygger på att möjliga och acceptabla beteenden för konstruktionen ska bestämmas innan konstruktionsarbetena påbörjas. Detta förutsätter att man i förväg har upprättat prognoser över bergets förväntade egenskaper, där ett visst utfallsrum (variationsområde) bedömts acceptabelt som underlag för konstruktionsarbetet. De egenskaper som i första hand avses för en berganläggning är stadga, täthet och beständighet. En plan för observation (mätning) ska upprättas, tillsammans med en plan för åtgärder, om det visar sig att värdena riskerar att falla utanför ramarna för vad som kan accepteras, dvs utanför angivet utfallsrum. Om planerade åtgärder inte är tillräckliga, görs en analys av vilka konsekvenser avsteget medför. Detta kan innebära att omprojektering måste utföras och byggplaner revideras (se förklaring och tillämpning av SIP i avsnitt 1.4.2).

Utgående från de grundläggande kraven på slutförvarsanläggningens stadga, täthet och beständighet avser SKB att vidareutveckla observationsmetoden, så att den även tillgodoser SKB:s speciella behov att säkerställa att förvaret platsanpassas med hänsyn till konstruktionsförutsättningarna, inklusive krav med hänsyn till långsiktig säkerhet samt utförandekrav, som relaterar till andra barriärer, främst buffert och återfyllnad, se /SKB 2009c/.

Detaljundersökningar och upprättande av prognoser över bergförhållanden är centrala aktiviteter inom observationsmetodens tillämpning för slutförvarsanläggningen. Planering och genomförande av detaljerade undersökningar är mot denna bakgrund en viktig löpande process för att i tid ge tillräcklig kunskap om platsförhållandena, vilken kan ligga till grund för att modifiera den detaljerade utformningen av förvarsanläggningen.

#### 1.4.5 Stegvis uppförande

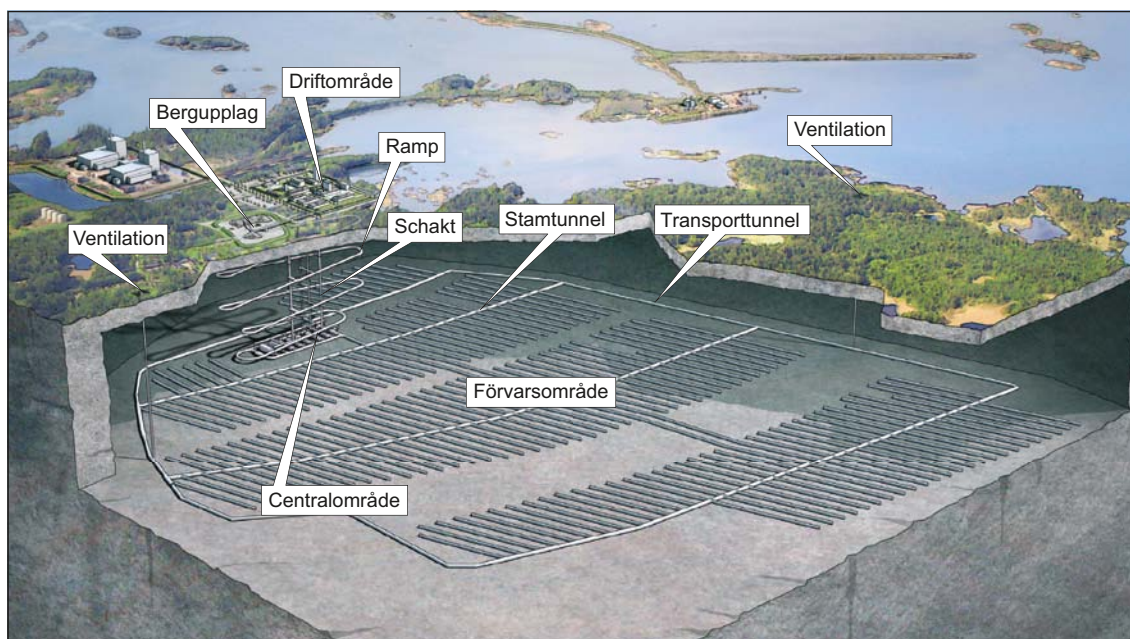
Anläggningen under jord kommer att bestå av tre huvuddelar med delvis olika funktionskrav, se figur 1-4:

- Tillfarter (ramp och schakt).
- Centralområde.
- Förvarsområdet med deponeringsområden (stamtunnlar, transporttunnlar och deponeringstunnlar).

Projekteringen av slutförvaret kommer att göras i två steg, först *systemprojektering* och därefter *detaljprojektering*. Utbyggnaden kommer att göras i etapper.

Som underlag för SR-Site /SKB 2011/ och ansökningarna enligt kärntekniklagen och miljöbalken har hela slutförvarsanläggningen projekterats till en enhetlig nivå benämnd Layout D2 /SKB 2009b/. Inför byggstart kommer en översyn av Layout D2 och ingående system att göras i en systemprojektering av hela anläggningen. Därefter kommer olika delar av anläggningen att befinna sig i skilda faser av planering och produktion med pågående eller slutförd deponering i vissa delar av slutförvaret och bergarbeten i andra delar. Samtidigt kan undersökningar och detaljplanering pågå för tillkommande deponeringsområden.

Kunskapsbehovet avseende berggrunden för de skilda anläggningsdelarna enligt ovan är delvis olika, vilket har betydelse för detaljundersökningarna. Under exempelvis driftskedet utgör drivning av deponeringstunnlar och borring av deponeringshål en väsentlig del av verksamheten. Speciellt i anslutning till deponeringsprocessens beslutstillfällen, t ex om deponeringstunnlars sträckning och deponeringshålens placering och godkännande för kapseldeponering, ger detaljundersökningarna ett väsentligt underlag. De varierande informationsbehoven i olika delar av slutförvarsanläggningen belyses mer detaljerat i kapitel 4.



Figur 1-4. Slutförvaret i Forsmark, föreslagen utformning.

## 2 Informationsbehov och informationsflöde

### 2.1 Informationsbehov

Även om det finns en god uppfattning om vilken information som krävs under slutförvarets uppförande och drift, behöver informationsbehovet från detaljundersökningarna specificeras i det fortsatta programarbetet, främst med avseende på:

- Uppfyllandet av konstruktionsförutsättningar för slutförvarsanläggningen.
- Reducering av osäkerheter.

#### 2.1.1 Informationsbehov för uppfyllande av konstruktionsförutsättningar

Slutförvarets långsiktiga säkerhet är beroende av att förvarsanläggningen i sin helhet, liksom i sina detaljer, utformas rätt och anpassas till bergets egenskaper. SKB har, utgående från säkerhetsanalysen SR-Can, sammanställt ett antal konstruktionsförutsättningar med hänsyn till slutförvarets långsiktiga säkerhet /SKB 2009c/. Konstruktionsförutsättningarna utgörs av direkta eller indirekta krav på anläggningens dimensionering, hur anläggningen ska anpassas till berggrundens egenskaper, och hur uppförandet tillåts påverka det omgivande berget, allt med avseende på att den långsiktiga säkerheten ska uppfyllas. Med direkta krav menas konstruktionsförutsättningar som avser bergets egen barriärfunktion. Med indirekta krav menas konstruktionsförutsättningar som ställts för att andra barriärer (främst buffert och återfyllnad) konstruktionsförutsättningar ska kunna uppfyllas. Utöver dessa långsiktiga säkerhetskrav ställs krav på anläggningens tekniska funktion under dess drifttid, vilket framgår av Berglinjerapporten /SKB 2010a/.

De konstruktionsförutsättningar som påverkar detaljundersökningarna presenteras i bilaga 1. Där beskrivs också detaljundersökningarnas roll för att konstruktionsförutsättningarna ska uppfyllas. Nedan presenteras ett urval av de konstruktionsförutsättningar som på något sätt påverkar detaljundersökningsprogrammets utformning, grupperade enligt ovan beskrivna kategorier:

#### **Konstruktionsförutsättningar avseende bergets barriärfunktion (förkortat urval översatt till svenska från /SKB 2009c/)**

- Det är inte tillåtet att placera deponeringshål närmare än 100 m från deformationszoner med en spårlängd på markytan längre än 3 km.
- Deponeringshål ska, så långt som rimligen är möjligt, väljas så att kraftigare skjuvning än vad kapseln kan motstå inte kan uppstå (så kallade ”långa sprickor” ska undvikas, se längre fram i detta avsnitt).
- Grundvattnets sammansättning i bergvolymer som väljs för deponeringshål ska, före utsprängning, uppfylla kriterierna som är uppställda i SR-Can.
- Buffertgeometri (t ex hålutrymmen), buffertens vatteninnehåll och avstånd mellan deponeringshål ska väljas så att temperaturen i bufferten är  $< 100$  °C.
- Den totala vattenvolymer som strömmar in i ett deponeringshål, för tiden från det att bufferten exponeras för inströmmande vatten till mättnad, ska vara begränsad.
- Före kapselplacering måste den sammanhängande faktiska transmissiviteten, integrerad utefter hela längden av deponeringshålets vägg och medelvärdesbildad runt hålet, vara lägre än  $10^{-10}$  m<sup>2</sup>/s.
- Sprängskador ska begränsas och får inte leda till en sammanhängande effektiv transmissivitet, utefter en betydande del (dvs minst 20–30 m) av deponeringstunneln och medelvärdesbildat över tunnelsulan, som är högre än  $10^{-8}$  m<sup>2</sup>/s.
- Under toppförslutningen (den del av tillfarterna som ligger ovanför de delar som enligt referensutformningen ska förslutas med lermaterial) måste den integrerade effektiva sammanhängande hydrauliska konduktiviteten hos återfyllnaden i tunnlar, ramper och schakt, liksom i EDZ-zonen som omger dem, vara lägre än  $10^{-8}$  m/s (EDZ förklaras i avsnitt 4.5.2).

### **Konstruktionsförutsättningar avseende bergutrymmen och berggrund för att konstruktionsförutsättningarna för andra barriärer ska kunna uppfyllas, Berglinjerapporten /SKB 2010a/**

- Krav på deponeringshål i form av volym, diameter, rakhet, mm för att bufferten ska kunna uppfylla sin givna barriärfunktion.
- Krav på deponeringstunnlar i form av volym, tvärsnittsareor och bergutfall för att återfyllnaden ska kunna uppfylla sin givna funktion.
- Krav på deponeringstunnlar i form av maximalt totalt inflöde och maximalt punktinflöde för att återfyllnaden ska kunna uppfylla sin givna funktion.

### **Konstruktionsförutsättningar avseende bergutrymmen och berggrund för anläggningens tekniska funktion under dess uppförande- och drifttid, Berglinjerapporten /SKB 2010a/**

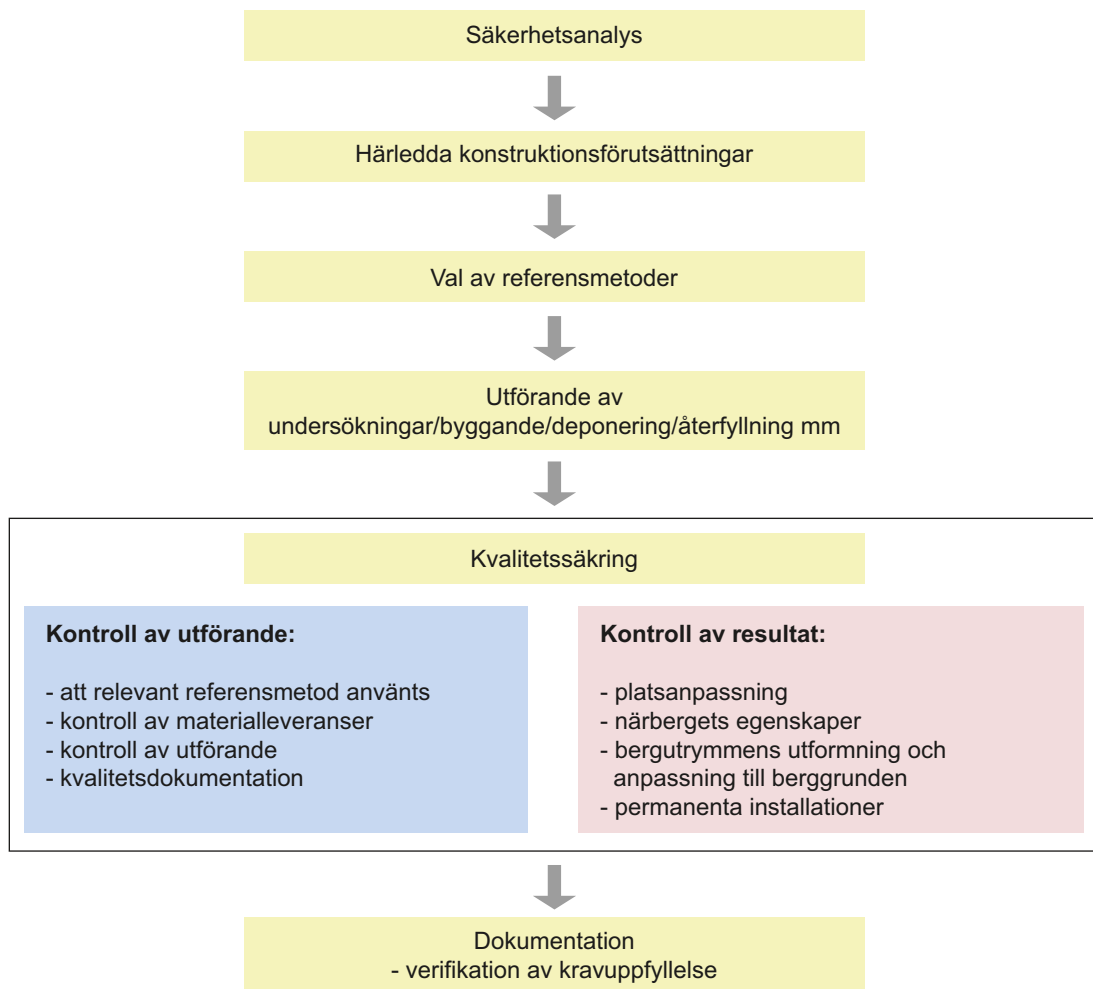
- Krav på maximala vatteninflöden till de delar av anläggningen som inte är deponeringstunnlar.

Att konstruktionsförutsättningarna blir uppfyllda säkerställs genom att utförandet genomförs med metoder som är speciellt utformade för slutförvarets uppförande och drift (referensmetoder) och genom kvalitetskontroll av att utförandet följer referensmetodernas specifikationer. Detaljundersökningarna bidrar på två sätt till att konstruktionsförutsättningarna uppfylls. Dels ger insamlade data och uppdaterade modeller underlag till projektering och byggande, dels kan undersökningsresultat i efterhand verifiera att konstruktionsförutsättningar har uppfyllts. Sambandet mellan uppställda säkerhetskrav, konstruktionsförutsättningar, referensmetoder samt utförande och kontroll av att säkerhetskraven blir uppfyllda illustreras schematiskt i figur 2-1.

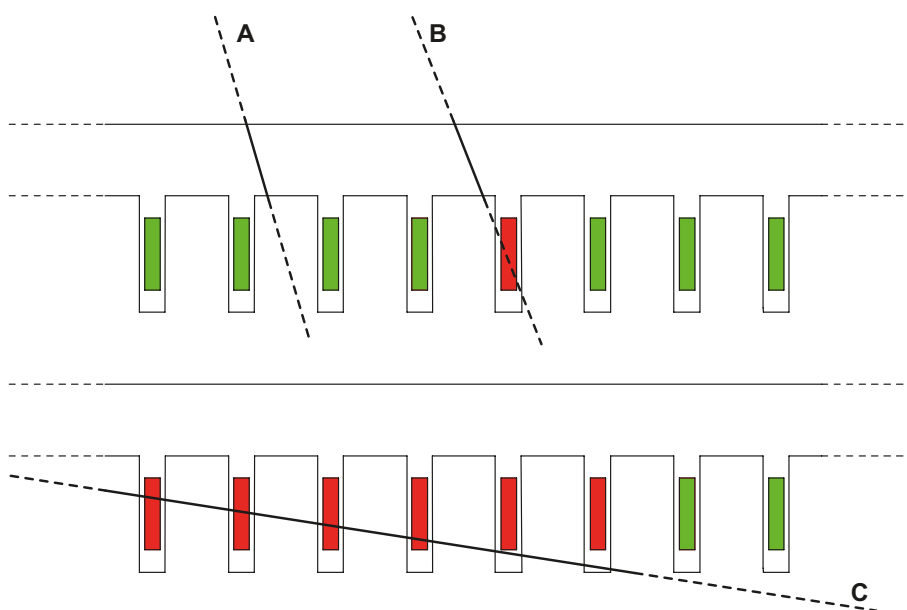
Exempel på *direkt* mätbara konstruktionsförutsättningar är geometrisk utformning av en deponeringstunnel eller ett deponeringshål och vatteninflöden till tunnelavsnitt. Andra konstruktionsförutsättningar är däremot *inte direkt mätbara*, såsom kravet att en deponeringsposition inte får skäras av en så kallad "lång spricka". Med "lång spricka" avses spricka eller deformationszon med sådan utsträckning att den vid eventuella seismiska händelser kan orsaka skjuvning så att kapseln skadas. I sådana fall måste konstruktionsförutsättningen i stället hanteras genom att ett acceptanskriterium upprättas och att speciellt anpassad metodik för undersökningar och modellering tillämpas. För exemplet om "lång spricka" har konstruktionsförutsättningen för närvarande tilldelats kriteriet EFPC (*EFPC = Extended Full Perimeter Criterion*). Kriteriet består av två delar, varav det ena (FPC) innebär att en kapselposition inte får skäras av en spricka eller deformationszon som kan följas runt hela tunnelperiferin. En sådan spricka/deformationszon benämns FPI = *Full Perimeter Intersection*. EFPC innebär därutöver att om en och samma spricka eller deformationszon skär fem kapselpositioner eller flera måste dessa uteslutas /Munier 2010/, se figur 2-2. Hur "långa sprickor", med eller utan EFPC-kriteriet, kan identifieras och karaktäriseras med olika typer av undersökningar och modellering i flera steg diskuteras i kapitel 4. Hur vald referensutformning för slutförvaret i Forsmark och metoder för berguttag förväntas uppfylla konstruktionsförutsättningarna för långsiktig säkerhet beskrivs i Berglinjerapporten /SKB 2010a/.

#### **2.1.2 Informationsbehov för att reducera osäkerheter**

Säkerhetsanalysen SR-Can /SKB 2006/, som baserades på relativt begränsad information från den inledande platsundersökningen, visade att endast vissa platsspecifika egenskaper har väsentlig betydelse för den långsiktiga säkerheten. Analysen gav vägledning om vilka frågor som kan behöva fortsatt uppmärksamhet. Den platsbeskrivande modell för Forsmark som upprättats efter komplett platsundersökning innehåller ett visst mått av osäkerheter. Dessa har sammanställts i /SKB 2008b/, och deras säkerhetsmässiga konsekvenser presenteras i säkerhetsanalysen SR-Site /SKB 2011/. SR-Site utgör därvid ett uppdaterat underlag för vilka frågor som behöver uppmärksammas när detaljundersökningsprogrammet upprättas.



**Figur 2-1.** Strategi för styrning och kontroll av uppförandet så att krav på långsiktig säkerhet uppfylls. Detaljundersökningarna medverkar genom att kontrollera utförandets resultat, t ex i form av anläggningens geometrier eller det närliggande bergets egenskaper.



**Figur 2-2.** Illustration av EFPC-kriteriets innebörd. A och B är två FPI-objekt av vilka A inte påverkar deponering, medan B förhindrar deponering. C skär minst fem deponeringshål, vilket innebär att de inte får användas för deponering.



Betydelsen av platsmodellens osäkerheter för genomförbarheten värderades i /SKB 2009b/ genom tillämpning av riskanalysmetoder. Bedömningen blev att ingen av de osäkerheter som identifierats kommer att medföra att Forsmark är olämplig som slutförvarsplats. För flera parametrar framkom dock att reducerade osäkerheter under nästa projekteringssteg eller under uppförandet skulle erbjuda större flexibilitet för slutförvarets layout. De viktigaste parametrarna inom denna kategori är:

- Frekvens och fördelning av öppna vattenförande sprickor och deras potentiella inverkan på grundvattensänkning i närheten av schakt och ramp.
- Spänningsmagnitud och spänningsorientering på förvarsnivå.
- Rumslig fördelning av deformationszoner som kan påverka förvarets layout.
- Rumslig fördelning av amfibolitlinser med lägre värmeledningsförmåga som kan ha betydelse för avståndet mellan deponeringshål.

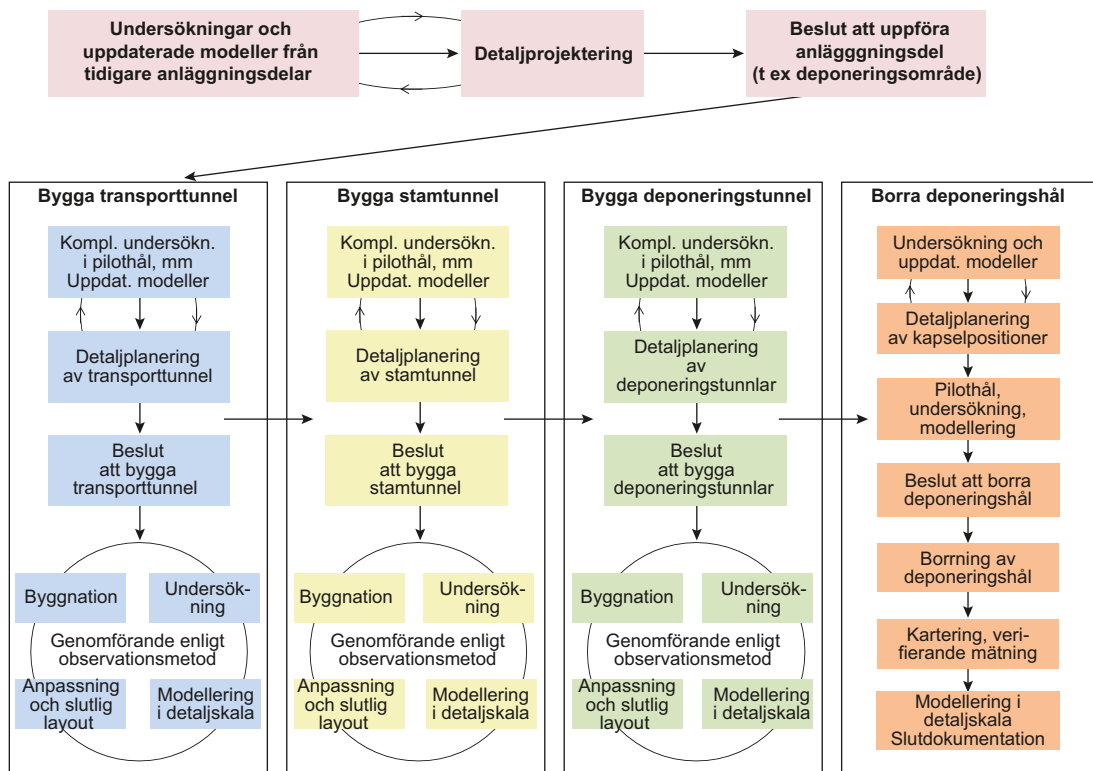
I det förslag till detaljundersökningsprogram som ges i kapitel 4 presenteras för varje anläggningsdel först vilka frågor som är väsentliga för den aktuella anläggningsdelen. Dessa frågor utgår dels från konstruktionsförutsättningarna (bilaga 1) och dels från osäkerheterna /SKB 2009b/. Därefter redovisas hur detaljundersökningarna kan genomföras för att besvara dessa frågor och därmed ge uppförande och säkerhetsanalys relevanta underlag för fortsatt arbete.

## 2.2 Informationsflöde

Det grundläggande informationsflödet för data från undersökningarna kan beskrivas enligt figur 2-3. Detaljundersökningsresultat i form av data och modeller används som underlag vid planering av en anläggningsdel eller utbyggnadssteg. Vid behov begärs kompletterande information så att beslut om den aktuella utbyggnaden kan tas på ett fullständigt underlag.

Under genomförande av ett utbyggnadssteg, t ex drivning av en eller flera tunnlar, är informationsflödet utformat med hänsyn till att informationen ska användas för den slutliga anpassningen av det aktuella bergutrymmet. Beslut som tas i den processen bygger på kriterier som lagts fast vid projekteringen av anläggningen. Processen illustreras av de nedre cirkelarna i figur 2-3. Kartering av bergtyper för det senast uttagna tunnelavsnittet och undersökningar av berget framför aktuell tunnelfront ska då regelbundet generera en successivt uppdaterad, detaljerad modell för kontroll av att produktionen (berguttag, förstärkningsarbeten och installationer) håller sig inom det givna utfallsrummet (se avsnitt 1.4.3). I denna genomförandeprocess är en strikt logistik viktig, där arbetsschemat ska innehålla ledtider för varje arbetsmoment (inklusive kvalitetskontroll och databashantering). Integrerad planering för alla aktörer görs så att nödvändig effektivitet uppnås och resultat med rätt kvalitet erhålls. Figur 2-3 exemplifierar beslut och informationsflöde kopplat till besluten vid utbyggnaden av ett nytt deponeringsområde.

För flödet av undersökningsdata mot säkerhetsanalys är det inte relevant att framhålla något specifikt utformat informationsflöde. Alla platsdata och modellresultat sparas i databaser och utgör tillsammans med annan dokumentation om anläggningen underlag för säkerhetsanalyserna.



**Figur 2-3.** Principiell illustration av informationsflöde och samband mellan detaljundersökningar och projektering/planering, beslut och byggande. Exemplet avser utbyggnad av ett deponeringsområde.

## 3 Metoder för undersökningar och modellering

### 3.1 Översikt

I detta kapitel ges en översikt över de metoder som SKB planerar att använda för undersökningar och modellering av berggrund och omgivande mark i samband med uppförande och drift av slutförvarsanläggningen.

Under åren fram till byggstart kommer såväl program som metoder att vidareutvecklas. Vissa metoder behövs inte förrän i samband med att deponeringsområdena börjar anläggas, vilket ger ytterligare tid för utveckling.

Genom tidigare genomförda fältundersökningar har SKB i dag god kunskap om geovetenskaplig undersökningsmetodik och modeller. I detta kapitel poängteras främst de erfarenheter som inhämtats inom forskningsverksamheten vid Äspölaboratoriet och platsundersökningarna i Forsmark och Laxemar. Under Äspölaboratoriets byggskede grundlades kunskap och erfarenheter om undersökningar i samband med uppförandet av en berganläggning /Almén och Stenberg 2005/, medan speciellt modelleringsmetodiken utvecklades avsevärt under platsundersökningsskedet /SKB 2008a, 2009d/. En väsentlig skillnad avseende modelleringsmetodik under slutförvarets uppförande och drift jämfört med platsundersökningarna är att modelleringen i huvudsak kommer att baseras på information från undersökningar under jord och som kännetecknas av en successivt ökad grad av determinism.

Inom detaljundersökningsprogrammet kommer ett flertal metoder för undersökningar och modellering att tillämpas, och många typer av instrument och system för mätningar, datahantering, datalagring och modellering kommer att vara i bruk. För att projektet ska stå så väl rustat för detaljundersökningarna som möjligt planeras följande insatser för tiden fram till byggstart:

1. Modelleringsmetodiken ska fastläggas, se avsnitt 3.2 och bilaga 2. Dessutom ska informationsbehovet för slutförvarets uppförande preciseras och systematiskt sammanställas. Modelleringsstrategin och informationsbehovet lägger grunden för val av metoder och instrument.
2. Metoder och mätinstrument för undersökningar ska bestämmas, se avsnitt 3.3 och bilaga 3. Beprövade metoder och mätinstrument ska utvärderas mot bakgrund av detaljundersökningarnas krav, och de metoder/instrument som bedöms ha potential för fortsatt användning i slutförvarsprojektet väljas ut. Där tidigare erfarenheter indikerar ett utvecklingsbehov ska metoder och mätinstrument vidareutvecklas, se avsnitt 7.3.
3. Samtliga undersökningsdata (kvalitetssäkrade primärdata) ska lagras i en central SKB-databas, se avsnitt 3.4. Alla bearbetningar, tolkningar och analyser ska baseras på dessa primärdata, oavsett i vilket syfte undersökningarna utförs och för vilken avnämare. Bearbetade data och tolkningsresultat i form av modeller ska på motsvarande sätt lagras i en modelldatabas.
4. Erfarenheter av undersökningsmetoder från undermarksprojekt inom och utanför SKB ska inhämtas. I detta sammanhang är Posivas snart avslutade tunneldrivning i Olkiluoto för den s k ONKALO-anläggningen /Posiva 2003, 2009/, av särskild betydelse, då den kommer att utgöra tillfart för det slutförvar som Posiva planerar.

### 3.2 Modelleringsstrategi

I detta avsnitt ges en översiktlig beskrivning av övergripande modelleringsstrategier och modelltillämpning under uppförande och drift. En kortfattad ämnesvis redovisning av aktuell status, tillkommande data från uppförande och drift, samt väsentliga modelleringsuppgifter redovisas i bilaga 2.

Modeller utnyttjas dels i den fortlöpande projekterings- och byggnadsprocessen, dels mindre frekvent vid återkommande fullständig platsmodellering i samband med säkerhetsanalyser. I planeringsarbetet inför en utbyggnadsetapp klargörs behov av att uppdatera vissa modeller och producera prognoser över den aktuella bergvolymens egenskaper. I enlighet med observationsmetodens principer jämförs prognoserna med dokumenterat utfall efter bergguttag, för bedömning av om acceptabla förhållanden råder. Denna process görs fortlöpande och integrerat med byggets successiva framdrift som stöd för arbetet att detaljanpassa slutförvarsanläggningen till bergets strukturer och övriga egenskaper. Fokus i modelleringsarbetet kan variera beroende på vilka frågeställningar och osäkerheter som ska hanteras.

### 3.2.1 Övergripande strategier

Viktiga förutsättningar för utförd platsmodellering redovisas i /SKB 2000, 2001a/. Platsundersökningens resultat i form av platsbeskrivningen av Forsmark /SKB 2008a/ utgör den väsentliga utgångspunkten för all fortsatt modellering under uppförande och drift. Beskrivningen av tilltro och kvarvarande osäkerheter /SKB 2008b/ ger underlag för identifiering av vilka nya data som behöver samlas in, samt var och med vilken frekvens/upplösning (beroende på anläggningsdel) detta ska ske. De strategier för analysmetodik och modellering som tillämpats och fortlöpande utvecklats under platsundersökningsskedet har överlag fungerat väl och förväntas i huvudsak vara tillämpliga även under uppförande och drift. Vidareutveckling av strategier, metodik och verktyg kommer dock att krävas med hänsyn till att nya typer av data samt nya arbetssätt kommer att introduceras. Dessa aspekter diskuteras översiktligt i avsnitt 7.2.

Behoven av primärdata, se även avsnitt 2.1, sträcker sig från de data som behövs för att upprätta den geologiska modellen, med dess grundläggande beskrivning av geometri, den rumsliga fördelningen av bergarter, spricksystem och deformationszoner, till egenskaper som karaktäriserar bergets förmåga att bromsa upp och kvarhålla frigjorda radionuklider, se tabell 3-1. Andra väsentliga primärdata beskriver bergets mekaniska hållfasthet, värmeledningsförmåga, vattenledande förmåga (uttryckt som hydraulisk konduktivitet eller transmissivitet) och hydrogeokemiska processer. Bland viktiga tillståndsvariabler ingår temperatur, grundvattentryck och bergspänningar. Dessa är samtliga viktiga både för anläggningens stabilitet och för slutförvarets långsiktiga säkerhet.

**Tabell 3-1. Exempel på kopplingar mellan primärdata och modellerade objekt.**

Ämnesområde	Typ av primärdata	Uppdatering och förädling av följande modeller/beskrivningar
Geologi	Jordlagers och bergarters egenskaper (geometri, textur, mineralogi, geokemi), den plastiska deformationens karaktär, sprickors egenskaper (geometri, mineralogi) och egenskaper hos deformationszoner av olika dignitet (geometri, geologi/mineralogi).	Jorddjup och kvartär stratigrafi. Bergdomäner, deterministiska deformationzoner och sprickdomäner med tillhörande spricknätverk (DFN)* mellan deterministiska deformationszoner.
Bergmekanik	Bergets deformationsegenskaper och hållfasthet samt spänningsfältets orientering och magnituder.	Hållfasthet, deformationsegenskaper och övriga bergmekaniska egenskaper hos intakt berg, naturligt uppsprucken bergmassa, enskilda sprickor och deformationszoner med koppling till definierade bergdomäner/sprickdomäner. Bergspänningsmodell.
Bergets termiska egenskaper	Termiska egenskaper (mineralogi/densitet, värmeledningsförmåga och värmekapacitet) hos på platsen förekommande bergarter.	Bergets värmeledande egenskaper kopplade till definierade bergartsfördelningar i bergdomäner.
Hydrogeologi	Jordlagers och bergets hydrauliska egenskaper från genomförda hydrauliska tester. Uppskattning av flödesporositet (vid behov). Grundvattentryck i jord och berg.	Indelning i hydrauliska enheter (jordlager, deformationszoner och berget mellan deformationszoner, inklusive beskrivning med DFN) med kopplad egenskapstillskrivning.
Hydrogeokemi	Koncentration av lösta ämnen inklusive isotoper samt lösta gaser, kolloider och mikrober.	Typer av grundvatten och porvatten och deras rumsliga fördelning i jord och berg. Kemiska processer och reaktioner (jämviktsmodellering). Värdering av pågående och historiska processer som bidrar till dagens grundvattensammansättning.
Transportegenskaper	Diffusivitets- (inkl. bestämningar av in situ resistivitet) och sorptionsegenskaper samt porositet (inkl. zoner med immobil vatten).	Retentionsegenskaper hos jord, matrisberg, sprickor och deformationszoner.
Ytegenskaper	Meteorologiska, hydrologiska och hydrokemiska data (från fortsatt monitoring) samt eventuellt vissa ytekologiska data (t ex jordmåns- och botten sedimentdata från våtmarker).	Beskrivning av ytsystemen och tillskrivning av randvillkor (främst hydrauliska) till modeller av berget.

\* DFN = *Discrete Fracture Network*, dvs stokastisk beskrivning av spricknätverk och mindre deformationszoner.

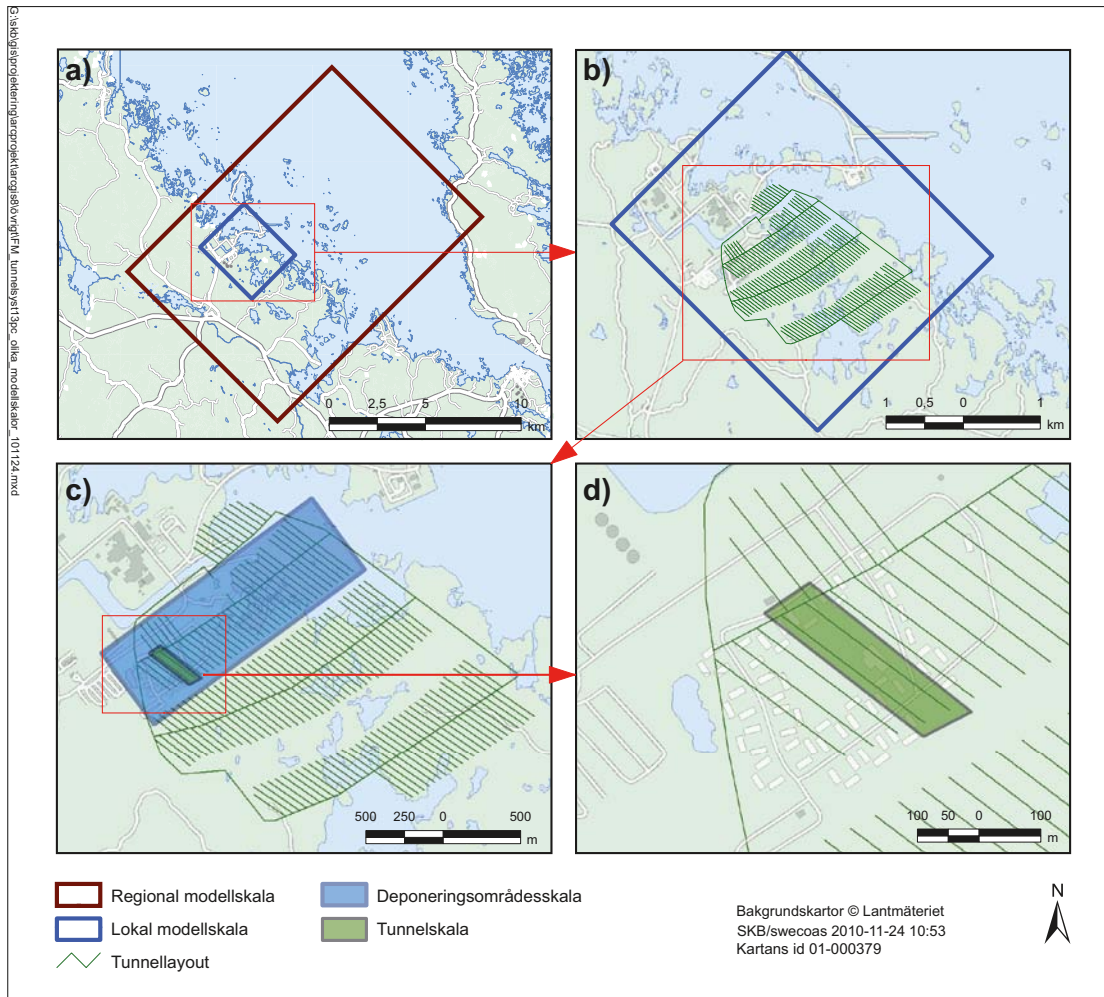
I sammanfattningen av modellskalor i detta avsnitt (se nedan) exemplifieras översiktligt den modellering som kan bli aktuell under detaljundersökningarna. Upprättade modeller ligger till grund för uppförande, säkerhetsanalys och bevakning av miljöpåverkan, där graden av detaljering varierar beroende på vilken anläggningsdel som behandlas. Huvudprocessen *Säkerhetsanalys* aktiveras endast vid speciella tillfällen, men relevanta primärdata och underlagsmodeller för denna tillämpning tillförs kontinuerligt till aktuella databaser.

I tunnelskala (figur 3-1 och figur 3-2) integreras fortlöpande information insamlad från tunnlar och andra bergutrymmen. Detta kan t ex gälla information från deponeringstunnlar och tillhörande deponeringsborrhål i hög upplösning. En intermediär deponeringsområdesskala (figur 3-1) används för beskrivning av enskilda förvarsdelar (centralområdet och deponeringsområden) där informationen från modellerade objekt i tunnelskala integreras. Deponeringsområdesskalan är central för detaljprojektering/-planering, prognos/uppföljning och styrning av byggprocessen. Lokala och regionala modellvolymerna sammanfaller med dem som utnyttjades under platsundersökningen, med den skillnaden att förvarets underjordsdelar nu är fullt representerade, och att modellvolymernas storlek förmodligen kommer att reduceras. Båda dessa modellskalor utnyttjas för storskalig integration av främst geologisk, hydrogeologisk och hydrogeokemisk information och för hydrogeologisk simulering. Exempel på tillämpad modellering under förvarets utbyggnad ges i kapitel 4.

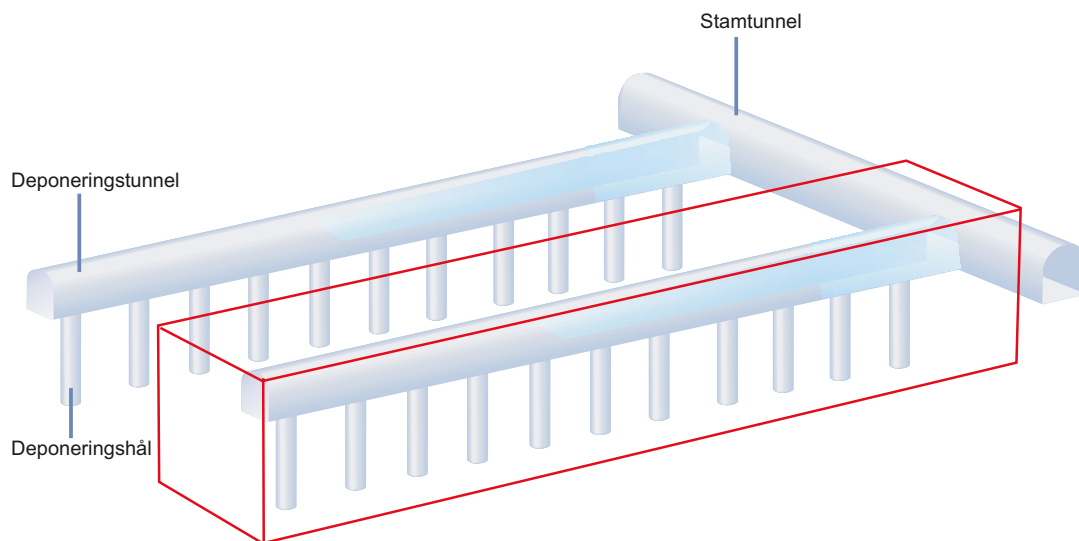
#### **SAMMANFATTNING AV TÄNKBARA MODELLSKALOR**

**Principiell beskrivning av modeller, modellkoncept och modellskalor tillämpliga på ett slutförvar i Forsmark med exemplifiering av de olika modellernas möjliga användningsområden under uppförande och drift (se även tabell 3-1 och figurerna 3-1 och 3-2).**

- 1. Platsbeskrivande modell (benämns även platsmodell):** Samlingsbenämning främst för modeller i regional respektive lokal skala (punkterna 2 och 3), men innefattar i praktiken modeller i samtliga modellskalor. Begreppet samlar de modeller som tillsammans ger det huvudsakliga underlaget för en platsbeskrivning, särskilt i samband med utförande av säkerhetsanalyser.
- 2. Modeller i regional skala (modellvolym ~ 300 km<sup>3</sup>):** Omfattar slutförvaret (med underjordsanläggningar) och dess regionala omgivning. Motsvarande modellvolym har använts under platsundersökningsskedet (~150 km<sup>2</sup> yta). Modeller i denna skala utgår från platsundersökningens regionala modeller (främst från geologi, hydrogeologi och konceptuell hydrogeokemisk beskrivning). Dessa modeller används och uppdateras mycket sällan, och då främst i samband med förnyade säkerhetsanalyser eller vid annat särskilt behov.
- 3. Modeller i lokal skala (modellvolym ~ 10 km<sup>3</sup>):** Denna modellskala bygger på platsmodelleringens lokala modeller /SKB 2008a/ med skillnaden att den lokala modellvolymen kan komma att minska och att slutförvarets underjordsanläggningar är beskrivna fullt ut. Modellen uppdateras regelbundet, främst med underlag från modellerna i *deponeringsområdesskala*, i takt med att slutförvarsanläggningen byggs ut. Denna modellskala utgör underlag för förnyade säkerhetsanalyser men kan även vara lämplig vid analys av anläggningens miljöpåverkan. Utgör också en generell referens för modeller i de mindre skalorna och används vid granskning/kvalitetssäkring av dessa. Modellvolymens area är ca 10 km<sup>2</sup> och djupet ca 1 100 m, se figur 3-1.
- 4. Modeller i deponeringsområdesskala (modellvolym ~ 0,2 km<sup>3</sup>):** Denna skala omfattar en enskild anläggningsdel, såsom centralområdet eller ett enskilt deponeringsområde, se figur 3-1, och utgör därmed en del av den lokala modellen men innehåller mer detaljerad information. Storleken på en "deponeringsområdesvolym" styrs av den aktuella anläggningsdelens areella utbredning och dess vertikala utsträckning (översiktligt skattad till cirka 100 m). Modeller i deponeringsområdesskala ger underlag till detaljerad planering och beslut om bergutrymmens utförande (byggnation). Det är mot modeller i denna skala som observationsmetodens prognoser huvudsakligen upprättas. Under utbyggnaden uppdateras modeller i denna skala kontinuerligt med relevant information från modeller i *tunnelskala*, se punkt 5. Efter fastställd placering av deponeringshål i en given deponeringstunnel utgör den uppdaterade modellen i *deponeringsområdesskala* underlaget för den operativa styrningen av bygge och dokumentation. Den kollektiva informationshämtningen från modeller i tunnelskala till deponeringsområdesskalan ligger så småningom till grund för den slutliga dokumentationen av hela slutförvarsanläggningen. Upplösningen i längd för deterministiska deformationszoner förväntas genom tillkommande data kunna förbättras. Därmed kommer mindre zoner (*minor deformation zones* inkl. *långa sprickor*) att i större omfattning kunna modelleras deterministiskt, framför allt i deponeringsområden.
- 5. Modeller i tunnelskala (modellvolym ~ 0,0002–0,0001 km<sup>3</sup>):** *Tunnelskalan*, se figur 3-1 och figur 3-2, omfattar enskilda underjordsutrymmen med närliggande berg. Arbetet kan t ex innefatta prediktioner av tunnel-/schaktsavsnitt för platsförståelse, beskrivande modeller av deponeringstunnlar, grupper av deponeringshål eller situationen kring enskilda deponeringsborrhål. Dessa modeller uppdateras kontinuerligt med ny information insamlad i samband med sonderingsborrning och tunnelkartering och byggs successivt upp i takt med anläggningens uppförande. Konceptuellt underlag för analys av *långa sprickor* i tunnelns närhet samlas in och analyseras i denna skala. Detaljerade modeller i *tunnelskala* kan även utnyttjas för säkerhetsmässiga bedömningar som påverkar beslut kopplade till deponeringsprocessen.



**Figur 3-1.** Principiell illustration av olika modellskalor. Bild (a) visar regional och lokal modellskala. Bild (b) visar det lokala modellområdet med det projekterade försvarsområdet. Bild (c) visar referenslayouten i högre upplösning och markerar även deponeringsområdesskala. Bild (d) visar en uppförstorad del av deponeringsområdet omfattande ett antal deponeringstunnlar (tunnelskala). Se även sammanfattning av tänkbara modellskalor på föregående sida.



**Figur 3-2.** Schematisk representation i 3D av tunnelskala (röd). Modeller i tunnelskala kan t ex innefatta en enskilda deponeringstunnel eller ett varierande antal deponeringstunnlar, beroende på problemets art.

Information i de mer detaljerade modellerna integreras i modeller som täcker en större del av anläggningen, dvs informationen, främst den geometriska, är i det närmaste kontinuerlig över modellernas ränder, men den topologiska representationen och detaljeringen (upplösningen) skiljer sig åt mellan modellskalorna. Detta gäller speciellt de geologiska och hydrogeologiska modellerna. Vissa numeriska simuleringsmodeller, t ex den regionala flödesmodellen, kan innehålla en DFN-beskrivning (DFN = *Discrete Fracture Network*, dvs spröda, stokastiskt beskrivna spricknätverk och mindre deformationszoner) kombinerad i en kontinuum-modell, där randvillkor överförs direkt till DFN-modellen.

Till varje modellskala hör krav på upplösning (ej att förväxla med noggrannhet och precision) som huvudsakligen relaterar till objekt i de geologiska modellerna (exempelvis spricklängd och längd på deformationszoner), men som även kan kopplas till objekt i de övriga ämnesvisa modellerna (se tabell 3-1). Valet av upplösning av en given parameter i en given skala är delvis beroende på tekniska ställningstaganden, t ex modellproblemets art, modellvolymens storlek, antalet hanterbara deterministiska objekt och upplösning i underliggande mindre modellskala. Detta kan påverka både vilka modellskalor som kommer att utnyttjas och valda upplösningar för dessa. Till detta kommer också varierande krav på upplösning beroende på vilken geodisciplin och parameter samt vilken anläggningsdel som behandlas. Generellt gäller att en högre upplösning tillämpas för modeller som innefattar deponeringsområden, inklusive bergvolymers kring deponeringshål.

Det som främst kommer att skilja de olika skalorna åt är graden av determinism. I de detaljerade modellskalorna förväntas att de beskrivningar som i dag huvudsakligen är stokastiska successivt kommer att bli mer deterministiska. Det betyder t ex att en i huvudsak stokastisk DFN i tunnelskala kommer att ersättas av en mer deterministisk modell konditionerad på sprickor synliga i tunnelytorna, men i övrigt stokastisk mellan tunnarna. Informationen från tunnelkarteringar ger också ett värdefullt bidrag till att reducera osäkerheter kring sprickors storlek.

För varje modellskala upprättas i sin tur ett urval av ämnesvisa modeller i överensstämmelse med avnämarnas behov. Antalet sådana kan variera för de olika skalorna och aktuell anläggningsdel, där uppbyggnaden av respektive ämnesmodell på respektive modellskala styrs av metodbeskrivningar för modellering. De deterministiska geologiska modellerna utgör den geometriska grunden på vilka övriga ämnesområden bygger sina modeller. Modellernas geometriska ramverk består i huvudsak av geologiska domäner baserade på deterministiska deformationszoner och uppdelningen av bergvolymers mellan dessa. De ämnesvisa beskrivningarna integreras till ämnesövergripande beskrivningar vid tillfällena som kan vara skilda för olika modellskalor.

Den lokala modellen uppdateras under hand med information från mer högupplösta modeller, och utnyttjas som underlag för projektering och detaljplanering. De regionala geologiska modellerna förväntas överlag vara relativt statiska. Däremot uppdateras de regionala hydrogeologiska modellerna vid behov med utgångspunkt från uppdateringen i lokal skala och utnyttjas för analys av hydraulisk och hydrogeokemisk miljöpåverkan. Det ska i detta sammanhang påpekas att informationstätheten utanför Forsmarkslinsen är relativt begränsad, vilket kan påkalla kompletterade undersökningar och behov av uppdateringar av den lokala modellen.

Det är väsentligt att insamlingen av information och beskrivande modellering i tunnelskala utgör en samlad ämnesövergripande process. Ett sådant arbetssätt befrämjar formulering av relevanta hypoteser som sedan följs upp i modellering och fortsatta undersökningar och utvärdering. Mot bakgrund av att datainsamling och modellering kommer att ske under en lång tidsperiod, är det viktigt att säkra kontinuitet liksom erfarenhets- och kompetensöverföring, och därmed kvalitet, under hela perioden av uppförande och drift.

Flödet av information från datainsamling via inledande primärdatakontroll till databaser, vidare till modeller och platsbeskrivningar vid givna beslutspunkter, kommer att hanteras inom ramen för SKB:s kvalitetssystem. Detta kommer att innefatta upprättandet av kontrollplaner (generella och objektspecifika) för tänkta modelleringssteg, se avsnitt 5.4.

### 3.2.2 Ämnesövergripande integration

Platsbeskrivande modellering baserad på undersökningar från ytan innebär ämnesövergripande tolkning av geologiska, bergmekaniska, termiska, hydrogeologiska och hydrogeokemiska egenskaper, liksom av bergets transportegenskaper och ytsystemet, med utnyttjande av ytinformation samt data från djupa borrhål. Strategier och metodik för platsmodellering togs fram inför platsundersökningarna i Forsmark och Laxemar, liksom en strategi för integrerad modellering /Andersson 2003/.

Tillämpningarna vid platsmodelleringarna i Forsmark och Laxemar diskuteras bl a i /Andersson et al. 2007/.

Under detaljundersökningarna tillkommer en stor informationsmängd insamlad i borrhål och bergrum under jord. En större upplösning och en successivt ökad grad av determinism jämfört med platsundersökningarna förväntas under uppförande och drift, speciellt i deponeringsområdena. Tolkningar av gemensam information från borrhål och tunnlar, på liknande sätt som den enhålstolkning för kärnborrhål som utfördes under platsundersökningarna, utgör viktiga komponenter för att skapa än mer integrerade beskrivningar på basis av geologiskt, hydrogeologiskt och bergmekaniskt underlag, t ex av vattenförande strukturer och bergspänningsvariation. En naturlig förlängning av detta betraktelsesätt är att modellering/beskrivning av spröda deterministiska deformationszoner och spricknätverk (DFN) genomförs med uttalad interdisciplinär inriktning under detaljundersökningarna.

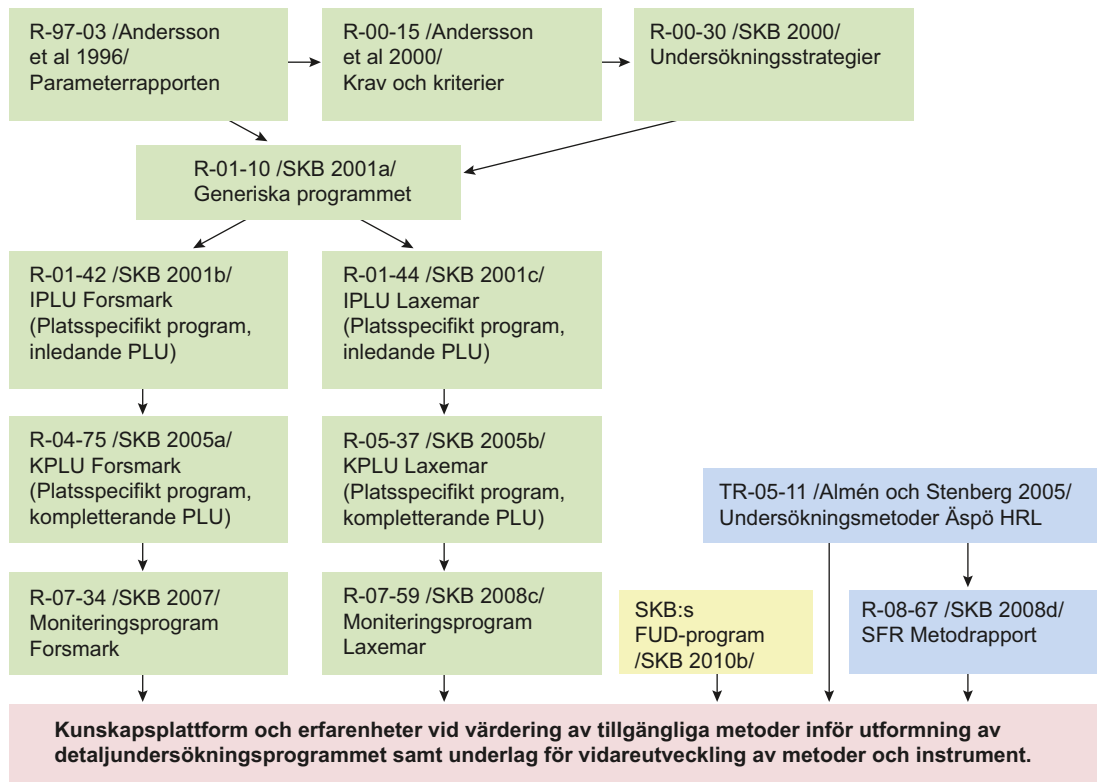
Under platsundersökningsskedet har seminarier fokuserade på tillförlitlighet (konfidens) och osäkerheter kopplade till upprättade modeller hållits i samband med att en given version av den platsbeskrivande modellen avslutats. Seminarierna och dokumentationen av dessa har utgjort betydelsefulla faktorer i integrationsarbetet, liksom för förfining av modellering/metodik. Det förutses att denna typ av återkommande seminarier kommer att tillämpas som en del av modellarbetet även under detaljundersökningarna.

### 3.3 Undersökningsmetoder

I figur 3-3 presenteras ett urval av program- och metodikrapporter som skrivits inför tidigare undersökningskampanjer eller som en sammanfattning av dessa, men där innehållet till stor del bedöms ha relevans även för de undersökningar som kommer att utföras under slutförvarets uppförande och drift. I många fall behöver dock metoderna modifieras och uppgraderas beroende på fortsatt teknikutveckling eller nya prestandakrav. Figurens gröna rutor representerar rapporter relaterade till platsundersökningarna i Forsmark och Laxemar, som var helt inriktade på undersökningar från markytan. Trots att detaljundersökningarna under slutförvarets uppförande och drift kommer att domineras av undermarksundersökningar, utgör dessa rapporter ett viktigt underlag för detaljundersökningsprogrammet. Rapporterna i de blå rutorna redovisar metoder och instrument huvudsakligen avsedda för underjordsförhållanden, medan den gula rutan representerar de program för forskning, utveckling och demonstration som SKB regelbundet redovisar till regeringen. Även om underjordsmiljön i allmänhet medför att det praktiska utförandet av olika undersökningar skiljer sig från det som tillämpas vid ytundersökningar, är det ofta samma parametrar som ska bestämmas i båda fallen, och mätprinciperna är många gånger identiska.

I bilaga 3 presenteras en översikt över metoder och instrument som SKB förfogar över och har tillämpat i första hand under platsundersökningarna i Forsmark och Oskarshamn samt i Äspölaboratoriet och SFR, och som förväntas komma till användning även inom detaljundersökningsprogrammet, om än i vissa fall i modifierad form. För mer systematiska och heltäckande redovisningar hänvisas till rapporterna i figur 3-3, främst /SKB 2001a, Almén och Stenberg 2005/.





**Figur 3-3.** Urval av SKB-rapporter som redovisar undersökningsmetoder och instrument.

Metodsammanställningen i bilaga 3 beskriver översiktligt:

- Borring.
- Borrhålsundersökningar i anslutning till borring.
- Geologiska och geofysiska borrhålsundersökningar.
- Bergmekaniska undersökningar.
- Termiska undersökningar.
- Hydrogeologiska borrhålsundersökningar.
- Hydrogeokemiska undersökningar.
- Undersökningar för bergets transportegenskaper.
- Kartering av bergutrymmen under jord.
- Ej borrhålsrelaterade ovanjordsundersökningar.
- Monitering.
- Geodetiska undersökningar.

De mest prioriterade utvecklingsbehoven presenteras i avsnitt 7.3.

Även ytekologiska undersökningar ingår i detaljundersökningsprogrammet. Dessa intar dock i viss mån en särställning, genom att merparten av det dataunderlag som behövs för säkerhetsanalys inhämtats redan under platsundersökningarna. Behovet av eventuell komplettering av data och metoder fastläggs först i ett senare skede. Ett undantag är den ytekologiska moniteringen, en verksamhet som inleddes redan under platsundersökningen i Forsmark och alltså fortgår, se tabell B3-1 i bilaga 3.

Generellt kan sägas om detaljundersökningsprogrammet, att undersökningar utförda under jord kommer att överskugga ytbaserade undersökningar. Ett undantag från huvudregeln är moniteringsverksamheten, som kommer att ha betydande omfattning både under och ovan jord. Bland annat utnyttjas ett stort antal borrhål från platsundersökningen för monitering av grundvattennivåer och av hydrogeokemiska parametrar.

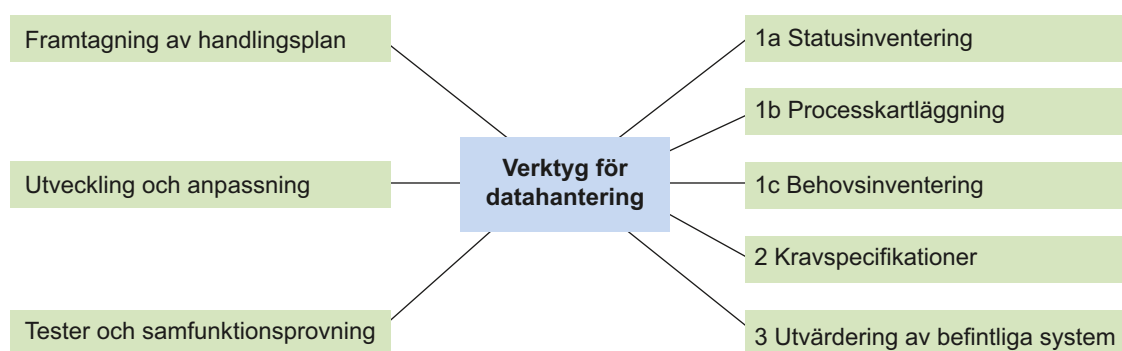
### 3.4 Verktøy for datahantering, datalagring og modellering

Under oppfrning og drift av slutfrvarsanleggninga kommer store mngder undersökningsdata av ulike slag å genereras. Förutom at rasjonella databasstrukturer og effektiva system for dataöverföring måste tas fram og testas, r det vsentligt at rutiner for kvalitetssäkring byggs in, se avsnittene 5.3 og 5.4. Vidare behövs robuste, effektiva og anvndarvnlige verktøy for visualisering, modellering og presentasjon av geovetenskaplige data og modellresultat i 2D og 3D. Kravspesifikasjoner for datasystemene kommer även å beakta faktorer som dataskerhet og modelleringseffektivitet.

Datasystemene ska innehålla løsninger så at undersökningsresultat som utgr underlag for beslut enkelt kan tas fram og presenteras digitalt. De store datamngder som kommer å produceras ställer även høge krav på kapasiteten hos serverar, nätverk og datorer, inklusive nödvändig redundans.

SKB har pbrjat planeringen av den vidareutveckling som behövs inom området datorverkty inför detaljundersökningarna med kartlgning av arbeidsprosesser for underskninger og modellering, se figur 3-4. Syftet är å identifisera dataflöden, informationsmängder og kopplinger mellom ulike typer av underskninger, modelleringar, projektering og bygge, särskilt med avseende på de informationsflöden som r aktuelle ved tillämpning av observationsmetoden. Baserat bl a på denna processkartlgning og behovsinventering kommer det å fattas beslut om vilka utvecklingsinsatser som ska gjennomfras. Redan i dagsläget kan dock behovsbildet skisseras i grove drag, se avsnitt 7.4. Utvecklingen inleds med å formulera kravspesifikasjoner, utarbeida handlingsplaner og planer for funksjonstester. Förutom tester av respektive enheter i datasystemet ska samfunksjonsprvninger utföras for å kontrollera at systemintegrasjonen fungerer.

Ved utvikling og funksjonsprvning kommer Äspölaboratoriet å spela en viktig rolle, liksom planerat samarbeide med Posiva. De fleste systemene ska vara färdigutvecklade og testade innan byggstart. Processkartlgninga har även bäring på arbeidet med kvalitetssystem som beskrives närmare i kapittel 5.



Figur 3-4. Delaktiviteter for utvikling av datasystem.

## 4 Detaljundersökningar under olika steg av uppförande och drift

### 4.1 Inledning

I detta kapitel redovisas hur detaljundersökningar föreslås bli utförda under slutförvarets uppförande och drift mot bakgrund av nuvarande kunskap och teknikstatus. Fram till dess att bygget av slutförvaret inleds kommer detaljundersökningsprogrammet att modifieras och detaljeras, och även därefter kommer utveckling och förändring att ske. Detta kommer att redovisas i kommande versioner av programmet.

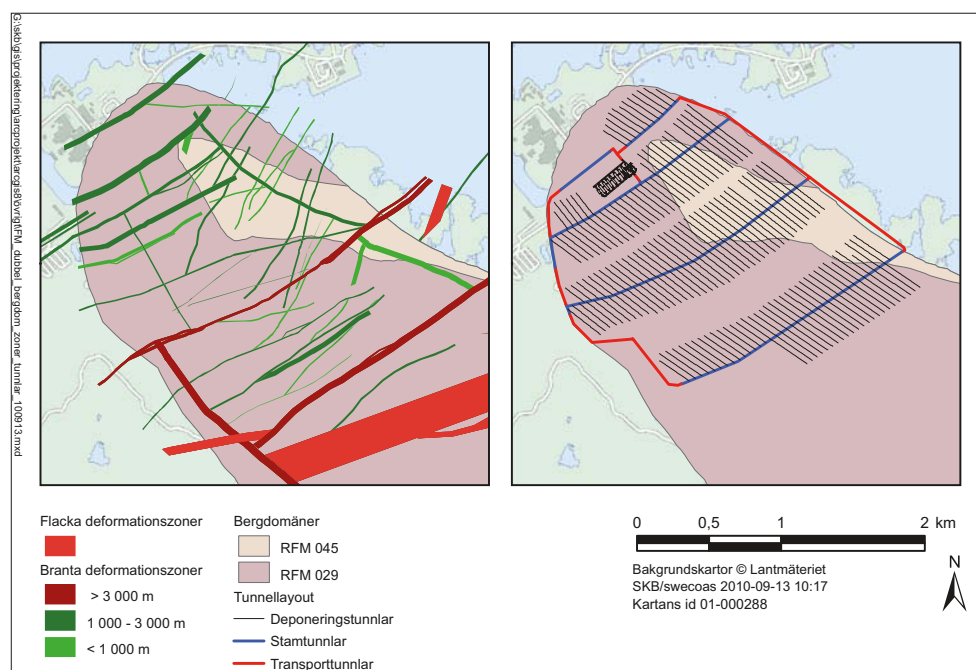
Figur 4-1 illustrerar det geologiska underlaget och den gällande referenslayouten för ett slutförvar i Forsmark. Utgångspunkter för programmet är dels anläggningens referensutformning och de frågeställningar som aktualiserats mot bakgrund av konstruktionsförutsättningarna för respektive anläggningsdel /SKB 2009b/, dels de osäkerheter som presenteras i den platsbeskrivande modellen /SKB 2008a, b/.

Avsnitt 4.2 ger en generell beskrivning av undersökningar och modellering oavsett anläggningsdel. Främst avses de så kallade rutinmässiga undersökningarna som kommer att genomföras på likartat sätt i hela slutförvaret. Även monitoring (långtidsobservationer) presenteras i detta avsnitt, eftersom också den genomförs på samma sätt oavsett anläggningsdel, och dessutom kontinuerligt under uppförande och drift, eller åtminstone under långa perioder av dessa skeden. Slutligen beskrivs modelleringens generella roll kortfattat.

I de efterföljande avsnitten 4.3–4.5 redovisas de detaljundersökningar som föreslås genomföras i tillfarter, centralområde och förvarsområde. Preliminär utformning av dessa anläggningsdelar framgår av figur 1-4. Strukturen är i huvudsak densamma för varje anläggningsdel:

- Frågeställningar, osäkerheter och konstruktionsförutsättningar.
- Detaljundersökningar i samband med uppförande.

I vissa fall behöver de ordinarie undersökningarna inom uppförandeprocessen kompletteras med ytterligare information för säkerhetsanalyser. Detta behandlas kortfattat i avsnitt 4.6.



**Figur 4-1.** Geologiskt underlag med bergdomäner och deformationszoner på förvarsdjup samt gällande referenslayout för anläggningen.

## 4.2 Detaljundersökningar – generellt

Med detaljundersökningar i samband med uppförande menas undersökningar och modelleringar som behövs för att åstadkomma ett tillräckligt underlag för projektering och byggande samt för successiv dokumentation av färdigställda anläggningsdelar. Projekteringen använder information främst från borrhålsundersökningar och existerande modeller. I samband med byggandet kompletteras denna information genom tunnelkartering och andra undersökningar från tunnelfronten. Informationen används då för att detaljanpassa anläggningen till bergets egenskaper för att tillgodose krav på långsiktig säkerhet. Den tektoniska linsens detaljerade avgränsning, respektavstånd till större deformationszoner, förekomst av ”långa sprickor” liksom av vattenförande sprickor, fördelning av amfibolit och andra från huvudbergarterna avvikande bergarter samt bergspänningssituationen är exempel på viktiga frågor för platsanpassningen som måste hanteras löpande.

### 4.2.1 Rutinmässiga undersökningar

Rutinmässiga undersökningar utgör en del av den cykliskt drivna uppförandeprocessen. I princip följer de hela tiden samma mönster, men kan behöva anpassas och förändras allteftersom erfarenheter och ny kunskap erhålls under de många år som verksamheten pågår. Följande huvudmoment ingår, se figur 4-2:

- Pilotborrhålsborrning med undersökningar.
- Undersökningar i sonderingsborrhål och injekteringshål.
- Tunnelkartering.
- Installationer och fortsatt monitorering.

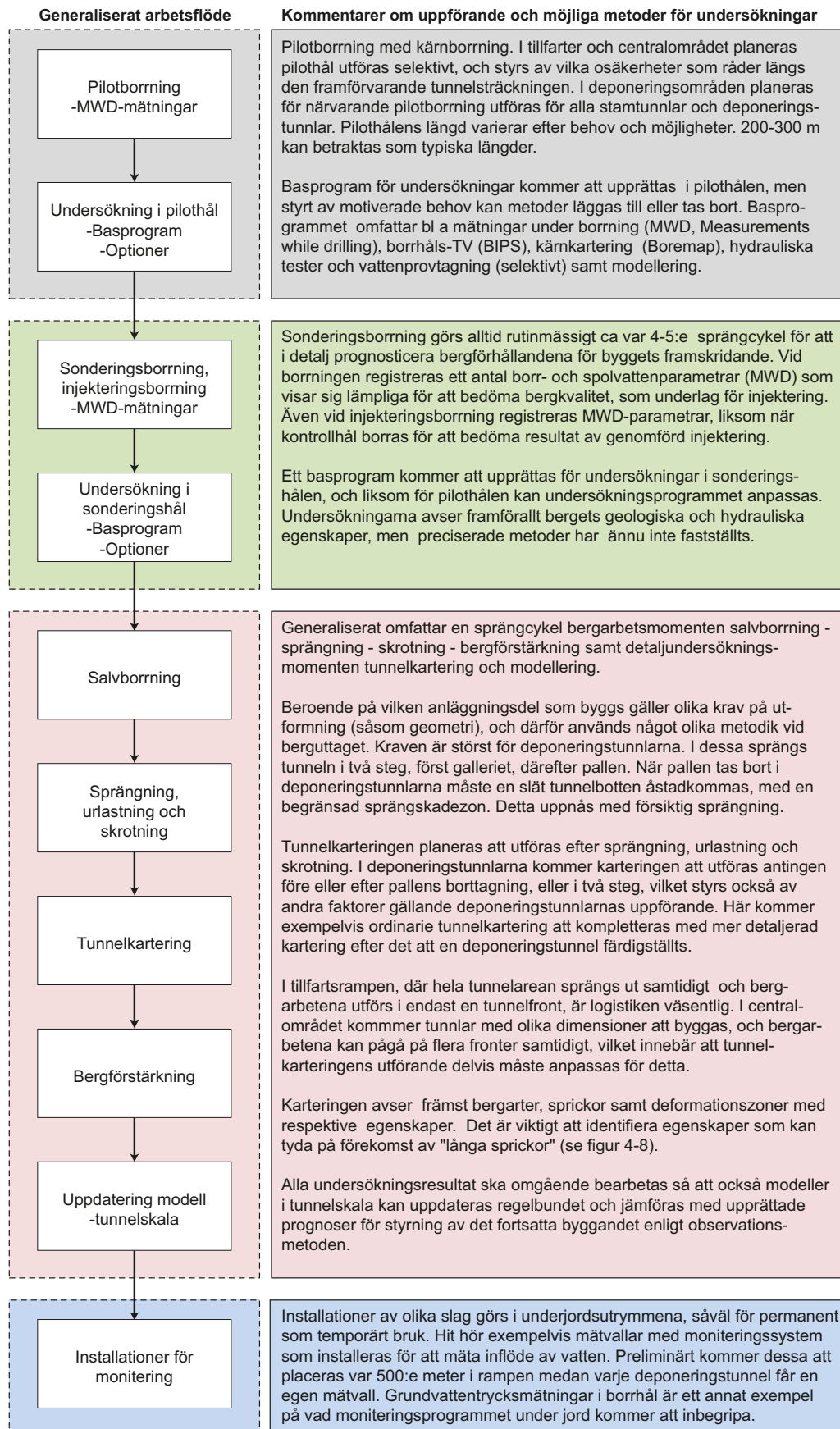
*Pilothål* med tillhörande undersökningar kommer att utföras inom deponeringsområdena och i schakten. I ramp och centralområde utförs pilotborrning vid behov, styrt av vilka osäkerheter som råder längs den framförvarande tunnelsträckningen. Pilothålen kärnböras med längder av i storleksordningen 200–300 meter, med undantag för de längre hål som borras i schaktlägen.

*Sonderingshål* borras preliminärt 20–25 m så att det motsvarar några (4–5) sprängcyklers framdrift. Resultaten från borrning och undersökningar ger bl a underlag för dimensionering av eventuell förinjektering. Samtliga borrhål borras innanför planerad tunnelkontur. Den principiella sekvensen för de rutinmässiga pilot- och sonderingsborrningarna illustreras i figur B3-3 i bilaga 3.

*Tunnelkarteringen* utförs som en integrerad del av drivningscykeln. Förutom geometrisk dokumentation och ren berggrundsgelogisk kartering dokumenteras vatteninläckage och bedöms berg- och vattenkvalitet. Tunnelkarteringen utförs rutinmässigt och kontinuerligt i alla bergutrymmen. I ramp och skipschakt (det schakt som ska användas för uppföring av utsprängt berg) är koordinering mellan undersökningar och byggverksamheten av särskilt stor betydelse, eftersom endast en tunnel-/schaktfront är tillgänglig. Vid tunnelkarteringen dokumenteras även de förstärkningsåtgärder som gjorts.

Tunnelkarteringen utgör, tillsammans med undersökningsresultaten från borrhål, det viktigaste underlaget för den rutinmässiga uppdateringen av modeller i detaljerade skalor, se avsnitt 3.2. Målsättningen är att uppdateringen ska utföras så att den löpande detaljplaneringen för det fortsatta byggandet hela tiden kan baseras på aktuella jämförelser mellan prognoser och utfall i enlighet med observationsmetodens principer. Logistiken för tunnelkartering i deponeringstunnlar kan delvis läggas upp på annat sätt än för övriga bergutrymmen, se avsnitt 4.5.5.

*Installation av mätutrustning* och initiering av mätprogram för nya mätpunkter görs framförallt inom områdena grundvattenmonitorering (grundvattentryck, inflöde och salthalt) samt bergmekanik.



**Figur 4-2.** Generaliserat arbetsflöde för bergarbeten och rutinemässiga undersökningar under uppförandeskedet.

## 4.2.2 Modellering

Undersökningarna genererar primärdata, dvs mätdata och rutinmässigt beräknade värden för enskilda mätobjekt (t ex borrhål) eller areor (såsom tunnelväggar). Alla primärdata lagras i SKB:s primärdatabas. Primärdata utgör underlaget för all modellering. Vid modelleringen analyseras punkt- och ytinformation, så att berggrundens egenskaper och naturligt pågående processer kan beskrivas. Det är modellerna, tillsammans med underliggande primärdata, som ger underlaget för projektering, uppföljning och styrning under byggande samt till säkerhetsanalyser. I avsnitt 3.2 och bilaga 2 beskrivs modelleringsmetodik och -utförande för olika ämnesområden, integrerat över geovetenskapliga ämnesområden och i olika skalor.

Generellt sett innebär den rutinmässiga modelleringen att man baserat på sonderingsborrning och tunnelkartering uppdaterar modeller i en detaljerad skala. Dessa modeller ger genom jämförelse med prognoser underlag för att fortsätta bygget. När modeller i större skalor uppdateras används även information från bl a pilotborrning eller annan undersökningsborrning. Ännu mer omfattande modelleringsinsatser görs exempelvis när säkerhetsanalyser ska uppdateras, då platsmodeller i samtliga skalor uppdateras utgående från alla relevanta primärdata.

I princip är allt modellarbete att betrakta som uppdateringar, där den tidigare modellversionen med hjälp av nya och relevanta primärdata vidareutvecklas till en ny modellversion. Kvalitetssäkrade data från monitorering utgör en väsentlig del av begreppet nya och relevanta primärdata.

## 4.2.3 Monitorering

### Generellt

Med monitorering avses någon form av övervakning under lång tid för observation av eventuella förändringar. Beträffande slutförvaring av använt kärnbränsle är SKB:s definition av monitorering:

*”Kontinuerliga eller återkommande observationer eller mätningar för att öka den vetenskapliga förståelsen av platsen och slutförvaret, för att visa uppfyllande av uppställda krav och förutsättningar, och som underlag för successiv anpassning av upprättade planer” /Bäckblom och Almén 2004/.*

Under uppförande och drift kommer slutförvarsanläggningen att på olika sätt påverka platsens mark, berggrund och miljöförhållanden. Monitorering av förändringar ger bidrag till fortsatt, och mer detaljerad platskaraktärisering som i sin tur utgör underlag för att i detalj anpassa anläggningen till berggrundens egenskaper, för förnyade säkerhetsanalyser och för kontroll av miljöpåverkan. För att kunna utnyttja monitoreringsresultat på detta sätt förutsätts att monitoreringen pågått under tillräckligt lång tid innan förvaret börjar byggas, varvid ett jämförelsematerial (*”baseline”*) erhållits för ett antal parametrar som förväntas påverkas av förvarsanläggningen. Monitoreringen planeras pågå så länge förvaret är i drift. Monitoreringsprogrammets innehåll och omfattning kommer att variera i tid och rum. Detta mot bakgrund av att nya deponeringsområden successivt byggs ut, samtidigt som deponering pågår i andra delar, och deponeringstunnlar redan återfyllts och förslutits i andra delar av förvaret. När hela förvaret har förslutits kommer monitoreringen enligt nuvarande planer att avvecklas. Ett grundläggande krav på slutförvaret är nämligen att det ska uppfylla sin säkerhetsfunktion utan övervakning.

### Monitorering under uppförande och drift

Vid byggstart har monitorering alltså pågått under en längre tid. Det monitoreringsprogram som kommer att tillämpas är till största delen en fortsättning av det program som genomfördes under platsundersökningen och som alltjämt pågår. Utöver detta tillkommer monitorering av ett antal nya parametrar och objekt, främst från underjordsanläggningen.

Moniteringen innefattar ett brett spektrum av undersökningar med den gemensamma nämnaren att den observerade parameterns tidsberoende variation är det egentliga intresset. Ett huvudsyfte är att identifiera om och hur anläggningen påverkar parametern i fråga. Andra huvudsyften är att ge detaljerade data för anläggningens anpassning till berggrunden och för kontroll av att konstruktionsförutsättningarna uppfylls.

Eftersom systemet för grundvattenmonitoring i Forsmark byggdes upp under åren 2002–2007, kommer perioden av ostörda monitoringsdata att omfatta åtskilliga år innan slutförvaret börjar uppföras. Vad gäller grundvattennivåer/-tryck och kemisk sammansättning hos grundvatten har alltså naturliga (opåverkade) variationer registrerats under flera år. Denna *baseline* utgör ett omfattande jämförelsematerial som gör det möjligt att identifiera förändringar som kan hänföras till anläggningens påverkan.

Tabell 4-1 ger en sammanfattning av monitoringsprogrammets innehåll. Grundvattenmonitoring (främst grundvattentryck, -flöden och -kemi) utgör en omfattande del av monitoringsprogrammet. Seismisk monitoring är en annan typ av monitoring. Monitoringen förutses vara en kontinuerligt pågående verksamhet under slutförvarsanläggningens uppförande och så länge förvaret är i drift. Lika viktigt som att vid behov tillföra monitoringsparametrar och -objekt är det att ta bort monitoringsobjekt när de inte längre är motiverade. Avsnitten nedan ger en utförligare beskrivning av grundvattenmonitoring och seismisk monitoring. Metoder för monitoring beskrivs i bilaga 3.

### **Monitoring av grundvatten**

Genom grundvattenmonitoring registreras tryckvariationer i bergets grundvattenmagasin, vilket speglar hydrauliska samband i berggrunden. Denna typ av monitoringsdata tjänar som underlag för den vidare utvecklingen av hydrologiska, hydrogeologiska och hydrogeokemiska modeller, och bidrar också till den geologiska modelleringen (indikerar geometri och egenskaper hos vattenförande deformationszoner). Monitoringsresultaten ingår även i säkerhetsanalysernas beräkningsunderlag. SKB:s samlade erfarenheter från utbyggnaden av SFR, Clab och Äspölaboratoriet visar att det kan finnas flera och ibland samverkande orsaker till förändrade hydrauliska förhållanden. Vissa kan betraktas som långsiktiga trender (icke reversibla) medan andra kan vara momentana (och ibland oväntade) förändringar, som antingen kan vara av irreversibel eller reversibel karaktär. Grundvattenmonitoringen under jord förutses likna den som gjordes under byggandet av Äspölaboratoriet /Almén och Stenberg 2005/. Monitoringsprogrammets omfattning kommer regelbundet att ses över, så att mätobjekt vid lämpliga tillfällen kan läggas till och tas bort.

Grundvattenmonitoringen inleddes tidigt under platsundersökningen och byggdes sedan successivt ut till dagens omfattning som i stort sett kommer att bestå fram till att slutförvarets uppförandeskede inleds /SKB 2007/. Grundvattenmonitoringen har resulterat i en unik databas som innehåller flera års registreringar av grundvattenytans och det djupare, opåverkade grundvattnets naturliga tryckvariationer över tid, liksom av dess kemiska sammansättning. Vidare har monitoringsprogrammet omfattat registreringar av ytvattnet (nivåer och flöden i åar, sjöar och havet) samt av meteorologiska parametrar. Dessutom har ytvatten och nederbörd provtagits för analys av den kemiska sammansättningen. Denna *baseline* ger det nödvändiga underlaget för den fortsatta monitoringen för att slutförvarsanläggningens påverkan på omgivningen ska kunna påvisas och följas.

Under uppförandeskedet kommer grundvattenmonitoringen att kompletteras med ytterligare mätobjekt, främst under jord, tillfälligt under en längre eller kortare tid, eller kontinuerligt. Det faktum att de flesta nya borrhål kommer att utföras inom blivande bergutrymmen medför att det blir förhållandevis få nya borrhål där monitoring kan pågå under lång tid. Inom deponeringsområdena förutses borrhålsprogrammet kunna planeras i förhållande till byggande av tunnlar, så att pilothålen för deponeringstunnlarna kan mätas under så lång tid att det ger relevant information som underlag för beslut under deponeringsprocessen, se avsnitt 4.5.5.

Monitoring av flöde och kemisk sammansättning av inläckande grundvatten planeras i lämpliga sektioner längs alla tunnlar, schakt och berggrum för att verifiera konstruktionsförutsättningarna. Likaså kommer vatteninflöde i deponeringshål att mätas, se vidare avsnitt 4.5.6.

**Tabell 4-1. Monitoringsprogrammets planerade omfattning.**

Monitering	Mätning av	Kommentar
Nationell seismisk monitering	Momentana naturliga bergrörelser såsom jordskalv. Även inducerad seismicitet orsakad av sprängsalvor i närområdet registreras.	Utförs inom ramen för det svenska nationella seismiska nätverket (SNSN). Har pågått i tiotals år; kompletterades 2004 med en mätstation inom Forsmarksområdet.
Lokal seismisk monitering	Momentana, naturliga och inducerade bergrörelser med lägre magnitud än som kan registreras inom det nationella nätverket. Kan användas dels för studium av småskaliga jordbävningar, dels för att analysera salvsprängningarnas effekt på lokal spänningsomlagring i berggrunden.	Moniteringssystemet kommer att etableras innan byggstart.
Bergrörelsemätning med GPS	Horisontella krypörelser i berggrunden.	Utförs med hjälp av GPS-stationer. Mätning har pågått i Forsmark sedan 2005.
Meteorologisk monitering	Väderparametrarna – nederbörd – lufttemperatur – lufttryck – vindhastighet – vindriktning – luftfuktighet – globalstrålning – snödjup – vatteninnehåll i snö – tid för isläggning/islossning	Väderparametrarna (förutom snö- och isparametrarna) har registrerats vid två väderstationer i Forsmark under perioden 2003–2007, dvs under stor del av platsundersökningen, och har därefter fortsatt vid en väderstation. Snö- och ismätningarna har pågått sedan 2003 på tre respektive två platser i undersökningsområdet.
Hydrologisk monitering	Vattennivåer i ytvatten (vattendrag, sjöar och i Östersjön). Vattenflöden i vattendrag. EC (elektrisk ledningsförmåga) och temperatur i ytvatten.	Har pågått under stor del av platsundersökningen.
Grundvattenmonitering (nivåer, tryck och flöden)	Grundvattenyta i jordrör och borrhål. Grundvattentryck i avgränsade borrhålssektioner. Grundvattenflöde i avgränsade borrhålssektioner.	Moniteringen byggdes successivt ut under platsundersökningen. Grundvattenmoniteringen kommer att förändras över tid, bl a genom att borrhål från underjordsanläggningen tillkommer och kan komma att moniteras under längre eller kortare perioder.
Grundvatteninflöden till anläggningen	Vatteninflöde och grundvattnets elektriska konduktivitet vid t ex: – punktläckage – inläckage i tunnlar/tunnelavsnitt – inläckage till deponeringshål – inläckage till hela anläggningen	Moniteringssystemet installeras och byggs ut successivt i takt med anläggningens uppförande. Deponeringstunnlar och deponeringshål moniteras efter färdigställande fram tills de överlämnas för deponering.
Hydrogeokemisk monitering	Kemiska och yteknologiska parametrar hos: – nederbörd – ytvatten – grundvatten från jordrör och borrhål – inläckande vatten till anläggningen	Moniteringen, inleddes och byggdes ut successivt under platsundersökningen. Den hydrogeokemiska moniteringen kommer att förändras över tid, bl a genom att borrhål från underjordsanläggningen kan komma att moniteras under längre eller kortare perioder. Till anläggningen inläckande vatten kan provtas från punktläckage och från länshållningssystemet.



### **Seismisk monitorering**

Även seismisk monitorering har pågått under en stor del av platsundersökningsskedet. Registreringen av seismiska händelser i Forsmarks regionala omgivning har gjorts inom ramen för det svenska nationella seismiska nätverket, som under perioden utökades med en mätstation i Forsmark /Bödvarsson 2009/. Dessa registreringar kommer att fortsätta under uppförande och drift av slutförvaret.

Den seismiska monitoreringen kommer att kompletteras med ett lokalt seismiskt nät, med vilket seismiska händelser med avsevärt lägre magnitud ska kunna registreras. Förutom att en databas över jordskalv byggs upp, kan mätdata från det lokala seismiska nätet bidra till förståelsen av närzonsbergets respons på tunneldrivningen, vilket kan öka kunskapen om det lokala spänningsfältets egenskaper. Det lokala seismiska nätverket bör vara på plats något år innan bergarbetena inleds.

## **4.3 Detaljundersökningar – tillfarter**

### **4.3.1 Frågeställningar, osäkerheter och konstruktionsförutsättningar**

Det ytnära berget inom Forsmarks slutförvarsområde, sprickdomän FFM02 enligt platsbeskrivningen, kännetecknas av hög frekvens av flacka, vattenförande sprickor ner till ett maximalt djup av cirka 150 m /SKB 2008a/. Därunder, i sprickdomänerna FFM01 och FFM06, kännetecknas berget däremot av mycket låg frekvens av vattenförande sprickor.

För schakt och ramp förväntas höga vatteninflöden i kontakten mellan jordlager och berg och i det ytnära berget, vilket kan föranleda omfattande tätningsåtgärder /SKB 2009b/. I Berglinjerapporten /SKB 2010a/ anges maximalt tillåtna vatteninflöden till anläggningens bergutrymmen. Endast för deponeringstunnlarna relaterar detta krav till den långsiktiga säkerheten. För övriga tunnlar och schakt har kravet ställts så att de vattenmängder som måste pumpas upp från anläggningen ska vara rimliga ur teknisk och ekonomisk synpunkt. Med effektiva tätningsåtgärder kan vatteninflödena reduceras, vilket begränsar grundvattenavsänkningen i den ytliga berggrunden. Detta minskar i sin tur risken för att naturmiljön påverkas.

Tillfarterna ligger nära två mindre deformationszoner, men deras egenskaper har ur byggnadsteknisk synpunkt inte bedömts föranleda några särskilda undersökningar.

### **4.3.2 Detaljundersökningar i samband med uppförande**

#### **Detaljprojektering**

Mot bakgrund av de i avsnitt 4.3.1 beskrivna förhållandena planeras följande undersökningar inför eller i samband med detaljprojekteringen av tillfarter.

- Kompletterande undersökningsborrning (hammarborrning och/eller kärnborrning) utförs från markytan för att ge ytterligare data om de hydrauliska egenskaperna i sprickdomän FFM02. I borrhålen utförs undersökningar enligt i huvudsak samma mätprogram som vid platsundersökningen. Efter genomförda borrhålsundersökningar instrumenteras borrhålen för monitorering av grundvattennivå/-tryck.
- Pilothål för skipschaktet kärnborras ner till förvarsdjup. I de övre delarna är de vattenförande egenskaperna i FFM02 av störst intresse. Inom de djupare delarna är det viktigt att styrka att inga oväntade egenskaper råder och att kunna göra goda prognoser inför schaktsänkningen. I pilot-hålen görs undersökningar enligt i huvudsak samma mätprogram som vid platsundersökningen. Även för tillfartstunneln (rampen) borras ett första pilothål från markytan.

Vidare bedöms om monitoringspunkterna i jordlagren är tillräckligt många och rätt fördelade för kontroll av anläggningens påverkan på grundvattennivåerna. Vid behov kommer kompletterande observationsrör att installeras.

Baserat på dessa och eventuellt även andra undersökningar uppdateras främst de geologiska, hydrogeologiska och bergmekaniska modellerna från platsundersökningen, i tillämpliga skalor. Utgående från dessa modeller kan detaljprojekteringen av tillfarterna slutföras och prognoser upprättas, bl a avseende injekteringsåtgärder i sprickdomän FFM02.

## Byggnation

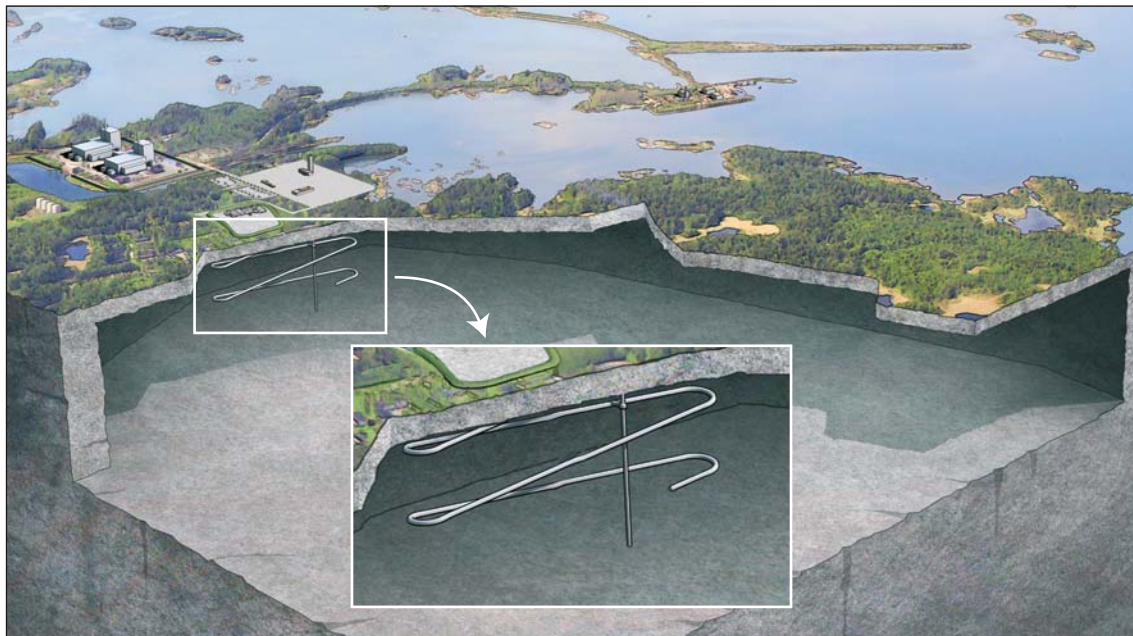
När tillfarternas tunnlar och schakt drivs, tillämpas den cykliska arbetsprocess med rutinmässiga undersökningar som beskrevs i 4.2.1 och figur 4-2. Förekomsten av högkonduktiva sprickor inom sprickdomän FFM02 understryker vikten av pilotborrning i detta avsnitt. Baserat på resultat från dessa borrhål kan förinjekteringen dimensioneras, så att vatteninflödena i tunnlar och schakt inte överskrider de maximalt tillåtna. Genom efterföljande monitorering av vatteninflödet vid de mätvallar som byggs med jämna mellanrum kan kravet slutligen verifieras. Eventuella effekter i marknivå, i form av avsänkt grundvattenyta, kontrolleras genom monitorering i jord- och bergborrhål.

De sprickdomäner som är belägna under FFM02 förväntas inte ge stora vattenflöden. Pilotborrning planeras i första hand när osäkerheter avseende deformationszoners läge och egenskaper har betydelse för uppförandeprocessen. Beträffande undersökningar som av andra skäl kan komma att utföras i anläggningens tillfarter hänvisas till avsnitt 4.3.3.

Eftersom schakten drivs med annan teknik än tunnelrampen, kommer de rutinmässiga undersökningarna att anpassas för detta. Skipschaktet drivs som ett s k sänkschakt och är den anläggningsdel som tidigast kommer att nå förvarsdjupet, se figur 4-3. Pilot- och sonderingsborrning med tillhörande undersökningar ska göras, och schaktet ska karteras med motsvarande ambition som i ramptunneln. De erfarenheter som erhöles i samband med karteringar av hiss- och ventilationschakt vid Äspölaboratoriet kommer att beaktas vid detaljplaneringen.

Hiss- och ventilationschakten kommer att uppföras genom s k stigortsborrning (eng. *raise boring*). För dessa kommer ett alternativt undersökningsprogram att utformas mot bakgrund av att informationsbehovet är ett annat, eftersom både ramp och skipschakt då redan kommer att vara uppförda.

Under projektering och bygge kommer modeller regelbundet att uppdateras, se avsnitt 4.2.2.



**Figur 4-3.** Tillfarternas omfattar ramp och schakt, av vilka skipschaktet är den del som först når förvarsdjupet.

### 4.3.3 Andra undersökningar i anläggningens tillfarter

Förutom detaljundersökningar för att få information för projektering och bygge av tillfarterna enligt 4.3.2 kan även undersökningar som avser andra anläggningsdelar, främst deponeringsområdena, bli aktuella. Det är också viktigt att ta tillfället i akt att testa olika undersökningsmetoder och instrument, innan de ska tillämpas i deponeringsprocessen. I detta avsnitt presenteras några möjliga undersökningsinsatser som kan komma ifråga i anläggningens tillfarter eller centralområdets bergutrymmen.

- Även om man ännu inte är i närheten av deponeringsområdena eller når dem med borrhål, är det viktigt att redan på vägen ner mot förvarsdjup mäta bergspänningarnas storlek och orienteringar och hur de förändras med djupet /SKB 2009b/. Frågeställningen presenteras närmare i avsnitt 4.5.2. Förutom borrhålsundersökningar kan andra undersökningsmetoder, avsedda speciellt för underjordsförhållanden, tillämpas. Exempelvis kommer konvergensmätningar att utföras i skipschaktet, eftersom det är den anläggningsdel som först drivs ner mot förvarsdjup. Mätutrustningar för detta installeras på ett antal nivåer och kompletteras troligen med överborrningsmetoden, så att dessa metoder kan kalibreras mot varandra.
- Platsundersökningens DFN-modeller utgjorde ett väsentligt underlag för beräkning av frekvensen av mindre deformationszoner (MDZ = *Minor Deformation Zones*) och därmed också för uppskattningen av frekvensen ”långa sprickor”. DFN-modellerna innehåller dock osäkerheter, och beträffande konstruktionsförutsättningen om långa sprickor är det möjligt att kriteriet kommer att omformuleras, se bilaga 1. Närmare förvarsdjup förväntas spänningsförhållanden och hydrauliska egenskaper likna de som råder inom förvarsområdet. Därför kan sprick- och flödesdata från pilotborrning och tunnelkartering i den nedre delen av anläggningens tillfarter eller i centralområdet ge underlag för kalibrering av DFN-modeller och därmed för att reducera deras osäkerheter. För detta behövs mer detaljerade sprickkarteringar än de som ingår i den ordinarie tunnelkarteringen.
- Metodik för identifiering av ”långa sprickor” som inte kan accepteras vid en kapselposition är ett annat exempel på insatser som kan behöva testas redan i slutförvarets tillfarter och i centralområdet, se utförligare beskrivning i avsnitt 4.5.

Under detta tidiga skede av slutförvarets uppförande är det viktigt att metoder och rutiner för de återkommande undersökningarna funktionstestas och intrimmas. Det är också angeläget att god samordning etableras med bergarbetena, så att arbets- och informationsflödena blir adekvata och effektiva.

För rampen, som endast har en arbetsfront, kommer varje undersökning utöver den rutinmässiga sonderingsborrningen och tunnelkarteringen att innebära stillestånd för bergarbetena, varför fördelarna med varje sådan insats måste vägas mot nackdelarna. I första hand prioriteras undersökningar som ger information till säkerhetsbedömningar och säkerhetsanalyser. Stillestånd i bergarbetena orsakas också av pilotborrning och annan undersökningsborrning, såvida inte en särskild nisch eller kort sidotunnel kan byggas, så att både bygge och undersökning kan utföras utan störning. För skipschaktet kommer arbetsmiljöaspekter att vara särskilt viktiga, vilket kan påverka vilka undersökningsinsatser som genomförs.

En särskild nisch eller sidotunnel behövs om man tidigt vill pröva de karakteriseringsmetoder som senare ska användas i deponeringsprocessen. Visserligen erbjuder centralområdet större möjligheter för sådana tester och experiment, men testresultaten kan komma att behövas tidigare. Positiva planer för närvarande ett sådant testprogram i ONKALO och samarbete har inletts avseende nyttan med olika undersökningsmetoder. Icke platsberoende forskning och utveckling med bäring på slutförvaret kommer också att genomföras vid Äspölaboratoriet.

## 4.4 Detaljundersökningar – centralområde

### 4.4.1 Frågeställningar, osäkerheter och konstruktionsförutsättningar

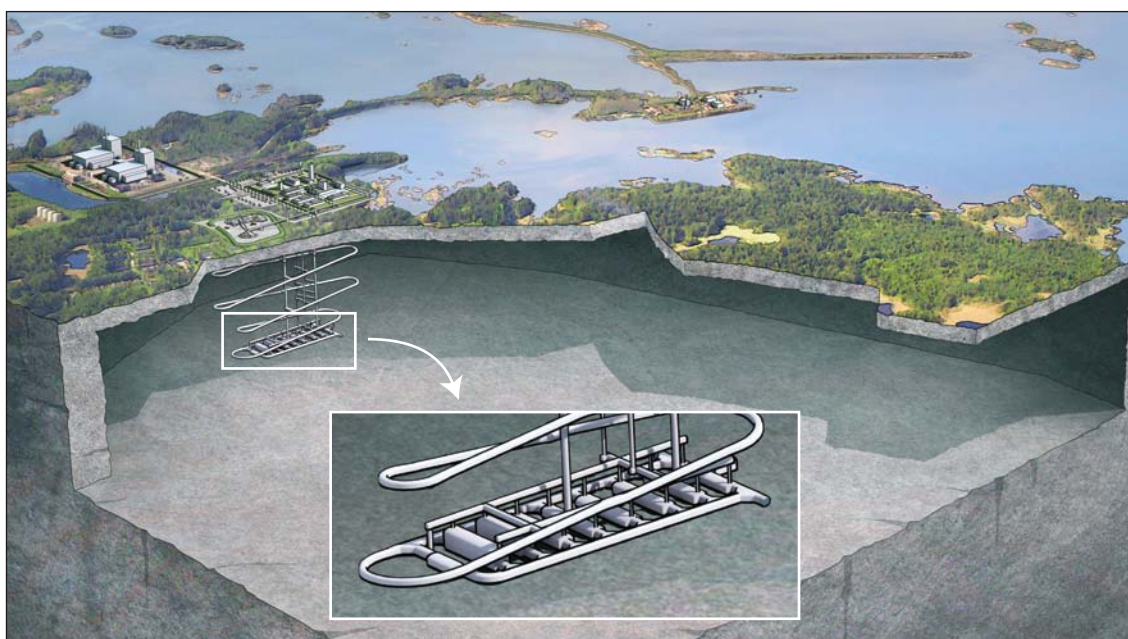
Eftersom centralområdet inte omfattas av några särskilda krav vad gäller konstruktionsförutsättningar för uppfyllande av långsiktig säkerhet, är det främst anläggningens mekaniska stabilitet och vatteninflöden under den tid som slutförvaret står öppet som ställer krav på berget. Centralområdet är förlagt till bergdomän RFM045 respektive sprickdomän FFM06. Båda har egenskaper som på det hela taget är gynnsamma vad avser mekanisk stabilitet. Det föreligger dock en viss osäkerhet beträffande bergspänningsmagnituderna på förvarsdjup, varför stabilitetsfrågorna ändå bör prioriteras, speciellt för tunnlar vilkas längdaxel skär riktningen för största horisontalspänningen under stor vinkel.

Centralområdet förväntas delvis beröras av de mindre deformationszonerna ENE1061 och NNW1205. Ny kunskap om dessa tillkommer i samband med att de passeras av slutförvarets tillfarter. Frekvensen konduktiva sprickor är låg i aktuella sprickdomäner. Vidare bör de nämnda deformationszonernas hydrauliska egenskaper ha dokumenterats tillräckligt när tillfarterna byggts, vilket innebär att vatteninflödet till centralområdet torde kunna hanteras utan större svårighet.

### 4.4.2 Detaljundersökningar i samband med uppförande

Inför detaljprojekteringen av centralområdet kommer nytt underlag avseende bergförhållanden att finnas tillgängligt. Viktigast, jämfört med den information som förelåg vid projektering D2, är de undersökningsresultat som de rutinmässiga undersökningarna genererat i samband med byggandet av tillfarterna. Återkopplingen från undersöknings- och byggerfarenheter lägger grunden för detaljundersökningarna för centralområdet, se figur 4-4. Huruvida någon särskild undersökning behövs inför detaljprojekteringen styrs av eventuella osäkerheter som kan komma att identifieras. Oavsett om nya undersökningsresultat inkommer, förutom de rutinmässiga, uppdateras modeller och upprättas prognoser innan centralområdet börjar byggas.

I samband med byggnationen av centralområdets tunnlar och bergtrum kommer rutinmässiga undersökningar att genomföras, se avsnitt 4.2.1. Fokus kommer att ligga på de parametrar som vid projekteringen bedömts vara de väsentliga för att styra det fortsatta byggandet, i enlighet med observationsmetoden. Principen är densamma som när tillfarterna byggdes, men metodik och arbetsflöden anpassas efter de förhållanden som kommer att råda vid centralområdets olika bergutrymmen.



*Figur 4-4. Slutförvarsanläggningens centralområde omfattar flera parallella bergtrum som kan användas för att testa undersökningsmetoder för deponeringsprocessen.*

### 4.4.3 Andra undersökningar i centralområdet

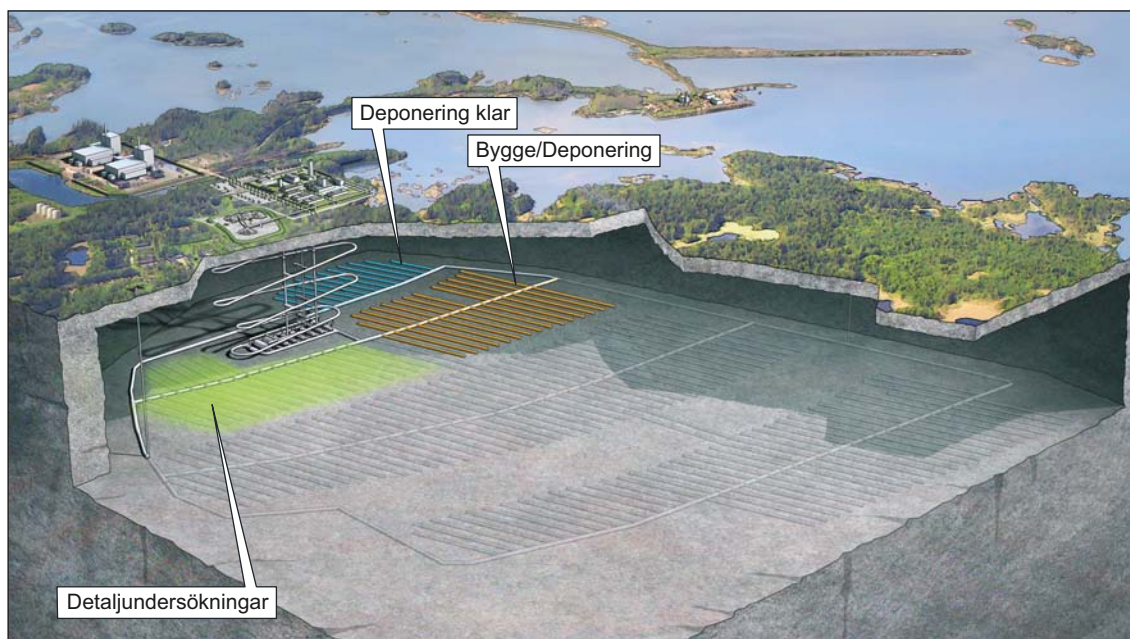
Av samma skäl som i anläggningens tillfarter kan undersökningar som ger information om berget i deponeringsområdena komma ifråga. Att centralområdet med sina parallella bergrum kan vara särskilt lämpat exempelvis för utprovning av undersöknings- och modelleringsmetodik för att identifiera och karakterisera ”långa sprickor” nämndes i avsnitt 4.3.3. För första gången kan modellering göras baserat på att flera parallellt belägna bergutrymmen undersöks och byggs, ett förhållande som liknar det som kommer att råda när deponeringstunnlar byggs. En tillkommande aspekt för centralområdet är att här ges första möjligheten att studera den storskaliga variationen av termiska egenskaper, främst genom den geologiska karteringen och vid behov också med hjälp av laboratorieanalyser av bergprover, se även avsnitt 4.5.2.

## 4.5 Detaljundersökningar – förvarsområdet

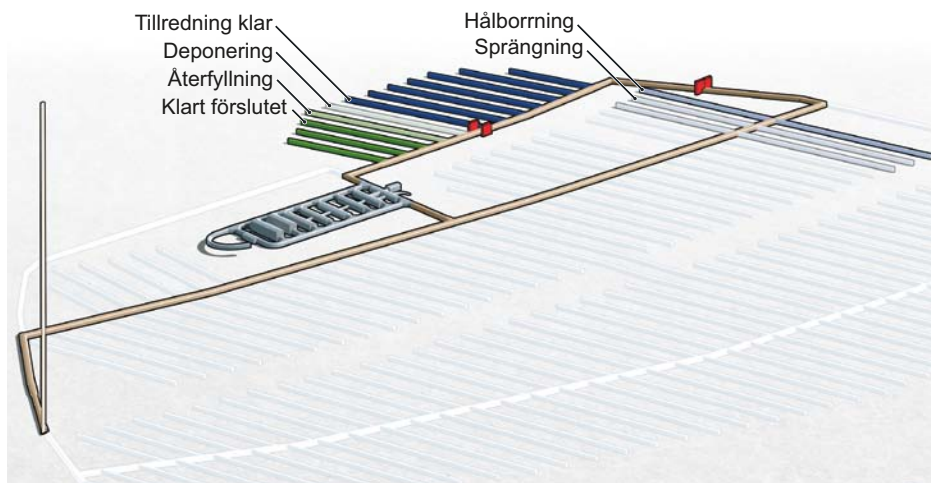
### 4.5.1 Översikt

I detta avsnitt behandlas detaljundersökningarnas roll vid utbyggnaden av förvarsområdet, vilket är fördelat på ett antal deponeringsområden. Figur 4-5 illustrerar den successiva utbyggnaden av förvarsområdet i ett relativt tidigt utbyggnadsskede, där byggnation och deponering pågår i ett deponeringsområde, samtidigt som detaljundersökningar genomförs för att ge underlag för projektering av kommande anläggningsdelar.

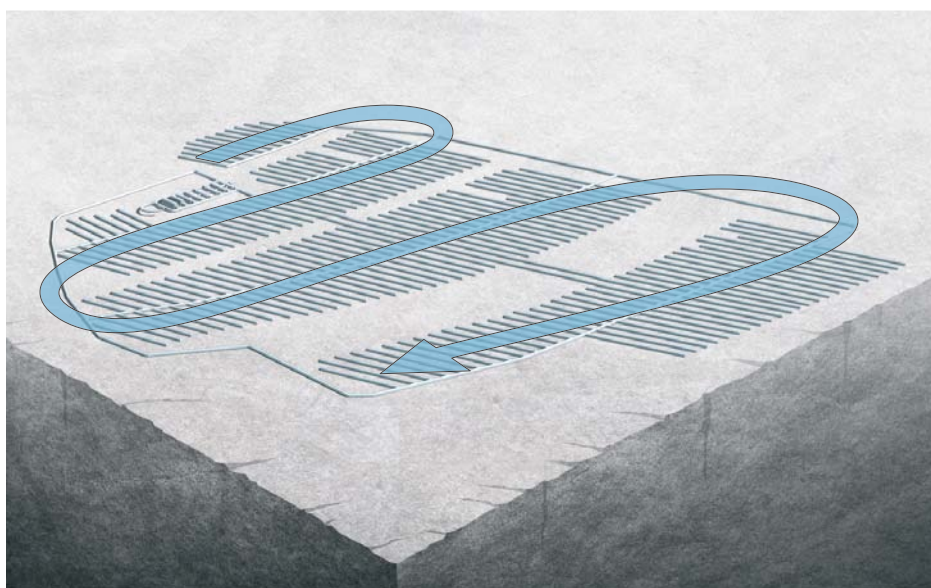
Uppförandet av varje enskilt deponeringsområde sker i flera byggsteg, där varje steg omfattar ett antal deponeringstunnlar. Detta framgår av figur 4-6, som också illustrerar att medan deponeringstunnlar drivs i ett byggsteg, pågår deponering i de deponeringstunnlar som tillredes under det föregående byggsteget. Kravet på fysisk åtskillnad mellan bergbyggnadsarbeten och deponeringsarbeten uppfylls genom att skiljeportar installeras i stamtunneln, vilket förhindrar kontakt mellan de två arbetsområdena. För att transporter ska kunna utföras till respektive arbetsområde, måste det aktuella deponeringsområdet först vara utbyggt med transport- och stamtunnlar. Figur 4-7 visar i vilken ordning förvarsområdet kommer att byggas ut /SKB 2009b/. Av detta framgår hur transport- och stamtunnelslingor kan byggas inom deponeringsområdena innan deponeringstunnlar byggs.



**Figur 4-5.** Illustration av samtidigt pågående verksamheter under driftskedet. I det blå deponeringsområdet har deponering slutförts. I det bruna området pågår deponering i färdigställda deponeringstunnlar samtidigt som nya deponeringstunnlar byggs och tillreds för deponering. I det gröna området pågår undersökningar av olika slag, exempelvis i pilothål samt modellering för detaljplanering av nästa byggsteg.



**Figur 4-6.** Illustration av slutförvarsanläggningen under provdrift. Av bilden framgår att bergbyggnadsarbeten pågår inom ett arbetsområde och deponeringsarbeten inom ett annat, och att dessa är separerade från varandra med skiljeväggar. Inför ansökan om provdrift används de första tunnlarna närmast centralområdet för samfunktionsprovning.



**Figur 4-7.** Bilden visar i vilken ordning förvarsområdet byggs ut.

De frågeställningar som presenteras i avsnitt 4.5.2 gäller för alla deponeringsområden. Endast en mindre del av det första deponeringsområdet kommer att byggas under uppförandeskedet, och i de första deponeringstunnlarna kommer så kallad samfunktionsprovning att ske, se figur 4-6. Det innebär bl a att alla undersöknings- och modelleringsmoment kommer att samtestas med utsättning, borrning och verifiering av deponeringshål.

Under denna period görs också en "datafrys" för all information som kommer att användas för uppdatering av platsmodellerna och för att inför ansökan om provdrift av slutförvaret förnya säkerhetsredovisningen. Med "datafrys" avses att alla primärdata som är tillgängliga vid en definierad tidpunkt ligger till grund för de modeller och analyser som ska göras inom ramen för säkerhetsanalysen, liknande den metodik som tillämpades under platsundersökningsskedet.

#### 4.5.2 Frågeställningar relaterade till konstruktionsförutsättningar och osäkerheter

Flertalet av de konstruktionsförutsättningar som gäller berget avser slutförvarets deponeringsområden, vilka ska anpassas till bergets egenskaper så att de övergripande kraven på långsiktig säkerhet tillgodoses. Beroende bl a på osäkerheter i gällande platsmodell eller på grund av att en högre grad av determinism eftersträvas, kommer platsmodellen att uppdateras, detaljeras och verifieras i flera steg.

I detta avsnitt görs en sammanfattande presentation av väsentliga frågeställningar som, beroende på deras betydelse för slutförvarets säkerhet och med hänsyn till platsmodellens nuvarande osäkerheter, kommer att behandlas i samband med att deponeringsområdena byggs. Om frågeställningen har relevans även för andra anläggningsdelar, är det i detta avsnitt som den behandlas mer i sin helhet. Framställningen är grupperad efter ämnesområden i ordningsföljden:

- Geologi.
- Bergmekanik.
- Termiska egenskaper.
- Hydrogeologi.
- Hydrogeokemi.
- Bergets transportegenskaper.
- EDZ.
- Geometrisk dokumentation.

##### **Geologi**

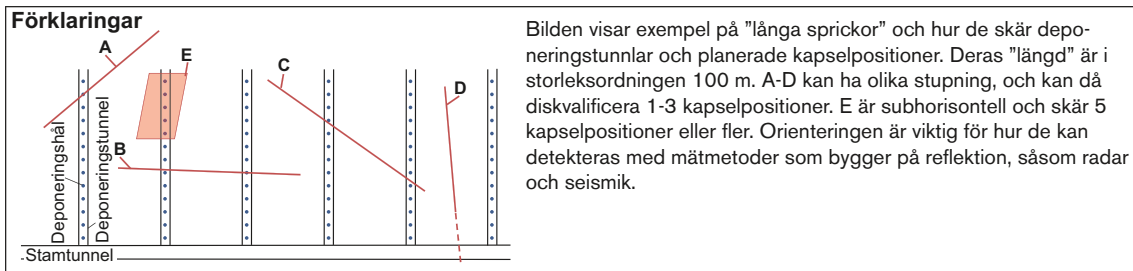
Slutförvaret ska enligt gällande referensutförande uppföras inom bergdomänerna RFM029 och RFM045, vilka tillhör den tektoniska linsen i Forsmark. Den första bergdomänen dominerar volymmässigt, men båda har gynnsamma egenskaper, se figur 4-1. Tillsammans, och med hänsyn till bortfall för olämpliga kapselpositioner, ska de kunna rymma den planerade mängden kapslar /SKB 2009b/. Den tektoniska linsens yttre avgränsning är inte skarpt definierad gentemot den omgivande berggrunden. För att kunna tillgodogöra sig bergdomänernas goda egenskaper behöver dessa gränser bestämmas och detaljeras i takt med att deponeringsområdena byggs ut.

Bergarternas väsentligaste egenskaper ur förvarssynpunkt är värmeledningsförmåga och hållfasthet, som båda bedöms vara väl kända för varje bergart. Bergarternas fördelning i bergvolymen kommer att bestämmas i detalj vid de fortsatta undersökningarna, se vidare avsnitt ”Termiska egenskaper”.

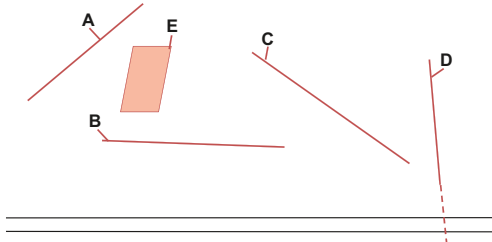
Slutförvarsberggrunden i Forsmark korsas enligt platsmodellen av fyra deformationszoner som är längre än tre kilometer. För dessa gäller 100 meters respektavstånd inom vilket kapslar inte får deponeras. Under uppförandet av deponeringsområdena ska dessa deformationszoners egenskaper och lägen verifieras, så att kravet på respektavstånd säkerställs. Risken för att det finns ytterligare, inte identifierade deformationszoner av denna dignitet, bedöms som mycket låg.

Det finns även ett antal deformationszoner med modellerade längder på mellan en och tre kilometer. Det bedöms som osannolikt att flera sådana zoner förekommer utöver de redan kända. Kapslar ska inte placeras i dessa deformationszoner, men det finns för närvarande inget krav på respektavstånd och inget hinder mot att deponeringstunnlar drivs genom dessa zoner, förutsatt att erforderlig förstärkning och tätning utförs. Det är en viktig uppgift för detaljundersökningarna att deformationszoners egenskaper och lägen preciseras.

Förutom de ovan nämnda, 1–3 km långa deformationszonerna, förekommer ytterligare en kategori mindre deformationszoner (MDZ) och längre sammanhängande sprickor som inte får skära en kapselposition. Tillsammans benämns de ”långa sprickor”, och problemställningen kring dessa beskrivs kortfattat i avsnitt 2.1.1 och bilaga 1. Inom ramen för detaljundersökningarna förutses att detaljerade sprickarteringar för uppdateringar av DFN-modeller utförs. Väsentligast är dock att varje sådan enskild ”lång spricka” kan identifieras. Därför planeras undersökningar i flera steg, så att det för varje kapselposition kan verifieras att den inte skärs av någon ”lång spricka”, se figur 4-8. I annat fall måste kapselpositionen överges.

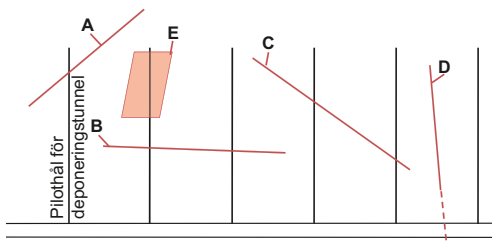


**Stamtunnel byggs**



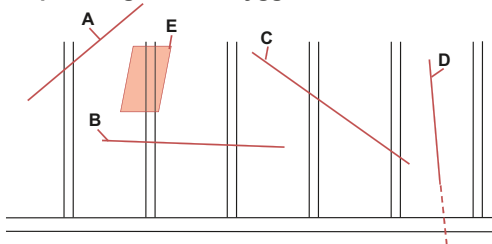
Bilden visar steget när en stamtunnel drivs. Stamtunneln föregås av pilothål, i vilket borrkärna och hydrotest kan indikera D. Radar och seismik kan detektera B och C som har gynnsam orientering, men det beror också på stupning och geologiska egenskaper. I sonderingshål kan vattenförande avsnitt indikeras (D). Tunnelkartering visar FPI, deras egenskaper och ev vatteninflöden karakteriseras (D). Radar- och seismikmätningar utförs från tunneln (förutsättningar som ovan). Modellering i tunnelskala är det yttersta verktyget för att bearbeta allt underlag och bedöma sprickornas längder.

**Pilothål för deponeringstunnlar borras**



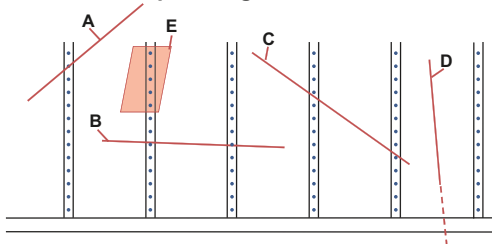
Bilden visar undersökningar under och efter borring av pilothål för deponeringstunnlar. Alla "långa sprickor" som borras igenom kan från borrkärna och andra undersökningar detekteras som sprickor eller sprickzoner (ev transmissiva), men längden kan inte fastställas (A, B, C). Om de skär två pilothål och är transmissiva kan interferenstester indikera minsta längd (B, C). Radar och seismik kan användas i olika konfigurationer. Med reflektionsmätning ska orienteringen av A, C, D, E kunna bestämmas. Modellering i tunnelskala är det yttersta verktyget för att bearbeta allt underlag och bedöma längder.

**Deponeringstunnlar byggs**



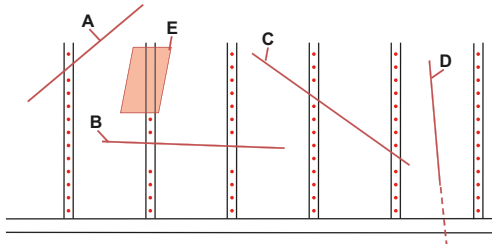
Bilden visar undersökningar vid uppförande av deponeringstunnlar. Sonderingsborring ger vattenföring (komplettering till pilothål). Tunnelkartering visar A, B, C som FPI. Egenskaper på dessa sprickytor karakteriseras och inflöden mäts. Radar och seismik kan åter användas i olika konfigurationer. Med reflektionsmätning ska orienteringen av A, C, D, E kunna bestämmas. E är nu särskilt viktig. Tomografi kan tänkas ge ytterligare egenskaper. Modellering i tunnelskala är det yttersta verktyget för att bearbeta allt underlag och bedöma längder.

**Pilothål till deponeringshål borras**



Bilden visar undersökningar vid och efter pilotborring för deponeringshål. Pilotborring undviks på position som tidigare påvisat "lång spricka". Kartering och undersökningar ger sprickor och egenskaper. E penetreras för första gången av hål. Särskild observation görs mot möjliga "långa sprickor" från tidigare steg. Nya radar- och seismikmätningar i olika konfigurationer. Interferenstester under och efter borring ger konnektivitet. Modellering i tunnelskala används för att bearbeta allt underlag och för att bedöma längder.

**Deponeringshål borras**



Bilden visar att om man under de tidigare stegen kunnat identifiera de exemplifierade objekten och genom integrerad modellering kunnat påvisa dem som "långa sprickor" kan borring av deponeringshål undvikas på dessa positioner. Om inte detta skett, återstår undersökningar i deponeringshålen för att klarlägga om de kan godkännas eller om något eller några hål måste förkastas. Hålkartering och inflödesmätning blir de metoder som tillsammans med modellering slutligen används. Eventuellt skulle radar och seismik kunna användas i ytterligare ett steg.

**Figur 4-8.** Exempel på hur frågan om "långa sprickor" med tillämpning av EFPC-kriteriet kan hanteras strategiskt med olika typer av undersökningar och modellering. (FPI och EFPC förklaras i avsnitt 2.1.1.)



## **Bergmekanik**

Det finns kvarstående osäkerheter kring spänningsmagnituder på förvarsdjup i Forsmark. Däremot bedöms osäkerheterna i huvudspänningarnas orientering vara mindre. Spänningsanalyser under projektering D2 /SKB 2009b/ har visat att om deponeringstunnlarna orienteras inom  $\pm 30$  grader från den största horisontalspänningens orientering, är risken för spjälkning i deponeringshål minimal för de mest troliga bergspänningsmagnituderna. Anpassning till detta har varit en viktig del när slutförvarets nuvarande referensutformning togs fram.

Kompletterande karaktärisering av spänningsfältet behöver således göras, i första hand för att uppnå säkrare bestämningar av horisontalspänningarnas magnituder, men också för att precisera orienteringsbestämningarna. Båda uppgifterna är komplexa och förutsätter en kombination av olika mätmetoder och observation av eventuell överbelastning i tunnlar. I avsnitt 4.3.3 noterades att sådana insatser i viss utsträckning kan bli aktuella redan under uppförandet av de djupare belägna delarna av slutförvarets tillfarter.

## **Termiska egenskaper**

Bergets värmeledningsförmåga är en dimensionerande parameter som bestämmer avståndet mellan deponeringstunnlar respektive deponeringshål. I nuvarande referensutformning medför denna berg-egenskap att avståndet mellan deponeringshålen blir något större i bergdomän RFM45 än i RFM029.

Amfibolit är en underordnad bergart i förvarsvolymen med väsentligt sämre värmeledningsförmåga än de granitiska huvudbergarterna. Amfiboliten uppträder oftast som små linser och är lätt att känna igen vid kartering. Om amfibolitlinserna skulle förekomma mer frekvent än vad platsbeskrivningen indikerar, skulle en större totalarea för deponeringsområdena behövas men risken för detta bedöms dock vara liten. Osäkerheterna kring värmeledningsförmågan är en väsentlig fråga för detaljundersökningarna inom deponeringsområdena. Generellt gäller dock att den successiva utbyggnaden av underjordsanläggningen möjliggör en närmast deterministisk kartläggning av värmeledningsförmågan och dess rumsliga variation. Dokumentation av amfibolitgångars förekomst blir härvid den viktigaste uppgiften.

## **Hydrogeologi**

Bergmassans vattenföring är generellt sett låg på förvarsdjup inom sprickdomänerna FFM01 och FFM06 och bedöms därför inte medföra några problem för anläggningens uppförande och drift. De få vattenförande deformationszoner som förväntas bör kunna hanteras med tätningsåtgärder.

Det finns konstruktionsförutsättningar gällande maximalt tillåtna vatteninflöden till såväl deponeringshål som till schakt och tunnlar, se bilaga 1. Inflödeskravet till deponeringshål är ställt med hänsyn till buffertens stabilitet innan återfyllning av deponeringstunnel. Dessutom gäller att det är gynnsamt för den långsiktiga säkerheten om deponeringshålen placeras så att det framtida grundvattenflödet förbi dem blir litet. Det är därför av stor vikt att ha kunskap om läget och genomsläppligheten för tänkbara framtida vattenvägar i berget närmast deponeringshålen. Några kvantitativa krav, annat än de som gäller inflödet till deponeringshålen, har för närvarande inte lagts fast, men detta kan komma att ändras när konstruktionsförutsättningarna uppdateras. Inflödeskravet till tunnlar och schakt gäller per längdenhet och är ställt för att återfyllnaden ska uppfylla eftersträvd funktion. För deponeringstunnlar finns också krav för enstaka punktinflöden. Men inflödet behöver bara vara begränsat när återfyllningen genomförs, vilket kan åstadkommas genom injektering.

Inflödeskravet för centralområdets bergutrymmen, schakt och för andra tunnlar än deponeringstunnlar styrs av krav på arbetsmiljö och på att grundvattenytans avsänkning ska vara begränsad. Inflödeskravet i schakt och tunnlar påverkas även av utformningen av förslutningen. Baserat på krav på arbetsmiljö och grundvattenavsänkning har detta flöde preliminärt satts till  $\leq 10$  liter/min och 100 meter tunnel, se vidare Berglinjerapporten /SKB 2010a/.

## **Hydrogeokemi**

Grundvattnets kemiska sammansättning har stor betydelse för ingenjörbarriärernas funktion. Tillsammans med sprickmineralens geokemiska egenskaper påverkar detta även eventuell transport av radionuklider från slutförvaret till recipienten i biosfären.

En konstruktionsförutsättning för slutförvarsanläggningen gäller grundvattensammansättningen i berggrunden där deponeringspositioner förläggs, se bilaga 1. Kravet avser naturliga förhållanden före berguttag. Generellt gäller att när anläggningen byggs kommer grundvattenavsänkningen att förändra de naturliga hydrogeologiska förhållandena, vilket leder till att den rumsliga fördelningen av grundvatten av olika sammansättning förändras och att omblandning sker. Några av de givna egenskaperna är mycket störningskänsliga, t ex redoxförhållandena, varför mätning av grundvattensammansättningen i enskilda deponeringshål endast har ett begränsat värde för att verifiera att konstruktionsförutsättningarna är uppfyllda. Den viktigaste verifikationen av detta grundar sig istället på resultaten från det grundvattenkemiska program med tillhörande modellering som genomfördes under platsundersökningen, innan berganläggningen började byggas. Vad avser buffertkapacitet för redox och alkalinitet längs flödesvägar samt orsaken till förhöjda sulfid- och uranhalter i ett antal borrhålssektioner finns vissa kvarstående osäkerheter. I det planerade provtagningsprogrammet ingår, liksom vid platsundersökningarna, även undersökningar av mikrober, kolloider och lösta gaser. Provtagningarna inom detaljundersökningsprogrammet inklusive hydrogeokemisk monitoring kommer att kvantifiera de förändringar i den grundvattenkemiska sammansättningen som förväntas inträffa.

## **Bergets transportegenskaper**

Inga konstruktionsförutsättningar för slutförvarsanläggningen finns givna som direkt avser bergets transportegenskaper. Förutom matrisbergets och sprickmineralens egenskaper styrs transportegenskaperna till stor del av hydrogeokemiska och hydrogeologiska förhållanden i berggrunden. I föregående avsnitt nämndes nuklidtransport genom berget upp till biosfären som en väsentlig faktor att beakta för den radiologiska långtidssäkerheten. Inför kommande säkerhetsanalyser kan kompletterande information behövas, men troligen endast i begränsad omfattning.

## **EDZ**

Med EDZ (*Excavation Damaged Zone*) menas den sprängskadezon som kan bildas i bergväggen kring tunnlar och schakt eller motsvarande skadezon som kan bildas vid mekaniskt berguttag, såsom vid borrhning av deponeringshål. Även ogynnsamma bergspänningsförhållanden kan bidra till att EDZ bildas i tunnlar och deponeringshål genom spjälkning.

Det finns konstruktionsförutsättningar som ställer hydrauliska krav på eventuellt bildad och hydrauliskt konnekterad (sammanbunden) EDZ i tunnlar och deponeringshål, se bilaga 1. Ett av dessa gäller högsta tillåtna vattengenomsläpplighet i EDZ-zonen som omger berggrum. Kravet gäller under toppförslutningen, dvs under den nivå upp till vilken förslutningen av ramp och schakt ska göras med tätande material. Kravet varierar för olika tunnlar, schakt och övriga utrymmen, där det strängaste kravet ställs på deponeringstunnlarna, se vidare bilaga 1. Motsvarande konstruktionsförutsättning om en högsta tillåten vattengenomsläpplighet finns för den skadezon som kan utbildas runt deponeringshålen vid borrhning.

Möjligheterna att uppfylla konstruktionsförutsättningarna för EDZ beror huvudsakligen på med vilken teknik som berguttaget kommer att göras. Olika undersökningar som SKB har genomfört, /SKB 2010a, Karlzén och Johansson 2010/ visar att även om enskilda sprickor kan bildas vid berguttaget kommer dessa, vid tillämpning av planerad referensmetod (sprängning av tunnlar respektive borrhning av deponeringshål), inte att bilda en hydrauliskt konnekterad zon över någon längre sträcka. Det förutsätts att någon form av uppföljande mätning av den eventuella skadezonens egenskaper kommer att göras, men metodik för detta har ännu inte fastlagts.

### **Geometrisk dokumentation**

Det finns ett antal geometriska krav på slutförvarets bergutrymmen. För att bufferten i deponeringshålen och återfyllningen i deponeringstunnlarna ska kunna placeras korrekt och uppfylla sina konstruktionsförutsättningar måste hålrummens dimensioner hållas inom givna toleranser, se bilaga 1. Detta ställer krav på berguttag och på noggrannhet i inmätning (utrustning och metoder).

En annan geometrisk fråga är läget av de befintliga undersökningshålen, vilka borras från markytan. För de hål som kommer att ligga nära en tunnel är det viktigt med noggrann positionering.

### **4.5.3 Beslutssekvens och detaljplanering vid utbyggnad av förvarsområdet**

Inför och under förvarsområdets utbyggnad kommer verksamhetens styrning att utgå från ett antal beslut i en sekvens som startar med utbyggnad av ett deponeringsområde och avslutas med att ett enskilt deponeringshål godkänns för deponering av kapsel. De huvudsakliga besluten i denna sekvens är:

- Beslut om deponeringsområdets avgränsning inför en utbyggnadsetapp.
- Beslut om placering och bygge av deponeringstunnlar.
- Beslut om deponeringspositioner i deponeringstunnlar.
- Beslut om utförande av deponeringshål.
- Beslut om godkännande av deponeringshål för deponering av kapsel.

Information från detaljundersökningar kommer att utgöra viktigt underlag för dessa beslut.

I figur 4-9 visas principiella samband och informationsflöden mellan samt väsentliga beslutpunkter för detaljundersökningar, projektering och byggverksamhet. Såväl figurens illustrerade samband som de följande avsnittens beskrivningar av detaljundersökningarnas innehåll baseras på nuvarande kunskap och planeringsläge, varför de ska betraktas som preliminära.

### **Detaljplanering av utbyggnadssteg – generellt**

I samband med att ett byggsteg beslutas, oavsett om det handlar om ett nytt deponeringsområde eller en grupp av deponeringstunnlar, görs en detaljplanering av hur den aktuella byggnationen ska utföras. Detaljplaneringen utgår från befintlig projektering, uppdaterade modeller och dokumentation från hittills uppförda anläggningsdelar.

I samband med detaljplaneringen beställs de undersökningar och modelleringsinsatser som behövs. Kunskapen om förvarsområdet kommer generellt sett att öka med tiden, men för vissa egenskaper är osäkerheterna olika stora för skilda delar av bergvolymen. Inför beslutstillfället bör aktuella modeller uppdateras med resultat från alla hittills gjorda undersökningar, såväl de specifikt beställda som de som utförts rutinmässigt i samband med byggarbetena. Undersökningshål kan även borras från markytan, om detta skulle vara mer fördelaktigt.

Detaljplanering av ett utbyggnadssteg resulterar i en uppdaterad arbetsplan för byggande och detaljundersökningar med prognoser och åtgärdsplaner enligt observationsmetodens principer, se avsnitt 1.4.4.

### **4.5.4 Detaljundersökningar i samband uppförande av transport- och stamtunnlar för nytt deponeringsområde**

När utbyggnad av ett nytt deponeringsområde beslutats, blir en inledande uppgift att driva transporttunnlar och stamtunnlar, preliminärt som en tunnelslinga enligt förklaring i avsnitt 4.5.1, se figur 4-10. Framdriften av tunnlar kommer att föregås av pilotborrning. Generellt sett genomförs borrning och undersökningar på ett liknande sätt som under byggande av ramp och centralområde, se avsnitt 4.2.1 med figur 4-2 samt figur B3-3 i bilaga 3. Tunnelkartering utförs efter varje sprängcykel.





**Figur 4-10.** Slutförvarsanläggningens förvarsområde består av flera deponeringsområden och byggs ut i etapper. Figuren illustrerar utbyggd stamtunnel för ett nytt deponeringsområde inför uppförandet av deponeringstunnlar inom detta område.

Förutom dessa rutinmässiga undersökningar i samband med bygge av transport- och stamtunnlarna kan ett antal andra undersökningar komma att utföras, bl a för avgränsning och detaljplanering av deponeringsområdet. Den tektoniska linsens avgränsning samt lägen och egenskaper hos de deformationszoner för vilka respektavstånd gäller är exempel på sådana frågor. Hur dessa undersökningar ska utföras i det aktuella deponeringsområdet kan inte besvaras generellt, utan måste bestämmas i varje enskilt fall. Om ordinarie pilothål inte ger nödvändig information, kan undersökningsborrhål som sträcker sig utanför kommande bergutrymmen övervägas, under förutsättning att de sedan pluggas på ett tillfredsställande sätt, så att de inte negativt kan påverka förvarets barriärfunktion.

Från och mellan tunnlar kan man, beroende på deras orienteringar inom deponeringsområdet, exempelvis genomföra seismiska mätningar eller radarmätningar. Seismik torde vara den mest gynnsamma metoden för identifiering av deformationszoner. Radarvågornas genomträngningsförmåga begränsas av grundvattnets salthalt, varför radarmätningar är mindre intressanta för zoner på större avstånd från tunneln. Metodernas tillämpbarhet kommer att studeras inom ramen för planerad metodutveckling, se avsnitt 7.3.1.

En viss uppfattning om var ”långa sprickor” uppträder inom deponeringsområdet kan erhållas redan i detta läge, även om frågeställningen blir mer aktualiserad i deponeringstunnlarna, se figur 4-8, bild 2.

Tunnelkarteringen tillhandahåller en uppdaterad bergartsfördelning, där förekomsten av de termiskt avvikande bergarterna inom deponeringsområdet är av störst intresse.

Baserat på resultat från de rutinmässiga undersökningarna samt från särskilt utförda undersökningar i den färdiga tunnelslingan bör man i viss mån kunna verifiera den tidigare modellen, och även i någon utsträckning detaljera beskrivningen av bergets egenskaper inom aktuellt deponeringsområde, innan det börjar byggas ut med deponeringstunnlar.

#### **4.5.5 Detaljundersökningar i samband med uppförande av deponeringstunnlar**

När en transport- och stamtunnelslinga finns etablerad, kan deponeringsområdet med sina deponeringstunnlar börja byggas ut i steg. Varje sådant byggsteg detaljplaneras med utgångspunkt från den beslutssekvens och de åtgärder som beskrivs i avsnitt 4.5.3. Det där nämnda beslutet om placering och uppförande av deponeringstunnlar består i sin tur av två delbeslut. Dels ska deponeringstunnlarnas lägen bestämmas och pilothål borrar och undersökas för verifiering av att bergvolymen är tillräckligt bra, dels ska beslut fattas om dessa deponeringstunnlar ska byggas eller inte.

Detaljundersökningar i anslutning till detaljplanering och uppförande av deponeringstunnlar utgörs av:

- Pilotborrning för deponeringstunnlar med tillhörande undersökningar.
- Undersökningar i samband med byggande av deponeringstunnel.
- Undersökningar av färdig deponeringstunnel.

#### ***Pilotborrning för deponeringstunnlar med tillhörande undersökningar***

För att få ett bra underlag för detaljplaneringen av deponeringstunnlarna kommer pilothål att borrar från stamtunneln. Pilotborrningen utförs med ordinarie kärnborrningsmetodik. Det är särskilt viktigt att borrhålet håller sig inom den kommande tunnelns periferi, så att inte delar av borrhålet kvarstår i tunnelväggen när tunneln har drivits. Även för dessa pilothål planeras borrning och undersökningar enligt de rutiner som presenterades i avsnitt 4.2.1.

I pilothålen blir detaljeringsgraden så hög och bestämningen av den rumsliga fördelningen av bergets egenskaper så bra (deterministisk), att man kan få en relativt god uppfattning om hur stor andel av de projekterade deponeringspositionerna som kan användas. Väsentliga egenskaper är bergartsfördelning, främst förekomst och utbredning av den underordnade men termiskt avvikande amfiboliten. Särskilt viktigt är att minska osäkerheterna för värmeledningsförmågan i bergdomän RFM045. Kompletterande data om värmeledningsförmåga kan vid behov erhållas med fält- eller laboratoriemetoder, se avsnitt 7.3.4 samt bilaga 3 (avsnitt B3.6).

Vidare kan riktade insatser göras för att identifiera ”långa sprickor”, inte bara med radar och seismik i enskilda pilothål, utan också genom mätningar mellan flera pilothål, så kallade mellanhålmätningar. Om borrhålen penetrerat något vattenförande parti kan även hydrauliska mellanhålmätningar (interferenstester) utföras, se även figur 4-8, bild 3. Studier och utvecklingsarbeten pågår avseende möjligheten att identifiera långa sprickor med dessa mät- och modelleringsmetoder. Metoderna kommer att testas innan de tillämpas i slutförvaret.

Pilothålsborrningen bör genomföras med god framförhållning innan tunnlar ska byggas. Om vattenförande sprickor påträffas, kan de färdiga pilothålen utrustas med avtätningssmanschetter, så att hydrauliska responser från borrningen av de efterföljande hålen kan detekteras i syfte att identifiera eventuella vattenförande sprickor eller sprickzoner (utbredning och hydraulisk konnektivitet) i den aktuella bergvolymen. Framförallt bör grundvattenmonitoreringen inom deponeringsområdet pågå under så lång tid att den ger data till den hydrogeologiska modelleringen. Ett sådant arrangemang är också en förutsättning för att nämnda interferenstester ska kunna genomföras.

#### ***Undersökningar under och efter uppförande av deponeringstunnel***

När resultat från pilothål och uppdaterade modeller verifierat att en deponeringstunnel erbjuder tillräckligt många kapselpositioner, tas beslut om att bygga tunneln. Under tunneldrivningen genomförs undersökningar i sonderingshål och karteras tunnelväggar enligt ordinarie rutiner (se avsnitt 4.2.1). I deponeringstunnlar är kraven på en eventuell sprängskadezon (EDZ) strängast, särskilt för tunnelgolvet (sulan). Någon form av uppföljande mätning av sprängskadezonens egenskaper förutsätts därför, men metodik för detta har ännu inte fastlagts.

Eftersom tunnelgeometrin och tunnelns orientering relativt största huvudspänningen har stor betydelse för hur spänningskoncentrationer uppträder och därmed för spjälkningsrisken, har deponeringstunnlarna i gällande layout placerats nära parallellt med den bedömda största horisontalspänningen. Därigenom har risken för kontinuerlig spjälkning längs deponeringstunnlar och spjälkning i deponeringshål minimerats. Eventuell förekomst av spjälkning ska undersökas löpande i deponeringshålen.

Tunnelbotten ska vara jämn för att deponeringen av kapslar ska kunna genomföras på ett rationellt sätt. Därför kommer tunneln att byggas i två steg. Först sprängs galleriet ut (tunnelns övre och mellersta del), därefter tunnelns nedre del (pallen). Därmed kommer tunnelkarteringen sannolikt att utföras i två steg. Jämfört med vid drivning av rampen, då all verksamhet är samlad vid en enda tunnelfront, är tillgängligheten vid kartering av deponeringstunnlarna betydligt större, eftersom flera tunnlar är tillgängliga samtidigt. Detta ger flexibilitet och möjlighet att välja det lämpligaste karteringstillfället, dvs då tunnelarbetena störs minst. Ett lämpligt upplägg kan vara att först genomföra en översiktlig kartering för att dokumentera det väsentligaste och sedan återkomma med den fullständiga karteringen till ett senare tillfälle. Att tunnelns front (stuffen) endast kan karteras under perioden fram till nästa sprängning måste naturligtvis beaktas vid planeringen, liksom när resultaten från kartering och modellering i tunnelskala behöver vara klara.

För att återfyllningen ska kunna genomföras korrekt och resultera i att tillräckligt god funktion uppnås måste tunnelns geometri ligga inom de toleranser som anges i konstruktionsförutsättningarna. En första inmätning av tunnelkonturer görs i samband med tunnelkarteringen, men denna kommer sannolikt att kompletteras senare för att ge ett uppdaterat geometriskt underlag inför återfyllning av tunneln.

Snarast möjligt efter tunneldrivningen ska det totala vatteninflödet till deponeringstunneln börja mätas. Detta görs genom att en mätvall byggs vid tunnelns mynning, och att vattenflödet som passerar denna mätvall registreras, i princip på samma sätt som vid Äspölaboratoriet /Almén och Stenberg 2005/. Det finns även krav på mätning av punktvisa vatteninflöden.

I förhållande till pilothålen ger tunnelkarteringen en ännu högre detaljeringsgrad av den rumsliga fördelningen av bergets egenskaper. Termiskt anomala bergarter (främst amfibolit) och deformationszoner med risk för instabilitet och vatteninflöden är exempel på egenskaper som är väsentliga att kartlägga med hög noggrannhet.

Förekomsten av ”långa sprickor” ska återigen undersökas, nu bl a genom att från tunnelkarteringen identifiera om det finns sprickor eller mindre deformationszoner som kan följas runt hela tunnelperiferin. Sådana så kallade FPI-objekt (se avsnitt 2.1.1) utgör en del av EFPC-kriteriet (se bilaga 1) /Munier 2010/. Från deponeringstunnlarna kan också mätningar med tunnelradar och tunnelseismik (eventuellt även mellantunnelmätningar) utföras för att ytterligare verifiera förekomsten av och geometrin hos ”långa sprickor”, nu framförallt under tunnelgolvet där subhorisontella långa sprickor skulle kunna genomskära flera tänkta kapselpositioner, se figur 4-8, bild 4. Om så är fallet, diskvalificeras dessa enligt den andra komponenten av EFPC-kriteriet. Förutsättningarna att använda seismik respektive radarmätningar diskuteras i föregående avsnitt, ”Pilotborrning för deponeringstunnlar med tillhörande undersökningar”.

Uppdaterade modeller i detaljerade skalor baserade på undersökningsresultat från deponeringstunnlarna ger det slutliga underlaget för en preliminär utplacering av kapselpositioner. Bergets värmeledningsförmåga kan avgöra om enskilda kapselpositionen väljs bort. Förekomsten av långa sprickor är ett annat förhållande som ger underlag vid utplaceringen av kapselpositioner.

#### **4.5.6 Detaljundersökningar i samband med tillredning av deponeringshål**

När detaljundersökningarna i en deponeringstunnel slutförts enligt ovan och preliminära kapselpositioner bestämts, återstår ett par steg att genomföra innan färdiga deponeringshål kan godkännas och överlämnas för deponering av kapslar. Dessa är:

- Borrning av och undersökningar i pilothål för deponeringshål.
- Borrning av deponeringshål.
- Verifierande undersökningar i deponeringshålen.

### **Borring av och undersökningar i pilothål för deponeringshål**

I de preliminära kapselpositionerna genomförs pilotborring. Liksom all annan pilotborring utförs den som kärnborring. Ett pilothål borrar per kapselposition, om det inte finns särskilda skäl för annat. I pilothålen genomförs ett basprogram för undersökningar, vilket preliminärt motsvarar det som tillämpats för de andra, betydligt längre pilothålen. Den korta längden kan dock begränsa antalet tillämpbara metoder. Valet av dessa hör till de tekniska frågor som kommer att utredas i det kommande planeringsarbetet.

Borrhålskarteringen utförs mycket detaljerat avseende de egenskaper som är väsentliga för den långsiktiga säkerheten, och som också varit den huvudsakliga inriktningen för de föregående undersökningsstegen, nämligen sprickor, bergartsfördelning och förekomst av den underordnade bergarten amfibolit med avvikande termiska egenskaper. Vidare görs hydrauliska tester i pilothålen för att identifiera och karakterisera vattenförande sprickor som korsar pilothålet. Indikationer på ”långa sprickor” enligt EFPC-kriteriet är av särskilt intresse, varvid modellering i detaljerade skalor utförs genom samtolkning av information från andra pilothål och från tidigare mätningar med seismik och radar från tunnelgolvet. Vid behov kan ytterligare mätningar med radar och seismik göras från pilothålen, eventuellt också mellan pilothål, se figur 4-8, bild 5. Om vattenflöden uppträder, kan även hydrauliska interferenstester tillämpas för att identifiera och karakterisera en ”långa spricka”, om den har en sådan orientering att den kan genomskära flera pilothål. För detta ändamål kan avtätningmanschetter behöva installeras i pilothålen.

Enligt konstruktionsförutsättningarna får vatteninflödet till ett deponeringshål inte överstiga ett visst angivet värde (bilaga 1). Uppmätt vatteninflöde till pilothålet används för att bedöma om konstruktionsförutsättningen kommer att uppfyllas.

### **Borring av och verifierande undersökningar i deponeringshålen**

Med resultat från pilothål och uppdaterade modeller ska det verifieras att de preliminära kapselpositionerna har de egenskaper som krävs. Om så är fallet kan beslut fattas om att borra deponeringshål i dessa positioner. Ett sådant beslut omfattar sannolikt flera deponeringshål, som utförs i en och samma borrhålskampanj. För redovisning av hur borrhålsborringen utförs hänvisas till Berglinjerapporten /SKB 2010a/. I vissa fall kan det vara fördelaktigt att under borrhålsborring registrera tryckresponser i näraliggande pilothål, helst med avtätningmanschetter monterade i dessa.

Undersökningar i deponeringshålen (figur 4-8, bild 6) ska dokumentera de geovetenskapliga förhållandena i syfte att slutligt verifiera om konstruktionsförutsättningarna för deponering av kapslar är uppfyllda. Geologisk kartering av borrhålsväggen utförs med en metodik som ännu inte bestämts i detalj, men som kan beskrivas som ett mellanting mellan kärnkartering (Boremap, se bilaga 3, avsnitt B3.4) och kartering av schakt. Det är därvid särskilt viktigt att observera eventuella tendenser till spjälkning. Huruvida det finns indikation på ”långa spricka” enligt EFPC-kriteriet undersöks ännu en gång.

Inflödet till färdigt deponeringshål kan nu mätas och stämmas av mot konstruktionsförutsättningen. Därefter kan eventuellt en mätutrustning monteras som registrerar inflödet fram till dess att deponering utförs, då man slutligen kan verifiera om inflödeskravet är uppfyllt.

Det geometriska kravet på deponeringshålen kontrolleras med någon form av mätsystem (t ex laserscanning eller totalstation) som ännu inte specificerats.



### **Slutligt godkännande av deponeringshåll – fortsatt utbyggnad och dokumentation av initialtillstånd för hela slutförvarsanläggningen**

Efter slutförda undersökningar i deponeringshållen, och när modeller uppdaterats, föreligger det slutliga underlaget för beslut om att godkänna deponeringshåll för deponering av kapslar. I samband med detta kan slutlig dokumentation av deponeringstunnlar med godkända deponeringshåll färdigställas. På detta sätt fortsätter sedan tillredningen av ytterligare deponeringstunnlar inom ramen för den ena byggetappen efter den andra, tills hela deponeringsområden är klara, och slutligen till dess att hela förvarsområdet är utbyggt och allt använt kärnbränsle deponerats. Den slutliga dokumentationen av hela anläggningens bergutrymmen inklusive eventuell skadezon (EDZ) kring dessa utrymmen utgör initialtillståndet för slutförvarsanläggningen vid säkerhetsanalysens beräkningar av slutförvarets långsiktiga säkerhet.

#### **4.5.7 Andra undersökningar i förvarsområdet**

Det detaljundersökningsprogram för förvarsområdet som föreslås i avsnitt 4.5 har genomgående strukturerats efter den sekventiella ordning enligt vilken uppförandet genomförs inom ett deponeringsområde. Liksom för tillfarter och centralområdet förutses därutöver att särskilda undersökningar av olika slag kommer att genomföras inom förvarsområdet. Här avses bland annat undersökningar för att verifiera bergets egenskaper, och som är lämpligare att utföra frikopplat från uppförandesekvensen. Exempelvis kan deponeringstunnlar göras tillgängliga för tester, provtagningar eller försök för att svara på uppkomna frågeställningar eller osäkerheter. Tänkbara exempel är grundvattenkemisk provtagning, hydrauliska flerhålstester, termiska försök, mm i lämpliga skalor. Dessa detaljundersökningar kommer främst att initieras utifrån säkerhetsanalysens behov. I samband med samfunktionsprovningen före driftstart förutses likaså behov av undersökningar. Huvudsyftet för dessa är att finslipa metodik och samverka med andra delar av uppförandeprocessen under drift.

#### **4.6 Kompletterande undersökningar med syfte att bedöma slutförvarets säkerhet**

Den information som insamlas under uppförandeprocessen kommer också att utgöra det väsentligaste underlaget för bedömning av slutförvarets långsiktiga säkerhet. Därutöver kan kompletterande undersökningar behövas för att få ökat underlag för säkerhetsanalys. De i avsnitt 4.5.7 nämnda undersökningarna tillhör främst denna kategori. Det kan också gälla undersökningar i bergvolymen utanför förvaret eller förhållanden i recipienten för eventuell radionuklidtransport från förvaret. Dessa undersökningar kan även komma att utföras från markytan.

Kompletterande undersökningar initieras med ledning av säkerhetsbedömningar och säkerhetsanalyser.

## 5 Kvalitetsstyrning och kvalitetssäkring av detaljundersökningarna

SKB:s verksamhet styrs av ett företagsövergripande ledningssystem. Inom ramen för detta finns såväl SKB-gemensamma som verksamhetsspecifika rutiner. Inför och under platsundersökningarna i Forsmark och Oskarshamn genomförde SKB ett omfattande utvecklings- och förbättringsarbete av sitt kvalitetssystem för fältundersökningar och modellering. Systemet vidareutvecklades successivt under hela platsundersökningsskedet allteftersom nya erfarenheter gjordes.

Inför detaljundersökningarna förutses en relativt omfattande översyn av SKB:s ledningssystem inklusive kvalitetssystemet för undersökningar och modellering. Syftet är bland annat att tillgodose de kvalitetskrav på data och redovisningar som kommer att ställas med hänsyn till att slutförvaret är en kärnteknisk anläggning.

Detaljundersökningarna integreras med projektering och byggverksamhet, såväl i utförande som vid användning av resultat. Dokumentationen från detaljundersökningarna kommer att utgöra en del av den sammantagna dokumentationen för slutförvarsanläggningen, som bland annat redovisar initialtillståndet för anläggningens undermarksutrymmen och omgivande bergvolym. Detta leder till ett behov av ett integrerat kvalitetssystem för detaljundersökningar, projektering och byggande med SKB:s övergripande ledningssystemet som grund. Framställningen i föreliggande kapitel är dock uteslutande inriktad på detaljundersökningarna och på slutförvarets uppförandeskede. Verksamheten under driftskedet kommer att följa kvalitetsrutiner inom ett ledningssystem som då genomgått en genomgripande översyn.

### 5.1 Kvalitetsaspekter

Grundläggande kvalitetsaspekter kan liksom under platsundersökningarna uttryckas som att ”göra rätt saker” och att ”göra saker på rätt sätt”. Det första syftar på vad detaljundersökningarna ska utföra, dvs vilken information som ska tas fram. Rätt information åstadkoms främst genom det detaljundersökningsprogram som successivt kommer att utvecklas fram till byggstart, och där denna rapport utgör en första version. Intern och extern granskning av programmet säkerställer att uppställda kvalitetsmål uppnås.

Den andra grundläggande kvalitetsaspekten är att saker görs ”på rätt sätt” och med tillräcklig dokumentation för att uppfylla uppställda krav på spårbarhet. Detta relaterar till den styrning ända ner på detaljnivå som SKB kommer att utöva för detaljundersökningarnas genomförande, med huvudinriktning på hur metoder ska utföras inom process- och projektstyrda verksamheter. Projektplaner, aktivitetsplaner och metodbeskrivningar utgjorde viktiga styrverktyg under platsundersökningarna. Motsvarande styrdokument kommer att upprättas eller uppdateras inför detaljundersökningarna.

Här ges några exempel i punktform på andra aspekter som är av betydelse för det kvalitetssystem som kommer att tas fram för detaljundersökningarna.

- Efterlevande av kraven i SSM:s föreskrifter, oavsett om det gäller egna insatser eller arbeten som utförs av externa leverantörer.
- Tydlig fördelning av ansvar och befogenheter (en förutsättning givet att ett stort antal aktörer kommer att vara involverade i slutförvarets uppförande).
- Rutiner för leverantörsbedömningar och val av leverantörer, bl a baserat på aspekter som leverantörens eget kvalitetssystem med tillhörande egenkontroller och dokumentation.
- System och rutiner för kvalitetsrevision.
- Användning endast av i förväg godkända och intrimmade metoder.
- Fortlöpande utbildning för att uppnå uppställda kvalitetsmål, både av egen personal och externa leverantörer.
- Medvetandegöra det egna arbetets roll i kvalitetskedjan och dess betydelse för slutproduktens kvalitet.

Utförare ska rutinmässigt kvantifiera osäkerheter i primärdata. På motsvarande sätt är osäkerhetsuppskattningar en väsentlig del av modelleringsresultaten. Ett viktigt verktyg för strukturerad genomgång av tilltro och kvarvarande osäkerheter kopplade till primärdata, modeller och modellresultat är den typ av workshops som hållits inom ramen för platsundersökningarna, se exempelvis /SKB 2008b/.

## 5.2 Styrning och kvalitetssäkring

Detaljundersökningarna kommer till skillnad från platsundersökningarna, då själva undersökningsdelen utgjorde huvudaktiviteten, att utgöra en stödjande verksamhet till projektering, bygge och säkerhetsanalys, som således kan sägas avropa undersökningsinsatserna. Vissa undersökningar kommer att utföras i projektform medan andra, mer rutinmässigt och ständigt återkommande undersökningar, genomförs som processer. För både undersökningar och modellering utgör metodbeskrivningar och projektplaner viktiga styrande dokument för framtagning och hantering av primärdata respektive utförande av modellering och vidare bearbetning av modelleringsresultat.

De styrande dokument som användes under platsundersökningarna får utgöra underlag för upprättande av relevanta rutiner och ändamålsenliga styrdokument för detaljundersökningarna.

### 5.2.1 Kontroll av datakvalitet

Under platsundersökningarna har SKB utvecklat metoder för kvalitetskontroll av inlevererade data. Ett viktigt led i arbetet med att höja kvaliteten på dataleveranser och få effektiva dataflöden ("rätt från början"), liksom för att öka kvalitetssäkringen generellt, har varit införandet av metodspecifika leveranskontrollplaner (LKP). I dessa lyfts metodens kvalitetskritiska moment fram, och stickprovskontroller av dataleveranser görs rutinmässigt. Ett allmänt kontrollmoment gäller leverantörens kvalitetskontroll och att dennes egenkontroller redovisas i en signerad checklista.

Inför detaljundersökningarna kommer kvalitetskontrollen av data att behöva anpassas till de förutsättningar, krav och förhållanden som kommer att råda i detta skede. Det gäller särskilt för den processinriktade, fortlöpande verksamheten, där kontroller av data och modellanalyser måste utföras snabbt och effektivt, eftersom denna typ av kvalitetssäkrade resultat är betydelsefulla för den pågående byggprocessen.

### 5.2.2 Dokumentation och spårbarhet

Under uppförande och drift av slutförvaret 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, osv. För att möjliggöra effektiv identifiering, utläsning och utnyttjande av relevanta primärdata från upprättade databaser måste, mot bakgrund av de omfattande och mångfacetterade datamängderna, höga krav ställas på val av databasformat liksom formerna för resultatpresentation.

En viktig grundprincip för att uppnå nödvändig kontroll och spårbarhet i hela kedjan är att för varje länk åstadkomma fullgod dokumentation av indata, process (aktivitetens genomförande) och utdata, där:

- Indata ska ha otvetydig identitet.
- Process/aktivitet ska vara fullständigt definierad/dokumenterad.
- Utdata ska ha otvetydig identitet.

Genom en konsekvent genomförd dokumentation i alla led uppfylls spårbarheten enligt observationsmetodens behov.

Den processkartläggning som beskrevs i avsnitt 3.4 ger underlag för uppbyggnad av ett ändamålsenligt system för dokumentation och spårbarhet för detaljundersökningarna.

### 5.2.3 Rimlighetskontroll av data

När väl primärdatas kvalitet säkerställts, återstår ett antal kontroller som dels har bäring på rimligheten i data, dels också fokuserar på direkt eller indirekt stöd i data för aktuella konceptuella och beskrivande platsmodeller. Den första typen av granskning innebär kontroll av att storleken på ett datavärde är förenligt med dess erfarenhetsmässiga variationsintervall. Utgångspunkten vid inledningen av detaljundersökningarna är den databas som upprättats under platsundersökningarna, och som sedan successivt kommer att utvidgas allteftersom detaljundersökningarna fortlöper. När väl datas rimlighet fastställts kan dessa grupperas och undersökas konceptuellt genom olika former av samplotningar i två eller tre dimensioner. Dessutom bör rimligheten i processer som verkar över tid kontrolleras.

## 5.3 Kvalitetssäkring av modeller och modelleringsresultat

Liksom vid kvalitetssäkring av primärdata är utgångspunkten för att uppnå god kvalitetssäkring i modelleringsresultat att ha ett brett perspektiv, så att hög kvalitet skapas i hela kedjan från definition av modelleringsuppgift, val av modellverktyg och leverantör (modellör/modellteam/företag), aktivitetsplaner och uppdragsavtal till revisioner, leveranskontroller och inlagring i SKB:s modelldatabaser. Framställningen i nästa avsnitt avser främst numeriska modeller. I kommande programrapporter kan även kvalitetssäkring av beskrivande/konceptuella modeller behöva belysas, se avsnitt 3.2.

### 5.3.1 Kontroll av kod och resultat

En förutsättning för att möjliggöra resultatkontroll från en kvantifierande modellering är att resultaten har dokumenterats på ett tillförlitligt sätt. Vidare förutsätts att tillförlitlighet hos det utnyttjade modelleringsverktyget har uppnåtts genom att modelleringskoden har kontrollerats för ett givet enkelt fysikaliskt problem i relation till en känd och accepterad analytisk lösning. På detta sätt uppnås kontroll av att den numeriska koden utnyttjar de rätta grundläggande ekvationerna, och att dessa tillämpas på ett korrekt sätt. Denna kontroll är dock inte tillräcklig, utan det finns också ett krav på att utföraren har en dokumenterad kunskap om och erfarenhet av koden i fråga, i första hand från tillämpningar kopplade till den aktuella problemställningen.

### 5.3.2 Dokumentation och spårbarhet

Erfarenheterna från platsmodelleringen i Forsmark och Oskarshamn indikerar att det går att skapa god spårbarhet och på ett rationellt sätt hantera modellverktyg (versioner), grundläggande dataunderlag för kvantifierande beräkningar (geometri, materialegenskaper och randvillkor, se avsnitt 3.2) och resultat (versioner och alternativ). Dessa underlag specificeras och utdatafiler/plottar etc ges unika namn som möjliggör härledning av modellalternativ och tillhörande dataunderlag.

Detta till trots finns det utrymme för förbättringar. Exempelvis kan dokumentationen kopplad till en enskild simulering/modellberäkning även inkludera en logg med beskrivning av mål, indata och ändringar i modellen, t ex av geometri, materialegenskaper eller randvillkor samt utdata/resultat.

## 6 Redovisning av resultat från detaljundersökningsprogrammet

Uppförande och drift av slutförvaret för använt kärnbränsle kommer att kräva en omfattande redovisning i form av anläggningsdokumentation, säkerhetsanalyser, beslutsdokument, tekniska och geovetenskapliga rapporter mm för såväl SKB-anknutna som externa avvärmare och intressenter. Detaljundersökningarna kommer att tillhandahålla en del av faktaunderlaget för denna redovisning.

Omfattningen av och formerna för olika typer av redovisningar kommer att styras av de övergripande redovisningsbehoven vid uppförande och drift av slutförvaret och av detaljundersökningsprogrammets specifika redovisningsbehov. Framförallt måste dock formatet för redovisning till projektering och byggande utvecklas, så att leveranser är rationella och ändamålsenliga.

### 6.1 Vad ska redovisas?

Punktlistan nedan exemplifierar resultat och dokument som kommer att produceras relaterade till detaljundersökningsprogrammet, och för vilka någon form av redovisning kommer att krävas:

- Undersökningsdata (primärdata och bearbetade data).
- Modelleringsresultat (inklusive prognoser och viktiga mellansteg).
- Monteringsdata (för karakterisering och bedömning av omgivningspåverkan).
- Styrande dokument (t ex metodbeskrivningar och aktivitetsplaner, kvalitetsplaner och kontrollplaner), se avsnitt 5.2.
- Beslutsdokument.
- Dokument som relaterar till kommunikation mellan olika aktörer inom projektet (t ex byggmötesprotokoll och andra sammanträdesprotokoll).

### 6.2 När och hur ska redovisning ske?

Redovisning av detaljundersökningarnas resultat ska allmänt anpassas till den redovisning som behövs för uppförande och drift av slutförvaret, men också så att den uppfyller mer direkta och kortsiktiga behov under löpande verksamheter. I båda fallen gäller att redovisningen, förutom att vara tekniskt och vetenskapligt adekvat avseende innehåll och kvalitet, även ska vara anpassad till olika avvärmarens behov.

Väsentliga geovetenskapliga/tekniska redovisningstillfällen infaller exempelvis i samband med planering och detaljanpassning av en anläggningsdel, inklusive tillhörande pilotborrhål och tunnlar. Ett annat viktigt exempel är redovisningar av detaljundersökningarnas resultat i form av uppdaterade platsmodeller i samband med att säkerhetsredovisningen med ingående säkerhetsanalyser ska uppdateras eller förnyas.

Vad avser primärdata och modeller av olika slag och med varierande syften, kommer lagring i primärdata-baser och modelldata-baser, modellvisualiseringar och redovisningar i form av rapporter att genomföras enligt de styrande dokument som kommer att utarbetas, se även kapitel 5.

Uppförande och drift av slutförvaret representerar en verksamhet som ska pågå under en lång period, och redovisningen av undersöknings- och modellresultat kommer därför att ske återkommande. Till exempel kan det vid uppförandet av tillfarter vara lämpligt att låta specificerade tunnällängder styra den rutinmässigt samlade redovisningen, även om preliminär redovisning av resultat från sonderingshål och översiktliga tunnelkarteringar (mellan salvor) sker löpande. Eftersom resultat från undersökningar och modelleringar, enligt observationsmetodens principer, fortlöpande ska användas

som underlag för styrning av uppförandet, behöver detaljundersökningsresultat kvalitetssäkras och levereras i takt med detta behov. Utgående från dessa återkommande dataleveranser kommer geovetenskapliga och tekniska redovisningar av olika slag att med varierande tidsintervall sammanställas och presenteras för givet ändamål och i relevant skala.

SKB har egen erfarenhet av redovisningar av underjordsverksamhet från uppförandet av Äspölaboratoriet, då:

- Tunnelkarteringar mm dokumenterades på daglig basis (för varje sprängcykel), se även bilaga 3.
- Systematiska redovisningar omfattande 150 m tunnellängd gjordes inom tre ämnesområden: 1) geologi, 2) hydrogeologi/hydrogeokemi samt 3) bergkvalitet och förstärkning.
- Fylligare rapportredovisningar omfattande 1) geologi och bergmekanik, 2) hydrogeologi, 3) grundvattenkemi och 4) transportegenskaper gjordes efter varje ca 750 m tunnellängd.

Liknande rapportering kan tänkas förekomma under slutförvarets uppförande, men med förstärkt fokus på snabbhet och integration mellan olika ämnesområden.

Det är av stort värde att ha ett robust och användarvänligt redovisnings- och lagringssystem för de stora mängder av interna besluts- och kvalitetsdokument som kommer att produceras inom detaljundersökningsprogrammets ram. Hanteringen av aktivitetsdokument under platsundersökningsskedet kan vara vägledande, men detta behöver sannolikt vidareutvecklas för att klara det betydligt större antal dokument som förväntas under slutförvarsprojektet.

Hur olika redovisningar ska göras, bl a i termer av dokumenterad kvalitetssäkring, spårbarhet och tidsperspektiv för bevarande kommer att planeras i samråd med avnämarna under de kommande åren fram till byggstart.

## 7 Fortsatt planering och utveckling

I detta kapitel ges en sammanfattning av det fortsatta planerings- och utvecklingsarbetet för detaljundersökningarna före och under slutförvarsanläggningens uppförande i Forsmark. Bakgrunden till och motiveringar för dessa aktiviteter presenteras i tidigare kapitel, främst kapitel 3, 4 och 5. I föreliggande kapitel diskuteras i huvudsak följande områden:

- Fortsatt utveckling av detaljundersökningsprogrammet.
- Vidareutveckling av modelleringsstrategi, -metodik och -verktyg.
- Vidareutveckling av metoder och instrument för undersökningar.
- Vidareutveckling av metoder och utrustning för datahantering och datalagring.

Preliminära tankegångar för utveckling av kvalitetsprogram samt styrande och redovisande dokument tillämpliga på detaljundersökningsskedet redovisas i kapitel 5 och 6 och behandlas inte vidare i detta kapitel.

Slutförvarets huvudtidsplan presenteras översiktligt i figur 1-2. Utifrån denna tidsplan har två milstolpar identifierats för övergripande tidsstyrning av de fortsatta planerings- och utvecklingsarbetena för detaljundersökningarna. Dessa milstolpar är:

- **Före byggstart:** Program för detaljundersökningar under uppförande av slutförvarets tillfarter ska vara färdigställt och presenterat i programrapport. Vidare ska verktyg som då ska användas vara färdigutvecklade och ha genomgått sluttester.
- **Inför start av tunneldrivning inom förvarsområdet:** Program för detaljundersökningar under tillredning av deponeringstunnlar och deponeringshål ska vara färdigställt och presenterat i programrapport. Dessutom ska verktyg som då ska användas vara färdigutvecklade och ha genomgått sluttester.

### 7.1 Fortsatt utveckling av program för undersökningar och modellering

Ramprogrammet kommer att granskas i anslutning till tillståndsprövningen av SKB:s ansökan enligt kärntekniklagen. Programmet uppdateras därefter med huvudinriktning på detaljundersökningar under uppförandet av slutförvarets tillfarter. Inför detta program har metoder och instrument vidareutvecklats. Därefter följer successiva uppdateringar av programmet med specifik inriktning på övriga anläggningsdelar, dvs centralområde och deponeringsområden, allteftersom förvaret byggs ut.

Det fortsatta arbetet med att fastställa informationsbehovet kommer att fortgå parallellt med vidareutveckling av modelleringsstrategi, -metodik och -verktyg, se avsnitt 7.2. Innan informationsbehovet slutgiltigt fastställs, ska avstämning göras mot slutsatserna i säkerhetsanalysen SR-Site /SKB 2011/, liksom mot de villkor som kan vara förenade med tillståndet att påbörja uppförandet av slutförvaret.

### 7.2 Modellering – vidareutveckling av strategi, metodik och verktyg

Översiktlig status inom modelleringsområdet vid slutförda platsundersökningar i Forsmark redovisas i avsnitt 3.2 och i bilaga 2. Därutöver identifieras hur nya data från detaljundersökningarna avses användas i kommande modellering, med speciellt fokus på gällande konstruktionsförutsättningar. Det kan noteras att även om det återstår flera år till den faktiska tillämpningen av detaljundersökningsprogrammet, finns ett behov av att redan inom ett par år utprova och på försök tillämpa vissa modelleringsmetoder och -verktyg i en realistisk situation. Möjliga tillämpningar är dels vid uppförandet av planerad ny tunnel vid Äspölaboratoriet, dels vid Posivas underjordsanläggning ONKALO vid Olkilouto. Innan dessa applikationer kan realiseras, återstår dock ett visst grundläggande arbete. I det följande identifieras mot denna bakgrund översiktliga behov kopplade till utveckling av metodik och modellverktyg.

### **7.2.1 Modellering – strategi och metodik**

För det fortsatta planeringsarbetet gäller för samtliga ämnesområden att, utifrån olika avnämares behov, identifiera, formulera, förankra och dokumentera uppdaterad metodik. För att möjliggöra detta måste en övergripande modelleringsstrategi upprättas, som dels täcker samtliga ämnesområden, dels beaktar viktiga integrationsaspekter, alltifrån fortlöpande modellering under byggande till återkommande platsmodellering för säkerhetsbedömning/säkerhetsanalys. Denna integrerade strategi ska resultera i en god överblick över ämnesövergripande analys kopplad till väsentliga konstruktionsförutsättningar, t ex avseende placering av deponeringshål i relation till EFPC-kriterium och kriterier kopplade till vatteninflöden. Vidare bör separata strategibeskrivningar upprättas för enskilda ämnesområden, eftersom sådana medför en flexibilitet som underlättar modifieringar. Därmed kan den övergripande modelleringsstrategin hållas aktuell på ett effektivt sätt.

De strategier och ämnesvisa metodiker som tillämpats på Forsmark under slutet av platsundersökningskedet kommer, med nödvändiga tillägg kopplade till underjordsaspekterna, även att vara tillämpbara vid upprättandet av platsmodeller relaterade till framtida säkerhetsbedömningar och säkerhetsanalyser. Det finns dock, innan det operativa skedet inleds, behov av en uppdaterad, tydlig beskrivning av de strategier och metoder som ska tillämpas vid den fortlöpande modelleringen. Det är viktigt att beskrivningen tydliggör skillnader i innehåll, angreppssätt och omfattning mellan olika ämnesområden och anläggningsdelar.

Tabell 7-1 presenterar specifika frågeställningar som kommer att vara föremål för fortsatt metodutveckling inom ramen för detaljundersökningsprogrammet. Dessa är direkt eller indirekt kopplade till konstruktionsförutsättningarna eller påkallade av databehovet under uppförande och drift. En översiktlig tidsplan för det planerade utvecklingsarbetet redovisas i figur 7-1.

### **7.2.2 Modelleringsverktyg**

De flesta modelleringsverktyg som kommer att behövas är redan i dagsläget tillgängliga, eller i det närmaste tillgängliga. Viss reservation måste dock lämnas för verktygens möjlighet att fullt ut nyttja nya typer av underjordsinformation. Det fortsatta arbetet handlar huvudsakligen om att identifiera, förankra och dokumentera tänkta modelleringsverktyg i relation till nya komponenter i dataunderlaget samt till de differentierade strategier och metoder som diskuteras ovan.

### **7.2.3 Redovisning**

De framsteg som görs inom modelleringsområdet kommer att utgöra en viktig del av detaljundersökningsprogrammets utveckling under åren som följer. Kommande programrapporter erbjuder goda möjligheter till redovisning av utvecklingsarbetet.

## **7.3 Vidareutveckling av metoder och instrument för undersökningar**

Mot bakgrund av sammanställningar av de parametrar som ska bestämmas under detaljundersökningarna och med utgångspunkt från nuvarande metod- och instrumentstatus kommer SKB att utarbeta en handlingsplan för vidareutveckling av undersökningsmetoder och instrument. Liksom för modellutveckling kommer utvecklingsarbetet att redovisas i kommande programrapporter.

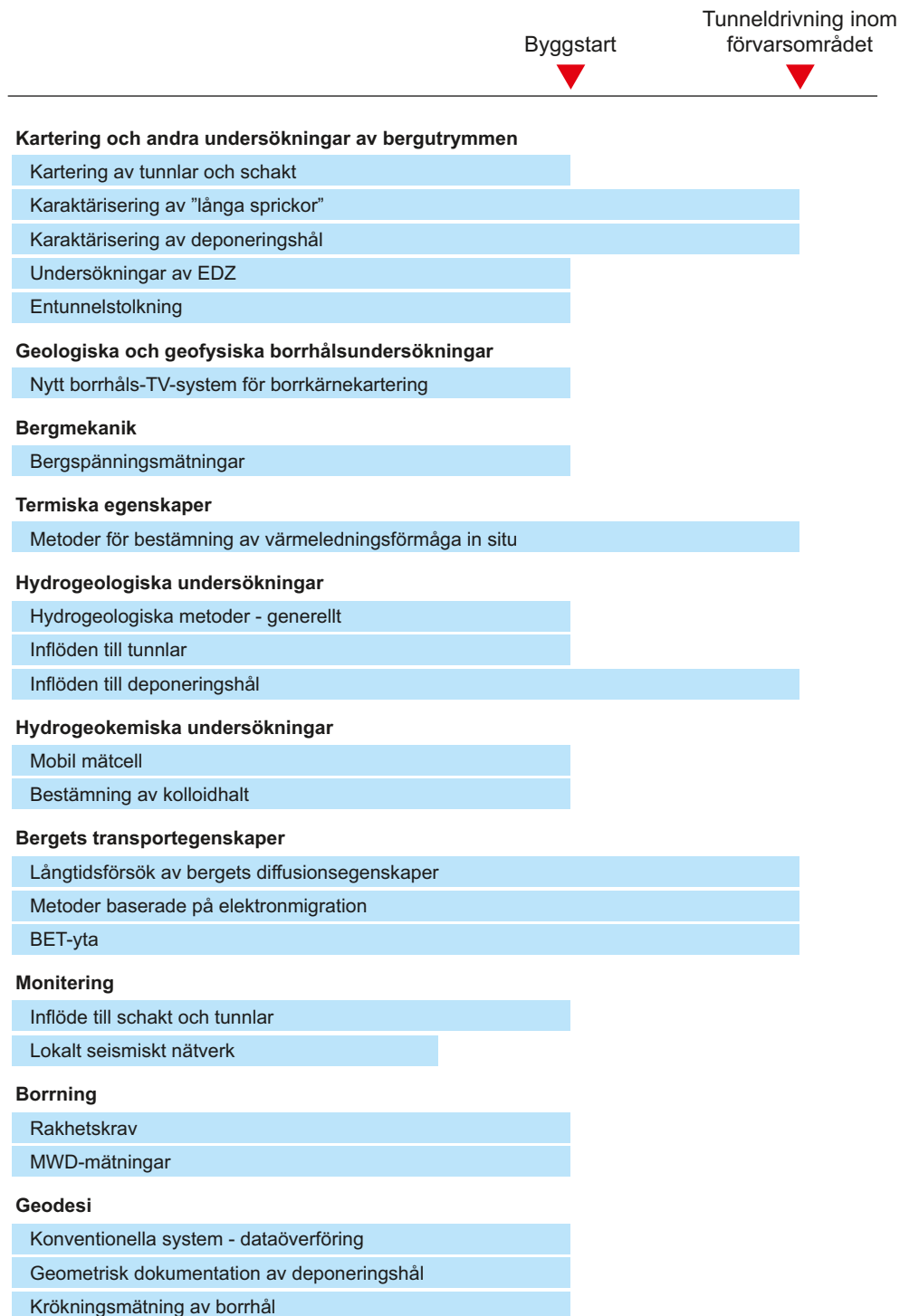
I detta avsnitt presenteras metod- och teknikutvecklingsinsatser som i dagsläget är kända och som bedöms angelägna. I vissa fall bör utvecklingsarbete och funktionstester vara genomförda innan bergarbetena påbörjas. För andra metoder och instrument ligger behovet av utprovade och fullt operativa system längre fram i tiden, i första hand då tunneldrivning inom förvarsområdet inleds. Några avgörande svårigheter förväntas inte i det utvecklingsarbete som hittills övervägts. Vikten av att allokera tillräckligt med tid och resurser för slutkontroll och funktionstestning före planerad användning i produktionssammanhang bör dock understrykas.



**Tabell 7-1. Sammanfattning av viktiga modelleringsfrågeställningar som är föremål för fortsatt utvecklingsarbete inom ramen för detaljundersökningsprogrammet, se även bilagorna 2 och 3.**

Frågeställning	Beskrivning, tillgängliga data och argumentation	Utvecklingsplaner
<p><b>Geologi/Hydrogeologi:</b> Deterministisk bestämning och karakterisering av "långa sprickor" som kan förekomma i berget kring deponeringstunnlarna. Modellering (prognos), konditionering/verifiering av modeller för "långa sprickor" (kopplat till EFPC-kriteriet och kriterier avseende hydrauliska egenskaper). Placering av deponeringshål.</p>	<p>Nya data kommer från geologi/geofysik, registrering av tryck/flöde under borrhning och möjligen från interferenstester (främst i deponeringsområden).</p>	<p>Översyn av metoder för tolkning av resultat från geofysiska undersökningar, tolkning av hydrauliska gränser liksom storlek/längd på aktiv hydraulisk struktur och integrerad tolkning/modellering, inklusive skalning av sprickegenskaper till relevanta skalor. Framtagning av metodik för integrerad tolkning av geologisk och hydraulisk information insamlad i ett enskilt borrhål (enhålstolkning) och i en enskild tunnel eller tunnel-/schakt (entunnelstolkning).</p>
<p><b>Geologi:</b> Integrering av data från borrhål och bergytor under jord. Metodik bör utarbetas för hur denna information ska kunna förenas till en förbättrad DFN-beskrivning.</p>	<p>Integration av mått på intensitet, sprickorientering och sprickspårlängd från borrhål och tunnlar/schakt.</p>	<p>Upprättande av metodik efter systematisk genomgång av tillämpliga existerande data från t ex Äspö och ONKALO.</p>
<p><b>Geologi/Hydrogeologi:</b> Utnyttjande av data som beskriver sprickstorlek för förbättrade DFN-modeller.</p>	<p>Nya data kommer från kartering av ramp, schakt och tunnlar. Ger möjlighet att mäta storlek på sprickor på blottade bergytor över stora avstånd (även mellan tunnlar).</p>	<p>Förutom översyn av karteringsmetodik behövs en genomgång av metodik för avbildning från karterade tunnelytor till en 3D-representation i aktuella modeller.</p>
<p><b>Geologi/Hydrogeologi:</b> Reduktion av utfallsrum för möjliga DFN-alternativ.</p>	<p>Platsmodelleringen i Forsmark och Laxemar genererade en mängd alternativa DFN-modellparameteriseringar som visade sig svårhanterliga att ta med i osäkerhets- och känslighetsanalyser. Ytterligheterna är här utnyttjande av ett fåtal alternativ med stora osäkerheter, eller ett flertal mer avgränsade alternativ med mindre osäkerheter.</p>	<p>Utarbetande av metodik som identifierar hur tillkommande data kan utnyttjas för förbättrad avgränsning av utfallsrum. Alternativa modeller reflekterar företrädesvis konceptuella osäkerheter medan varianser visar på andra osäkerheter. Ett närliggande steg är integrerad analys av geologisk och hydrogeologisk information med syfte att ta fram en samlad DFN-modell.</p>
<p><b>Termiska egenskaper:</b> Fördelning av termiska egenskaper utifrån karterad bergartsfördelning i pilotborrhål och tunnlar.</p>	<p>Detaljerad tunnelkartering av bergarter ger en möjlighet till närmast deterministisk beskrivning av fördelningen av värmeledningsförmåga.</p>	<p>Framtagning av metodik för kontinuerlig översättning av bergartskartering samt anpassning till lämplig skala. Understöd från verifierande mätning i större skala betydelsefull, se avsnitt 7.3.4.</p>
<p><b>Bergmekanik:</b> Magnituder och orienteringar på de största huvudspänningarna.</p>	<p>Nya data kommer från konvergensmätningar (tunnel) och borrhålmätningar under jord.</p>	<p>Framtagande av metodik för effektiv invers modellering av konvergensdata och från E-modulbestämning. Beaktande av erfarenheter från Posivas omfattande analyser av konvergensdata, överborrningsdata och data från hydrauliska bergspänningsmetoder i olika skalor.</p>
<p><b>Hydrogeologi:</b> Tillskrivning av hydrauliska egenskaper till flödande strukturer</p>	<p>Nya data kommer från karterade flödande strukturer observerade i underjordsutrymmen, understödda av information från pilot- och sonderingsborrhål.</p>	<p>Behov av metodik för kvantifiering av egenskaper (transmissivitet). Nödvändiga hänsyn till skaleffekter, tvåfasflöde och skin. Jmf experiment i Stripa och Äspölaboratoriet.</p>
<p><b>Hydrogeokemi:</b> Relevans och utnyttjande av hydrogeokemidata insamlade i en störd miljö under jord.</p>	<p>Provtagning i en tunnelnära miljö ställer krav på förståelse av den geologiska och hydrogeologiska situationen och successiva förändringar av denna.</p>	<p>Genomgång av erfarenheter från Äspö och ONKALO och formulering av metodik för integrerad tolkning och nyttjande i hydrogeokemisk och hydrogeologisk modellering.</p>





**Figur 7-2.** Översiktlig tidsplan för utveckling av undersökningsmetoder och instrument. Insatserna styrs så att utvecklingen är klar i god tid före byggstart respektive tunneldrivning inom förvarsområdet.

Kunskap om vilka egenskaper hos sprickor (t ex mineralfyllnader) som kan bestämmas med olika mätmetoder är grundläggande för karaktärisering av ”långa sprickor”. /Cosgrove et al. 2006/ gjorde en litteraturstudie avseende möjligheten att identifiera och karaktärisera sprickor i olika typer av berggrund med utgångspunkt från deras egenskaper och ursprung. Kopplingen mellan egenskaper och geofysikanomalier av olika slag för sprickor i kristallin berggrund, vilka geofysiska metoder som är mest effektiva vid sprickdetektering och -karaktärisering, samt vilken teknisk utveckling som ter sig mest fruktbar inom detta område behöver dock utredas ytterligare. Detta arbete har inletts och bedrivs delvis i samarbete med Posiva. Slutresultatet ska tillämpas först när det första deponeringsområdet byggs, men eftersom frågan har stor betydelse behöver tekniken troligen testas och trimmas in under flera år, innan den kan betraktas vara klar för rutinmässig användning.

### **Karaktärisering av deponeringshål**

I slutförvaret ska cirka 6 000 deponeringshål borraras, undersökas och godkännas. Karaktäriseringen kommer att ske i två steg. Först borraras ett pilotborrhål, som kan undersökas med i princip samma metodik som andra kärnborrhål. Vissa befintliga sonder är dock för långa för användning i deponeringshål, varför anpassning kan behöva göras.

När ett deponeringshål är färdigborrat ska borrhålsväggen karteras med avseende på bergartsfördelning samt karaktären och förekomsten av plastiska och spröda strukturer. För detta ändamål planeras en anpassning till och vidareutveckling av tekniken för bergkartering av tunnlar för tillämpning i deponeringshål. Nedskalkningen från tunnel till deponeringshål kräver betydande utvecklingsinsatser för att den fotogrammetriska tekniken ska kunna tillämpas. Förutom ordinär geologisk kartering ska borrhålsväggens ytstruktur dokumenteras noggrant. Det är speciellt viktigt att observera tendenser till spjälkning och att åter undersöka den eventuella förekomsten av ”lång spricka”.

Karaktärisering av deponeringshål ligger relativt långt fram i tiden, men metodutveckling har redan påbörjats i Äspölaboratoriet och kommer att successivt drivas vidare.

### **Undersökningar av EDZ**

I samarbete med Posiva bedrivs en utredning om vilka metoder som har störst potential att karaktärisera EDZ-zonen (se avsnitt 4.5.2). De huvudsakliga icke-förstörande undersökningar för karaktärisering av EDZ som övervägs baseras på geofysiska metoder (högfrekvent seismik och radar). Även användning av markradarmetoden (GPR= *Ground Penetration Radar*) ingår i utvecklingsarbetet. För närvarande pågår utvärdering av ett försök utfört av Posiva, där man tillämpat en kombination av GPR och en speciell form av hydraulisk testning i borrhål med liten diameter för karaktärisering av EDZ. Resultaten kan eventuellt leda till ny strategi för denna typ av undersökningar.

### **Entunnelstolkning**

Metodik och presentationsformer för sammanställning av alla data från en tunnel (inklusive pilotborrhål) och dess närområde har inte systematiskt tillämpats tidigare i SKB:s verksamhet, även om tunneldokumentationen i Äspölaboratoriet i viss mån kan karaktäriseras som entunnelstolkning. Erfarenheter finns också att hämta från Posivas verksamhet i ONKALO. Metodiken måste konkretiseras och preciseras i det fortsatta planeringsarbetet och föreligga i färdigt skick då ramp och schakt börjar drivas.

## **7.3.2 Geologiska och geofysiska borrhålsundersökningar**

Digital borrhåls-TV har under lång tid använts som underlag för kärnkartering med den sk Boremap-metoden (se förklaring i bilaga 3, avsnitt B3.4). Elektronikutvecklingen har varit snabb under senare tid, och SKB:s nuvarande borrhåls-TV, BIPS, behöver ersättas och Boremapmetodiken uppdateras.

En speciell aspekt på ett nytt borrhålskarteringssystem som bör beaktas är dess kapacitet att utföra väl centrerade mätningar i deponeringshål (diameter 1,8 m) med god upplösning i TV-bilden. I syfte att öka informationsmängden vid Boremapkarteringen kan eventuellt TV-loggning kombineras med loggning med akustisk televiwer.

### 7.3.3 Bergmekanik

En av de viktigaste kvarstående osäkerheterna i platsmodellen för Forsmark gäller spänningsfältets egenskaper, i första hand horisontalspänningarnas magnituder. I planeringsarbetet inför fortsatta undersökningar ingår att identifiera de metodkombinationer som har störst potential att minska osäkerheterna.

Då schakt och tunnlar börjar drivas kommer konvergensmätningar att tillämpas som ett komplement till borrhålsmätningar med hydrauliska metoder och överborrningsmetoder. Som förberedelse för konvergensmätningar i Forsmark studeras de konvergensmätningar och analyser som Posiva gör i ONKALO.

Tre metoder, SLITS-metoden samt LSG- och LVDT-metoderna, befinner sig under utveckling i samarbete mellan SKB och Posiva. Vid lyckat utfall kan alla tre metoderna komma att tillämpas vid slutförvaret. SLITS-metoden (*SLim borehole Thermal Spalling*) baseras på det faktum att uppvärmning av en bergvolym kring ett belastat borrhål inom en till två veckor kan ge en tillskottsbelastning som leder till spjälkning. Metoden har eventuellt potential att bli ett sätt att fastställa största huvudspänningens orientering.

LSG- (*Long Strain Gauges*) och LVDT- (*Linear Variable Differential Transducer*) -metoderna utgör speciella överborrningsmetoder, där bestämning av spänningsfältet utförs i en större skala (längre givare och grövre borrhål) än vid konventionell överborrningssteknik, se beskrivning i bilaga 3, avsnitt B3.5. Posiva har tillämpat metoderna i en och samma instrumentuppställning, det s k *LSG-LVDT-konceptet*. SKB planerar att kalibrera metoden mot kända förhållanden i Äspölaboratoriet.

### 7.3.4 Termiska egenskaper

Det finns behov av att utveckla fältmetoder för karakterisering av berggrundens värmeledningsförmåga som är mer rationella och mindre kostnadskrävande än dagens. SKB har övervägt några alternativa metoder för att bestämma bergarternas värmeledningsförmåga, in situ och i en skala som är relevant för kapseln. Utvecklingsbehovet är dock i dagsläget svårbedömt, och SKB avvaktar för närvarande rekommendationer från en arbetsgrupp under ISRM (*International Society of Rock Mechanics*), med deltagande av representant från SKB, som ska utarbeta förslag till metodik för bestämning av termiska egenskaper.

### 7.3.5 Hydrogeologiska undersökningar

#### **Hydrogeologiska metoder – generellt**

SKB förfogar över ett flertal hydrogeologiska metoder för tillämpning både ovan och under jord. En uppgift i planeringen av detaljundersökningarna är att välja ut de undersökningsmetoder som ska tillämpas under jord. Två kriterier är avgörande. Dels ska de hydrauliska testerna uppfylla högt ställda krav på mätnoggrannhet, dels ska en rationell logistik och smidig anpassning till andra pågående aktiviteter uppnås. Berggrunden i Forsmark kännetecknas av hög hydraulisk ledningsförmåga nära ytan, medan mycket låg konduktivitet dominerar på försvarsdjup. Dessa ytterligheter kan ställa särskilda krav på mätmetoderna.

SKB planerar att använda en kombination av utflödestester, injektionstester, flödesloggning och interferenstester. Förstudier kommer att initieras för att fastlägga de testmetoder och metodkombinationer som ter sig optimala med hänsyn till kvalitet och undersökningslogistik. Kravspecifikationer för utrustningar kommer att upprättas och utvärderingsmetodik fastläggas. Därefter vidtar teknisk utveckling, där så bedöms nödvändigt.

#### **Inflöden till deponeringshål och tunnlar**

Speciella utvecklingsinsatser planeras för metoder att mäta de små inflöden som förväntas till pilothål för deponeringshål och färdigborrade deponeringshål. Även utveckling av metoder för att mäta små inläckage i tunnlar planeras. Dessa arbeten kommer delvis att bedrivas i samarbete med Posiva.

### 7.3.6 Hydrogeokemiska undersökningar

De flesta hydrogeokemiska fält- och laboriemetoder som SKB förfogar över uppfyller detaljundersökningarnas krav på kvalitet och praktisk funktionalitet. Dock har utvecklingsbehov identifierats inom två områden; dessa kommenteras nedan.

#### **Mobil mätcell**

I bilaga 3, avsnitt B3.8, redogörs för de mobila mätceller som SKB använt i sin hittillsvarande verksamhet för mätning on-line ovan och under jord av parametrarna Eh (redoxpotential), pH, grundvattentemperatur, EC (elektrisk konduktivitet) och löst syre. Även vid detaljundersökningarna kommer det att behövas en väl fungerande utrustning för *mätningar on-line*, i eller utanför borrhålet, av dessa parametrar.

Tre alternativa utrustningsvarianter, var och en med olika utvecklingsbehov, övervägs:

- 1) *Borrhålschemmac-utrustningen* erbjuder en optimal lösning genom att mätningen sker in situ, dvs under de tryck- och temperaturförhållanden som råder i provtagningssektionen. Utrustningen är dock primärt avsedd för användning i borrhål borrade från markytan, varför den i så fall behöver anpassas för användning under jord.
- 2) *Den portabla mätcellen* för mätning av Eh, pH och grundvattentemperatur som SKB tog fram för Prototypförvaret vid Äspölaboratoriet, har vissa fördelar, även om mätningen inte sker in situ eftersom elektroderna är placerade utanför borrhålet. Om denna utrustning blir ett förstahandsval bör den kompletteras med elektroder för mätning av löst syre och elektrisk konduktivitet. Dessutom krävs viss programutveckling för hantering av mätdata.
- 3) Det tredje alternativet är att *följa den tekniska utvecklingen av elektroder och mätelektronik på den kommersiella marknaden* och, i den mån elektroder som är anpassade till höga tryck och i övrigt uppfyller SKB:s krav på kvalitet och robusthet skulle bli tillgängliga, införskaffa sådan utrustning och vid behov utföra sådana tekniska anpassningar att detaljundersökningarnas krav fullt ut uppfylls.

#### **Bestämning av kolloidhalt**

Bestämning av kolloidhalt i grundvattenprover har visat sig vara en långtifrån trivial uppgift. Flera metoder har tillämpats: 1) filtrering i argonatmosfär genom en serie filter med minskande porstorlek och ICP (*Inductively Coupled Plasma*)-analys av filterprov, 2) fraktionering/ultrafiltrering i argonatmosfär genom specialfilter med *cut off* på 5 000 D (Dalton) och 1 000 D samt ICP-analys av de olika fraktionerna, 3) analys av filter med svepelektronmikroskopteknik (SEM eller *Scanning Electron Microscopy*) samt 4) den så kallade LIBD-metoden (*Laser Induced Breakdown Detection*) som har använts både *on-line* på vattenflöde direkt från borrhål och på in situ-prov från stålbehållare med bibehållet tryck från borrhålssektionen. Ingen metod har dock hittills kunnat lyftas fram som helt otvetydig och problemfri.

Ovanstående metoder mäter koncentrationen av kolloiderna och ger även viss karaktärisering av kolloidegenskaperna. Sannolikt är det tillräckligt att under detaljundersökningarna enbart fastställa mängden kolloider. En teknik för detta som fram till nu enbart haft laborietillämpning, så kallad *single particle counting*, skulle eventuellt kunna vidareutvecklas för fältmässiga förhållanden. Det krävs dock en inledande studie för att utreda om, och i så fall hur, instrument och metod kan tillämpas för aktuella grundvattentyper.

### 7.3.7 Bergets transportegenskaper

#### **Långtidstests av bergets diffusionsegenskaper**

Ämnesområdet omfattar både fält- och laboriemetoder. Endast smärre utvecklingsbehov har identifierats. Vidareutveckling planeras av det så kallade LTDE-konceptet (*Long Term Diffusion Experiment*) för bestämning av diffusions- och sorptionsegenskaper in situ med utgångspunkt från resultat från det nyligen avslutade enhålsförsöket LTDE-SD vid Äspölaboratoriet /Widstrand et al. 2010/

### **Metoder baserade på elektronmigration**

Utveckling har skett av elektronmigration som laboriemetod för bestämning av matrisdiffusivitet med utnyttjande av icke sorberande spårämnen /Löfgren et al. 2009/, som ett komplement till genomdiffusionsmätningar. Fortsatt utveckling av metoden planeras för bestämning av sorptionskoefficienter och matrisporositet på hela bergbitar. En möjlig in situ-tillämpning av metodiken för bestämning av matrisdiffusivitet kommer också att utredas.

### **BET-yta**

En ny variant av laboriebetermining av inre ytor (så kallad BET-yta) för hela borrhälsbitar är under utveckling, vilken kan bli ny standardmetod. Denna metod kvantifierar den integrerade ytan kopplad till den porositet som är tillgänglig för sorption i det intakta matrisberget.

För övriga metoder förutses inga eller endast smärre utvecklingsbehov.

## **7.3.8 Monitering**

### **Inflöde till schakt och tunnlar**

Då underjordsutrymmen finns tillgängliga kommer moniteringen att utvidgas till att även omfatta inflödet av grundvatten till olika tunnelavsnitt. För detta används traditionell teknik, men vissa förbättringar kan behövas. Som förberedelse kommer erfarenheter från fintättningsprojektet vid Äspölaboratoriet /Funehag 2008/ samt resultat från pågående BeFo-projekt att studeras och utvärderas.

### **Lokalt seismiskt nätverk**

SKB överväger att installera ett lokalt seismiskt nätverk i Forsmark. Syftet är att i anslutning till slutförvarsbygget kontinuerligt registrera naturlig eller inducerad seismisk aktivitet med avsevärt lägre magnituder än de som kan registreras i det nationella seismiska nätet. Såväl naturliga jordskalv som salvsprängningar kommer att kunna registreras. Förutom att en databas byggs upp över jordskalv kan mätdata analyseras med avseende på parametrar som bidrar till förståelse av bergets respons på tunneldrivning. En utredning har inletts med mål att undersöka eventuellt seismiskt bakgrundsbrus, att identifiera lämplig utrustning samt att optimera utplacering av mätstationerna med hänsyn taget till slutförvarsbyggets geometriska förutsättningar, geovetenskapliga förhållanden på platsen och tänkbara störningskällor. Om utredningen visar att det är motiverat att installera ett lokalt seismiskt nätverk, bör ett sådant vara i drift innan tunnelarbetena påbörjas.

## **7.3.9 Borrning**

### **Rakhetskrav**

Borrningsteknik som uppfyller detaljundersökningarnas behov bedöms på det hela taget finnas tillgänglig. Begränsade utredningar och utvecklingsarbeten ska dock genomföras för att optimera tekniken. Exempelvis leder SKB:s höga krav på pilotborrhålens raket till att en sådan utredning ska initieras. Ett första steg blir att göra en noggrann genomgång av befintliga metoder för styrning av borrhål som underlag för eventuell metodutveckling.

### **MWD-mätningar**

Ett antal borrhingsrelaterade parametrar ska registreras samtidigt som borrningen utförs, så kallade MWD-mätningar (*Measurement While Drilling*). I ett pågående projekt undersöks om de program som finns för analys av MWD-data kan ge bättre prognoser för bergens egenskaper än vad som hittills varit möjligt. I projektet studeras även senaste utvecklingen på hårdvarusidan.

### 7.3.10 Geodesi

#### **Konventionella system – dataöverföring**

De konventionella geodetiska system som i dag finns på marknaden bedöms tillfredsställande för de flesta geodetiska bestämningar som slutförvarsbygget kommer att kräva. Däremot behövs utvecklingsarbete för att anpassa dataöverföring och datalagring till de databassystem som SKB kommer att utveckla, se avsnitt 7.4, så att kraven på kvalitet, spårbarhet och tillgänglighet uppfylls.

#### **Geometrisk dokumentation av deponeringshål**

En aktivitet som kan kräva viss metodutveckling avser inmätning med totalstation eller laserscanningsteknik för kontroll av geometriska specifikationer för deponeringshål (volym, diameter, raket, mm), se bilaga 1 och bilaga 3, avsnitt B3.13. För motsvarande dokumentation av tunnlar bedöms däremot befintlig teknik vara tillfyllest.

#### **Krökningsmätning av borrhål**

Existerande metoder för krökningsmätning av borrhål är allttjämt behäftade med betydande osäkerheter, varför teknisk vidareutveckling förutses.

## 7.4 Vidareutveckling av verktyg för datahantering och datalagring

Det är viktigt att i god tid tydliggöra de krav som detaljundersökningarna ställer på datahanteringen. Integreringen mellan undersökningar, modellering, projektering, detaljplanering och bygge inom ramen för observationsmetoden ställer höga krav på effektiv och spårbar hantering av data. Systemet ska kunna länka och presentera undersökningsresultat från borrhål och tunnlar inklusive borrhåls-spår och tunnelkonturer. Geometrier och egenskaper av deterministiskt modellerade strukturer och bergarter, hydrogeologiska och hydrogeokemiska data, tillsammans med tunnelloyout och konturer av färdigt utsprängda tunnlar, ska kunna presenteras för t ex kontroll av att konstruktionsförutsättningarna är uppfyllda. Systemet ska även kunna användas för presentation av beslutsunderlag, både under fortlöpande drift och för långsiktig planering.

För att uppnå detta måste, för det första, detaljundersökningarnas arbetsprocesser definieras och beskrivas. Utifrån detta byggs databasstrukturer och visualiseringssystem upp. För det andra är det väsentligt att identifiera kritiska överlämningsstidpunkter av data, så att modelleringens behov kan tillgodoses. Utvecklingen av samtliga system ska vara genomförd i god tid före byggstart, så att tester av enskilda systemdelar och samfunktionsprovningar kan genomföras för kontroll av att systemintegrationen fungerar.

Ett par av de utvecklingsbehov som för närvarande bedöms som mest angelägna är:

- **Databasens funktionalitet avseende hantering av stora datamängder.** Betydande informationsmängder ska dagligen lagras, sakgranskas och godkännas för användning och tas ut för modellering och som underlag för prognoser. Inledningsvis görs en översyn av befintlig databas rörande dess allmänna prestanda och datatillgänglighet i förhållande till uppställda krav. Därefter kommer behovet av en eller flera databaser med olika kapacitet och funktionalitet att utredas och en utvecklingsplan att upprättas.
- **System för deterministisk geologisk modellering.** Under platsundersökningarna användes det egenutvecklade systemet RVS (*Rock Visualization System*) som baseras på det kommersiella CAD-programmet MicroStation. Behovet av fortlöpande geologisk modellering, som bl a syftar till att skapa prognoser och beslutsunderlag för bygget, ställer höga krav på robusthet och användarvänlighet. En kravspecifikation som tar hänsyn till de nya arbetsprocesserna under bygge och drift ska upprättas. Utvärdering av kommersiella system (utöver RVS) i relation till denna kravlista och behovet av anpassning av dessa system ska genomföras. Egenutveckling av system är inte heller utesluten.



## Referenser

Publikationer utgivna av SKB (Svensk Kärnbränslehantering AB) kan hämtas på [www.skb.se/publikationer](http://www.skb.se/publikationer). Referenser till SKB:s opublicerade dokument finns samlade i slutet av referenslistan. Opublishade dokument lämnas ut vid förfrågan till [dokument@skb.se](mailto:dokument@skb.se).

**Almén K-E, Stenberg L, 2005.** Äspö Hard Rock Laboratory. Characterisation methods and instruments. Experiences from the construction phase. SKB TR-05-11, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Andersson J, 2003.** Site descriptive modelling – strategy for integrated evaluation. SKB R-03-05, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**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 R-97-03, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Andersson J, Ström A, Svemar C, Almén K-E, Ericsson L O, 2000.** Vilka krav ställer djupförvaret på berget? Geovetenskapliga lämplighetsindikatorer och kriterier för lokalisering och platsutvärdering. SKB R-00-15, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Andersson J, Winberg A, Skagius K, Ström A, Lindborg T, 2007.** Site descriptive modeling as a part of site characterization in Sweden: concluding the surface based investigations. In: Proceedings of the 11th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management, Bruges, Belgium, 2–6 September 2007. New York: American Society of Mechanical Engineers, pp 133–140.

**Bäckblom G, Almén K-E, 2004.** Monitoring during the stepwise implementation of the Swedish deep repository for spent fuel. SKB R-04-13, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Bödvarsson R, 2009.** Swedish National Seismic Network (SNSN). A short report on recorded earthquakes during the third quarter of the year 2009. SKB P-09-61, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Cosgrove J, Stanfors R, Röshoff K, 2006.** Geological characteristics of deformation zones and a strategy for their detection in a repository. SKB R-06-39, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**EN 1997-1:2004.** Eurocode 7: Geotechnical design – Part 1: General rules. Section 2.7. Brussels: European Committee for Standardization.

**Funehag J, 2008.** Injekteringen av TASS-tunneln. Delresultat t o m september 2008. SKB R-08-123, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Karlzén R, Johansson C, 2010.** Slutrapport från drivningen av TASS-tunneln. SKB R-10-31, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Löfgren M, Vecernic P, Havlova V, 2009.** Studying the influence of pore water electrical conductivity on the formation factor, as estimated based on electrical methods. SKB R-09-57, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Munier R, 2010.** Full perimeter intersection criteria. Definitions and implementations in SR-Site. SKB TR-10-21, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Posiva, 2003.** ONKALO. Underground characterisation and research programme (UCRP). Report 2003-03, Posiva Oy, Finland.

**Posiva, 2009.** Olkiluoto site description 2008. Report 2009-1, Posiva Oy, Finland.

**SKB, 2000.** Geovetenskapligt inriktat program för undersökning och utvärdering av platser för djupförvaret. SKB R-00-30, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**SKB, 2001a.** Platsundersökningar. Undersökningsmetoder och generellt genomförandeprogram. SKB R-01-10, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**SKB, 2001b.** Program för platsundersökning vid Forsmark. SKB R-01-42, Svensk Kärnbränslehantering AB.

- SKB, 2001c.** Geovetenskapligt program för platsundersökning vid Simpevarp. SKB R-01-44, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB, 2005a.** Program för fortsatta undersökningar av geosfär och biosfär. Platsundersökning Forsmark. SKB R-04-75, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB, 2005b.** Program för fortsatta undersökningar av berggrund, mark, vatten och miljö inom delområde Laxemar. Platsundersökning Oskarshamn. SKB R-05-37, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB, 2006.** Long-term safety for KBS-3 repositories at Forsmark and Laxemar – a first evaluation. Main report of the SR-Can project. SKB TR-06-09, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB, 2007.** Programme for long-term observations of geosphere and biosphere after completed site investigations. Forsmark site investigation. SKB R-07-34, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB, 2008a.** Site description of Forsmark at completion of the site investigation phase. SDM-Site Forsmark. SKB TR-08-05, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB, 2008b.** Confidence assessment. Site description modelling, SDM-Site Forsmark. SKB R-08-82, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB, 2008c.** Programme for long-term observations of geosphere and biosphere after completed site investigations. Oskarshamn site investigation. SKB R-07-59, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB, 2008d.** Geovetenskapligt undersökningsprogram för utbyggnad av SFR. SKB R-08-67, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB, 2009a.** Site engineering report Forsmark. Guidelines for underground design, step D2. SKB R-08-83, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB, 2009b.** Underground design Forsmark. Layout D2. SKB R-08-116, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB, 2009c.** Design premises for a KBS-3V repository based on results from the safety assessment SR-Can and some subsequent analyses. SKB TR-09-22, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB, 2009d.** Site description of Laxemar at completion of the site investigation phase. SDM-Site Laxemar. SKB TR-09-01, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB, 2010a.** Design, construction and initial state of the underground openings. SKB TR-10-18, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB, 2010b.** Fud-program 2010. Program för forskning, utveckling och demonstration av metoder för hantering och slutförvaring av kärnavfall. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB, 2010c.** Slutförvarsanläggning för använt kärnbränsle. Anläggningsbeskrivning layout D – Forsmark. SKB R-09-12, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB, 2011.** Long-term safety for the final repository for spent nuclear fuel at Forsmark. Main report of the SR-Site project. SKB TR-11-01, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Widestrand H, Byegård J, Selnert E, Skålberg M, Gustafsson E, 2010.** Äspö Hard Rock Laboratory, Long Term Sorption Diffusion Experiment (LTDE-SD). Supporting laboratory program – Sorption diffusion experiments and rock material characterisation. With supplement of adsorption studies on intact rock samples from the Forsmark and Laxemar site investigations. SKB R-10-66, Svensk Kärnbränslehantering AB.

#### Opublicerade dokument

SKBdoc id, version	Title	Issuer, year
1199888 ver 1.0	Verksamhet, ledning och styrning – uppförande av slutförvarsanläggningen	SKB, 2010

## Detaljundersökningarnas roll för att konstruktionsförutsättningarna ska uppfyllas

I denna bilaga presenteras och beskrivs de konstruktionsförutsättningar som på ett eller annat sätt påverkar detaljundersökningsprogrammets utformning. Konstruktionsförutsättningarna utgörs av ett antal direkta eller indirekta krav på anläggningens bergutrymmen och den omgivande berggrunden, i första hand för att den långsiktiga säkerheten ska uppfyllas. Med direkta krav menas konstruktionsförutsättningar som avser bergets egna barriärfunktion. Med indirekta krav menas konstruktionsförutsättningar som ställts för att andra barriärers (främst buffert och återfyllnad) konstruktionsförutsättningar ska kunna uppfyllas. Utöver dessa långsiktiga säkerhetskrav ställs krav på anläggningens tekniska funktion under dess uppförande och drift.

I tabellen nedan presenteras och beskrivs de åsyftade konstruktionsförutsättningarna. Enligt ovan grupperas de i kategorierna:

- Konstruktionsförutsättningar avseende bergets barriärfunktion.
- Konstruktionsförutsättningar avseende bergutrymmen och berggrund, för att konstruktionsförutsättningarna för andra barriärer ska kunna uppfyllas.
- Konstruktionsförutsättningar avseende bergutrymmen och berggrund, för anläggningens tekniska funktion under dess uppförande- och drifttid.

I mittkolumnen behandlas detaljundersökningarnas roll, i den högra kolumnen kommenteras status och utvecklingsbehov för karakteriseringsmetoder.

**Tabell B1-1. Konstruktionsförutsättningar avseende bergets barriärfunktion.**

Konstruktionsförutsättning (svensk översättning av originalformuleringar på engelska i /SKB 2009/)	Detaljundersökningarnas roll	Status och utvecklingsbehov för metoder
Förvarsvolumerna och -djupen måste väljas där det är möjligt att finna stora volymer berg som uppfyller de specifika kraven på deponeringshål.	<p>Detaljundersökningarna har ingen specifik uppgift för denna konstruktionsförutsättning utöver den grundläggande och generella rollen som kan sammanfattas enligt följande:</p> <p>Detaljundersökningarnas roll består i att tillhandahålla information så att slutförvarsanläggningen på bästa sätt kan anpassas till berggrundens förhållanden så att den långsiktiga säkerheten uppfylls. I detta ingår att fortlöpande uppdatera modeller med ökad detaljeringsgrad och med reducerade osäkerheter.</p> <p>Generellt sett kan en konstruktionsförutsättning oftast inte kontrolleras enbart genom mätning av en enskild parameter. I stället behövs multidisciplinära undersökningar och uppdaterade modeller i tillämpliga skalor, för analys och verifikation av att kraven på bergets funktion för de olika förvarsdelarna är uppfyllda. Detta leder sammantaget till ett generellt behov av att undersöka såväl geologiska, bergmekaniska, termiska, hydrogeologiska och hydrogeokemiska egenskaper som bergets transportegenskaper.</p>	Generellt sett bedöms detaljundersökningsmetoderna redan i nuläget ha god status. Vissa utvecklingsbehov har dock identifierats, vilket beskrivs i kapitel 7.

Konstruktionsförutsättning (svensk översättning av originalformuleringar på engelska i /SKB 2009/)	Detaljundersökningarnas roll	Status och utvecklingsbehov för metoder
<p>Med hänsyn till potentiell fryssing av buffert och återfyllnad, kravet på temperaturer som gynnar de mekaniska egenskaperna hos kapseln, yterrosion och oavsiktligt mänskligt intrång ska djupet vara betydande. Analyser i SR-Can-utvärderingarna bekräftar att detta uppnås genom att fastställa att det minsta djupet ska vara det som anges för ett KBS-3-förvar, d v s minst 400 m.</p>	<p>Denna konstruktionsförutsättning har verifierats utifrån resultaten från platsundersökningen /SKB 2008/ och den därpå grundade värderingen i SR-Site /SKB 2011/.</p>	
<p>Grundvattnets sammansättning i bergvolymen som väljs för deponeringshåll ska, före utsprängning, uppfylla kriterierna för funktionsindikatorer i SR-Can och tillhandahålla kemiskt gynnsamma förhållanden såsom:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducerande förhållanden</li> <li>• Salthalt (TDS; begränsad)</li> <li>• Jonstyrka; <math>[M^{2+}] &gt; 1</math> mM</li> <li>• Koncentrationer av K, <math>HS^-</math>, Fe; begränsade</li> <li>• pH; <math>pH &lt; 11</math></li> <li>• Undvik kloridkorrosion; <math>pH &gt; 4</math> eller <math>[Cl^-] &lt; 3M</math></li> </ul>	<p>Denna konstruktionsförutsättning har verifierats utifrån resultaten från platsundersökningen /SKB 2008/ och den därpå grundade värderingen i SR-Site /SKB 2011/.</p> <p>Viss uppföljande kontroll kan dock göras under anläggningens uppförande och drift, men detta kräver särskild hänsyn till hur de kemiska parametrarna styrs av grundvattnets strömningsmönster och att representativa mät- och provtagningsresultat kan erhållas.</p> <p>Efter utsprängning av deponeringstunnlar kommer inte längre ostörda förhållanden att råda. Kemiska kontroller inom ett deponeringsområde avseende denna konstruktionsförutsättning kommer därför att fokusera på borrhålsundersökningar innan egentliga bergarbeten inleds.</p>	<p>Kompletterande och verifierande hydrogeokemiska undersökningar i underjordsborrhåll riktade mot deponeringsområde kan komma att utföras, med samma principiella metodik som under platsundersökningskedet. Emellertid skiljer sig förutsättningarna för provtagning genom att underjordsanläggningen befinner sig under hydrostatiskt övertryck, varför proverna tas från flödande borrhåll/borrhålssektioner.</p> <p>Provtagning, analys och modellering bedöms huvudsakligen kunna genomföras med kända och tillgängliga metoder, men anpassningar behöver göras för underjordstillämpning vid slutförvarets uppförande och drift, så att uppställda kvalitetskrav uppfylls, se även kapitel 7, avsnitt 7.3.6.</p>
<p>(Då kvantitativa kriterier inte ges används termen "begränsad" för att indikera gynnsamma värden för säkerhetsfunktionsindikatorerna).</p> <p>Buffertgeometri (t ex hålutrymmen), buffertens vatteninnehåll och avstånd mellan deponeringshåll ska väljas så att temperaturen i bufferten är <math>&lt; 100</math> °C.</p>	<p>Detaljundersökningarna ska successivt uppdatera (verifiera och detaljera) de termiska modellerna för slutförvarets deponeringsområden.</p> <p>Underlaget ges främst från geologisk kartering av borrhåll och bergutrymmen, eftersom de termiska egenskapernas beroende av bergart är väl känd. Geofysisk loggning och laboratorieanalyser av borrhåll ger kompletterande information.</p> <p>Uppdaterade modeller beskriver den rumsliga fördelningen av bergarter och den därtill kopplade fördelningen av termisk ledningsförmåga. Underordnade bergarter med avvikande termiska egenskaper är härvid av särskilt intresse.</p> <p>Fältförsök på förvarsdjup i en skala som är relevant för kapseln kan övervägas för att verifiera konstruktionsförutsättningen.</p>	<p>Detaljundersökningar av berget relaterade till denna konstruktionsförutsättning bedöms i huvudsak kunna genomföras med kända och tillgängliga metoder. Vissa utvecklingsinsatser kommer att göras, bl a för att förbättra geofysiska metoder och för genomförandet av fältförsök, se avsnitt 7.3.4. Geologisk kartering görs i huvudsak med vedertagen SKB-metodik. Dock kommer ett nyutvecklat karterings-system att tas i bruk, se avsnitten 7.3.1 och 7.3.2. Vidareutveckling görs även av metodik för tolkning av resultat och termisk modellering, se avsnitt 7.2.1.</p>
<p>Det är inte tillåtet att placera deponeringshåll närmare än 100 m från deformationszoner med en spårängd på markytan längre än 3 km.</p>	<p>Detaljundersökningarnas roll för att konstruktionsförutsättningen uppfylls är att successivt uppdatera kunskapen om dessa deformationszoner. Osäkerheter gällande deras geometrier och övriga egenskaper är en fråga som fortlöpande kommer att analyseras i samband med modelluppdateringar. Vid behov initieras riktade undersökningar i syfte att minska osäkerheterna till acceptabel nivå.</p>	<p>Förutom viss anpassning av befintliga metoder för underjordstillämpning vid slutförvarets uppförande och drift, bedöms detaljundersökningar relevanta för denna konstruktionsförutsättning kunna genomföras med känd och tillgänglig undersöknings- och modelleringsmetodik.</p>

Konstruktionsförutsättning (svensk översättning av originalformuleringar på engelska i /SKB 2009/)	Detaljundersökningarnas roll	Status och utvecklingsbehov för metoder
<p>Deponeringshål ska, så långt som rimligen är möjligt, väljas så att kraftigare skjuvning än vad kapseln kan motstå inte kan uppstå. För att uppnå detta ska EFPC-kriteriet tillämpas i valet av kapselpositioner.</p>	<p>Detaljundersökningar relaterade till denna konstruktionsförutsättning och det givna EFPC-kriteriet avser i första hand att med tillräcklig noggrannhet kartera deponeringstunnlarnas väggar, tak och golv för att möjliggöra detektering av de "långa sprickor" som kan följas runt hela tunnelns periferi. Dessutom ska "långa sprickor" som skär fem eller fler deponeringshål identifieras genom undersökningar från tunnel eller i pilot-borrhål, varvid successiv modellering är en väsentlig del. Förutom direkta geologiska undersökningar tillämpas geofysiska metoder (radar och seismik) och hydrauliska tester.</p>	<p>Befintlig metod för tunnelkartering är tillräcklig för detektering av "långa sprickor" i tunnelväggen. För identifiering av "långa sprickor" som skär fem eller flera deponeringshål, liksom för att redan i ett tidigt skede kunna identifiera och karakterisera dessa objekt, krävs vidareutveckling bl a baserad på de nämnda metoderna radar och seismik, men även av metodik som nyttjar olika typer av hydrauliska metoder. Detta gäller i än högre grad om ett mer realistiskt kriterium för "långa sprickor" tas fram.</p>
<p><i>Not 1:</i> <i>Sprickor och deformationszoner med en sådan utbredning att de skulle kunna förorsaka en sådan skjuvning benämns gemensamt i denna rapport "långa sprickor". Med EFPC-kriteriet menas att en kapselposition ska förkastas om den skärs av en "lång spricka" som kan följas runt hela tunnelns periferi. Dessutom gäller att om en "lång spricka" korsar fem eller flera deponeringshål ska dessa förkastas.</i></p>	<p>Detaljundersökningar med metoder enligt ovan kommer steg för steg att värdera om konstruktionsförutsättningen är uppfylld, och om deponeringspositionen i detta avseende bedöms vara acceptabel för deponering. Syftet med denna stegvisa karakterisering är att borring av deponeringshål ska kunna undvikas i de positioner som inte kommer att accepteras. Metodiken illustreras i figur 4-8.</p>	<p>Utvecklingsarbetet består inledningsvis av att identifiera vilka sprickegenskaper som kan detekteras med respektive undersökningsmetod. Metodernas tillämpning vid de olika stegen ska vidare studeras i syfte att arbeta fram ett ändamålsenligt metodpaket. Dessa studier genomförs delvis i samarbete med Posiva.</p>
<p><i>Not 2:</i> <i>SKB:s pågående analyser av hur "långa sprickor" behöver vara konstituerade för att kunna skjuva av en kapsel indikerar att EFPC-kriteriet är konservativt. En stor del av de sprickor som kan följas runt hela tunnelns periferi är för korta för att kunna skjuva en kapsel. Målsättningen är att definiera ett mer realistiskt kriterium och att utveckla en undersökningsmetodik som med tillräckligt god säkerhet kan identifiera alla "långa sprickor" som faller inom ett sådant nytt kriterium.</i></p>	<p>Om ett nytt, mer realistiskt kriterium för "långa sprickor" tas fram enligt not 1, ställs sannolikt större krav på att kunna bestämma de "långa sprickornas" egenskaper för bedömning av deras rörelsebenägenhet. De principer som illustreras i figuren bedöms gälla även för ett förändrat kriterium.</p>	<p>Metodik för den slutliga karteringen av sprickor i deponeringshål har inte fastlagts men bedöms kunna tas fram utan större svårighet.</p>
<p>Den totala vattenvolymen som strömmar in i ett deponeringshål, från det att bufferten exponeras för inströmmande vatten till dess att den är mättad, ska begränsas för att säkerställa att högst 100 kg av det initialt deponerade buffertmaterialet går förlorat på grund av kanalbildning/erosion. Detta betyder, enligt nuvarande kunskap, att den totala volymen av vatten som strömmar in i ett godkänt deponeringshål måste vara mindre än 150 m<sup>3</sup>.</p>	<p>Berglinjerapporten /SKB 2010/ anger att konstruktionsförutsättningen bedöms vara uppfylld om inflödet till deponeringshålet understiger ca 0,1 l/min. Detta är en mätbar storhet, och konstruktionsförutsättningen kan alltså bedömas genom mätning. En första mätning görs lämpligen redan i pilot-hålen, varvid en preliminär bedömning av konstruktionskravets uppfyllelse kan göras. Den slutliga kontrollen kan göras strax innan bentonit och kapsel ska placeras i deponeringshålet.</p>	<p>Inflödesmätning, oavsett om den görs manuellt eller med registrerande instrument, bedöms kunna genomföras med kända och tillgängliga metoder och kräver därför inga särskilda utvecklingsinsatser, förutom anpassning och dimensionering av mätinstrument för den speciella mätuppgiften.</p>
<p>Sprickor som korsar deponeringshålen ska ha tillräckligt låg sammanhängande transmissivitet (ett specifikt värde kan i nuläget inte ges).</p>	<p>Ingen särskild insats utöver ovan planeras för närvarande. För att hantera not 2 planeras utförande av någon typ av hydrauliska tester, utöver inflödesmätning i pilothål enligt ovan.</p>	<p>För att hantera not 1: Hydrauliska tester, inklusive eventuella interferens-tester mellan pilothål i deponeringshål, kan genomföras med känd teknik. Metodiken för utvärdering och modellering för att fastställa uppfyllandet av konstruktionsförutsättningen utvecklas som en del av den integrerade modelleringemetodiken i tunnelskala.</p>
<p><i>Not 1:</i> <i>Konstruktionsförutsättningen bedöms vara uppfylld om villkoret avseende inflöde till deponeringshål blir uppfyllt.</i></p>		
<p><i>Not 2:</i> <i>Konstruktionsförutsättningen kommer sannolikt att kompletteras med ett specificerat maxvärde.</i></p>		

Konstruktionsförutsättning (svensk översättning av originalformuleringar på engelska i /SKB 2009/)	Detaljundersökningarnas roll	Status och utvecklingsbehov för metoder
<p>Före kapselplacering måste den sammanhängande faktiska transmissiviteten, integrerad utefter hela längden av deponeringshålsväggen och medelvärdesbildad runt hålet, vara mindre än <math>10^{-10}</math> m<sup>2</sup>/s.</p> <p><i>Not 1:</i> <i>Berglinjerapporten beskriver att en förhöjd transmissivitet utanför borrhålsväggen kan uppkomma vid hållborringen, i form av en mekaniskt utbildad skadezon eller genom spänningsomlagring.</i></p>	<p>Direkt mätning av flöde längs deponeringshålets vägg bedöms inte kunna genomföras rutinmässigt. Att konstruktionsförutsättningen uppfylls bygger i stället på att en referensmetod för borring av deponeringshålen tas fram, som verifieras uppfylla denna konstruktionsförutsättning.</p> <p>Bergspänningssituationen ska undersökas ytterligare med fokus på försvarsdjup, vilket medför att deponeringstunnlarnas orientering kan fastställas med större säkerhet.</p> <p>Någon form av indirekt kontroll av konstruktionsförutsättningen, genom uppföljande mätningar av hålväggens mekaniska egenskaper, förutses utföras under deponeringshålets tillredning. Härvid kan exempelvis högfrekvent seismik eller radar användas, men något mätprogram har ännu inte definierats.</p>	<p>Metodik för de uppföljande mätningarna av hålväggens egenskaper återstår att ta fram. Utveckling av metoder görs delvis i samarbete med Posiva. Se även avsnitt 7.3.2, 7.3.3 och 7.3.5.</p>
<p>Sprängskador ska begränsas och inte leda till en sammanhängande effektiv transmissivitet, utefter en betydande del (d v s minst 20–30 m) av deponeringstunneln och medelvärdesbildat över tunnelsulan, som är högre än <math>10^{-8}</math> m<sup>2</sup>/s.</p> <p><i>Not 1:</i> <i>Berglinjerapporten beskriver att den eventuella sprängskadezonens utbildning kring tunneln förutom av borr- och sprängningsmetod också påverkas av bergspänningarnas orientering i förhållande till tunneln.</i></p>	<p>Det bedöms varken praktiskt möjligt eller nödvändigt att genom mätningar kontinuerligt verifiera den hydrauliska konstruktionsförutsättningen. Att den uppfylls bygger istället på att en referensmetod för berguttag, som verifieras uppfylla denna konstruktionsförutsättning, tas fram.</p> <p>Bergspänningssituationen ska undersökas ytterligare med fokus på försvarsdjup vilket medför att deponeringstunnlarnas orientering kan fastställas med större säkerhet.</p> <p>Någon form av indirekt kontroll av konstruktionsförutsättningen, genom uppföljande mätningar av tunnelväggens mekaniska egenskaper som kan förorsaka förhöjd transmissivitet, förutses också utföras. Härvid kan exempelvis mätning med högfrekvent seismik och/eller radar utföras. Sådan kontroll kan göras kontinuerligt längs tunneln eller på slumpvis valda tunnelavsnitt.</p>	<p>Metodik för de uppföljande mätningarna av tunnelväggens egenskaper återstår att ta fram. Utveckling av metoder görs delvis i samarbete med Posiva. Se även avsnitt 7.3.1 och 7.3.3.</p>
<p>Under toppförslutningen måste den integrerade effektiva sammanhängande hydrauliska konduktiviteten hos förslutningen i tunnlar, ramper och schakt, och i EDZ-zonen som omger dem, vara mindre än <math>10^{-8}</math> m/s. Detta värde behöver inte upprätthållas i sektioner där t ex tunneln eller rampen genomkorsar kraftigt transmissiva zoner. Det finns ingen begränsning för den hydrauliska konduktiviteten i centralområdet.</p>	<p>Samma metoder som ovan.</p>	

**Tabell B1-2. Konstruktionsförutsättningar avseende bergutrymmen och berggrund för att konstruktionsförutsättningarna för andra barriärer ska kunna uppfyllas (Berglinjerapporten /SKB 2010/).**

Konstruktionsförutsättning (svensk översättning av originalformuleringar på engelska i /SKB 2009/)	Detaljundersökningarnas roll	Status och utvecklingsbehov för metoder
<p>Krav på deponeringshål i form av volym, diameter, rakhet, mm, för att bufferten ska kunna uppfylla sin givna barriärfunktion.</p> <p>Konstruktionsförutsättningen kommer från buffertlinjen och är specificerad med värden.</p>	<p>Att geometriska specifikationer uppfylls kontrolleras genom inmätning med lämplig metod, vilken väljs utifrån krav på noggrannhet och funktionalitet. Mätprinciper kan bygga på totalstation eller laser. I båda fallen förutses instrumentuppställning vara en nyckelaspekt. Förutom att rätt metodik används vid borrhning av deponeringshål kan bergutfall (spjälkning) förorsakas av höga bergspänningar i kombination med olämplig orientering av deponeringstunnlarna relativt huvudspänningsriktningarna. Bergspänningsmätningar är därför viktiga för att en optimal orientering av deponeringstunnlarna ska kunna fastläggas, se avsnitt 4.5.2.</p>	<p>Beträffande inmätningmetoder förutses att utvecklingsarbete behöver genomföras för att uppfylla krav på såväl noggrannhet som rationalitet i utförande.</p> <p>För bergspänningsmätningar planeras såväl konventionella som nyutvecklade borrhålsmetoder i kombination med konvergensmätningar att tillämpas, se vidare avsnitt 7.3.3.</p>
<p>Krav på deponeringstunnlar i form av volym, tvärsnittsareor och bergutfall för att återfyllnaden ska kunna uppfylla sin givna funktion.</p> <p>Konstruktionsförutsättningen kommer från återfyllnadslinjen och är specificerad med värden.</p>	<p>Att geometriska specifikationer uppfylls kontrolleras genom inmätning med lämplig metod, vilken väljs utifrån krav på noggrannhet och funktionalitet. Mätprinciper kan bygga på totalstation eller laser. I båda fallen förutses instrumentuppställning vara en nyckelaspekt.</p>	<p>Inmätning bedöms kunna genomföras med befintliga geodetiska metoder. Vald metod anpassas för rationell tillämpning.</p>
<p>Krav på deponeringstunnlar i form av maximalt totalt inflöde och maximalt punktinflöde för att återfyllnaden ska kunna uppfylla sin givna funktion.</p> <p>Konstruktionsförutsättningen kommer från återfyllnadslinjen och är specificerad med värden.</p>	<p>En roll för detaljundersökningarna är att, baserat på undersökningar i pilothål och sonderingshål, upprätta prognoser för vatteninflöden så att effektiv förinjektering kan genomföras.</p> <p>Efter deponeringstunnelns färdigställande kommer inflödet till hela tunneln att mätas. Det planeras att mätvallar byggs som samlar vatteninflödet sektionsvis, så att det kan mätas med registrerande flödesmätare (eller genom manuella avläsningar). Mätvallarna uppförs enligt en referenskonstruktion, där fullgod tätning i tunnelgolv och skadestom ska åstadkommas.</p> <p>Punktinflöden kan mätas genom kampanjvisa punktinsatser.</p>	<p>Mätning av inflöden till hel deponeringstunnel utgör ingen särskild svårighet. Goda erfarenheter finns från Åspölaboratoriet. Detta förutsätter att mätvallar som ger fullgod tätning kan byggas, för vilket en referenskonstruktion behöver tas fram.</p> <p>För mätning av punktinflöden behöver en ändamålsenlig metod utvecklas, men inte heller detta bedöms utgöra någon avgörande svårighet.</p>
<p>Vid deponeringstunnlars pluggar ska berget ha sådan hållfasthet att det bär pluggens last utan sprickbildning.</p>	<p>Bergmekaniska modeller ger underlag för hållfasthetsberäkningar. Som indata till modellen tas vid behov bergprover för laboratorieanalyser.</p>	<p>Befintliga mät- och modelleringsmetoder är tillräckliga.</p>
<p>Krav på bergutrymmen (förutom deponeringstunnlar) under toppförslutningen i form av volym och kontur för att återfyllnaden ska kunna uppfylla sin givna funktion.</p> <p>Konstruktionsförutsättningen är ännu inte specificerad med värden.</p>	<p>Inmätningmetoder är desamma som för inmätning av deponeringstunnlar.</p>	

**Tabell B1-3. Konstruktionsförutsättningar avseende bergutrymmen och berggrund, för anläggningens tekniska funktion under dess uppförande- och drifttid (Berglinjerapporten /SKB 2010/).**

Konstruktionsförutsättning (svensk översättning av originalformuleringar på engelska i /SKB 2009/)	Detaljundersökningarnas roll	Status och utvecklingsbehov för metoder
Krav på maximala vatteninflöden till de delar av anläggningen som inte är deponeringstunnlar. Konstruktionsförutsättningen är specificerad med preliminära värden.	Inflödet till tunnlar och schakt kommer att i avdelade sektioner mätas med registrerande flödesmätare. Mätningen förutsätter att mätvallar byggs.	Samma metoder kommer att användas som för deponeringstunnlarna, varför denna punkt inte ställer några ytterligare krav på mätmetodiken.

## B1.1 Referenser

Publikationer utgivna av SKB (Svensk Kärnbränslehantering AB) kan hämtas på [www.skb.se/publikationer](http://www.skb.se/publikationer).

**SKB, 2008.** Site description of Forsmark at completion of the site investigation phase. SDM-Site Forsmark. SKB TR-08-05, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**SKB, 2009.** Design premises for a KBS-3V repository based on results from the safety assessment SR-Can and some subsequent analyses. SKB TR-09-22, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**SKB 2010.** Design, construction and initial state of the underground openings. SKB TR-10-18, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**SKB 2011.** Long-term safety for the final repository for spent nuclear fuel at Forsmark. Main report of the SR-Site project. SKB TR-11-01, Svensk Kärnbränslehantering AB.



### Modelleringsmetodik

I det följande redogörs ämnesvis för aktuell status och nya modelleringsförutsättningar föranledda av förväntade nya primärdata från detaljundersökningarna. Dessutom redovisas väsentliga modelleringsuppgifter.

#### B2.1 Geologi

Den metodik för modellering av bergdomäner och deterministiska deformationszoner som redovisas av /Munier et al. 2003/ tillämpades under platsmodelleringsskedet, dock något modifierad för förhållandena i Forsmark. Resultaten presenteras i /Stephens et al. 2007/ och /Stephens et al. 2008/. Tidigare metodik för geologisk DFN-modellering har också uppdaterats, se /Munier 2004/.

Detaljundersökningarna förväntas ge ett förbättrat dataunderlag för:

- Beskrivning av branstående sprickset med hjälp av information insamlad under jord (ramp, schakt, tunnlar med olika riktningar och borrhål med varierande orientering).
- Ökad förståelse av betydelsen av observationsskala och kopplingen mellan sprickdata/-parametrar från (pilot-)borrhål och blottade ytor i tunnlar.
- Beskrivning av storleken på geologiska strukturer genom de stora blottade bergareor som tunnlar, schakt och bergrum innebär.
- I det närmaste deterministiska beskrivningar av geologiska strukturer och bergartsfördelning i tunnelskala (speciellt i deponeringsområden).
- Konditionering/verifiering av geometriska modeller av ”långa sprickor” och spröda deformationszoner, delvis med utgångspunkt från hydrauliska samband (konnektivitet) observerade från tryckresponser och flödesvariationer.

Under uppförande och drift, och speciellt under beredningen av deponeringsområden, är det väsentligt att:

- Säkerställa deponeringsområdets storlek genom verifiering av layoutstyrande deformationszoner på förvarsdjup.
- I tunnelskala kontinuerligt följa upp förekomst av amfibolit och andra kvartsfattiga intrusiva bergarter, som karakteriseras av reducerad värmeledningsförmåga jämfört med platsens huvudbergarter.
- Beskriva och om möjligt deterministiskt belägga mindre deformationszoner och långa sprickor.
- Förbättra beskrivningen i DFN-modeller med utnyttjande av ny information främst från schakt och tunnlar samt kärnborrhål borrade under jord.

För diskussion av nya metoder för tunnelkartering och utveckling av ny metodik för entunnelstolkning, se bilaga 3 och avsnitt 7.3.1.

## B2.2 Termiska egenskaper

Den geometriska grunden för modelleringen av temperaturfördelningen i förvarsvolymen är bergartsfördelningen och indelningen i bergdomäner. Den tillämpade metodiken för termisk modellering baseras på en stokastisk simulering av litologiska förhållanden och termisk ledningsförmåga tillämpad på enskilda bergdomäner /Back och Sundberg 2007/. Den termiska beskrivningen av Forsmark redovisas av /Back et al. 2007/ och /Sundberg et al. 2008/. Detaljundersökningarna förväntas ge ett förbättrat dataunderlag för:

- Uppföljning av termiska bergklasser, TRCs (*Thermal Rock Classes*), definierade från ytborrhål, med utgångspunkt från bergartskartering av kärna från pilotborrhål och av tunnlar. Detta förväntas kunna utföras effektivt och kontinuerligt och medger en möjlighet till en närmast deterministisk beskrivning av den termiska ledningsförmågan.
- Kompletterande bestämningar av termiska egenskaper på bergprover i laboratorium.
- Verifierande försök av värmeledning i skalan 1–10 meter.

Mot bakgrund av detta behöver modelleringsstrategin för termisk modellering under uppförande och drift ses över.

## B2.3 Bergmekanik

Strategin för modellering av bergets deformations- och brottegenskaper (för intakt berg, sprickor och sprucken bergmassa) samt modellering/beskrivning av bergspänningar under platsundersökningsskedet ges av /Andersson J et al. 2002a/. Den resulterande bergmekaniska beskrivningen av Forsmark redovisas av /Glamheden et al. 2008/. Detaljundersökningarna förväntas ge ett förbättrat dataunderlag för:

- Beskrivning av magnituden på de största huvudspänningarna samt preciserade bestämningar av de horisontella huvudspänningarnas orienteringar med underlag i första hand från konvergensmätningar och förnyade borrhålmätningar (under jord).
- Analys av spänningssituationen (geometri och magnituder) i relation till deformationszoners läge och utsträckning med utgångspunkt från uppdaterade modeller av deformationszoner i deponeringsområdet.

## B2.4 Hydrogeologi

Metodik för platsbeskrivande hydrogeologisk modellering presenteras i /SKBdoc 1238536/ /Follin 2008/ och /Follin et al. 2008/ redovisar den hydrogeologiska beskrivningen av Forsmark.

Detaljundersökningarna förväntas ge ett förbättrat dataunderlag för:

- Tillskrivning av egenskaper till flödande strukturer observerade i schakt och tunnlar (där även effekter av skala, tvåfasflöde och skin beaktas).
- Bestämning av storlek på sprickor (se avsnitt B2.1, *Geologi*).
- Bestämning av strukturers hydrauliska utsträckning (konnektivitet) över större avstånd (av betydelse främst i deponeringsområden).
- Reduktion av osäkerheter och därmed ökad konfidens i den hydrogeologiska beskrivningen.

Bland väsentliga uppgifter för hydrogeologisk modellering under uppförande och drift, och speciellt under beredningen av deponeringsområden, ingår att:

- I det närmaste deterministiskt hydrauliskt karakterisera de lokala mindre spröda deformationszoner och ”långa sprickor” som identifierats inom den geologiska beskrivningen av berget kring deponeringstunnlarna.
- Bestämma potentiella lägen för deponeringshål som är associerade med låga grundvattenflöden.
- Genom analys av data från direkta hydrauliska tester, men även från andra typer av störningar (planerade och oplanerade), skapa ökad förståelse för geometri och konduktiva strukturers konnektivitet över längre sträckor.

Monitering ovan och under jord av grundvattenkemiska förändringar, tillsammans med temperaturloggning i borrhål, kan också utnyttjas för att indikera/verifiera hydrauliska samband (konnektivitet), se erfarenheter från Äspö HRL /Andersson P et al. 2002b, Rhén och Smellie 2003/. Se även vidare diskussion av integration i avsnitt 3.2.2.

## B2.5 Hydrogeokemi

Strategin för hydrogeokemisk modellering /Smellie et al. 2002/ har utvecklats successivt under platsundersökningsskedet. Den slutliga hydrogeokemiska platsbeskrivningen för Forsmark redovisas av /Laaksoharju et al. 2008/. Detaljundersökningarna förväntas ge ett förbättrat dataunderlag för:

- Kvantifiering av buffringskapacitet vad avser redox och alkalinitet längs flödesvägar.
- Beskrivning av slutförvarets påverkan på de hydrogeokemiska förhållandena med underlag från tidsserier (från borrhål såväl ovan som under jord, mätöverfall etc).
- Att uppnå ökad processförståelse och konfidens i upprättade hydrogeokemiska beskrivningar.

Väsentliga uppgifter för den hydrogeokemiska modelleringen under uppförande och drift innefattar:

- Att förklara observerade variationer i fördelning och koncentration av sulfid och löst uran.
- Värdering och fortsatt hantering av hydrogeokemiska data insamlade i en störd miljö. Viktiga erfarenheter kommer att erhållas från pågående platsmodellering vid Äspölaboratoriet och modellering vid utbyggnad av SFR liksom från ONKALO.

Viss hydrogeokemisk modelluppdatering kommer att ske underhand, men huvuddelen av modelleringen planeras att utföras i samband med förnyade kompletta platsbeskrivningar.

## B2.6 Bergets transportegenskaper

Riktlinjer för modellering av bergets transportegenskaper under platsundersökningsskedet presenteras av /Berglund och Selroos 2004/, och den platsbeskrivande transportmodellen för Forsmark redovisas av /Crawford 2008/. Under platsundersökningarna har kvantifieringen av flödesrelaterade retentionsegenskaper utvecklats, baserat på såväl hydrogeologisk DFN som kontinuummodeller. Denna utveckling bör resultera i en uppdaterad strategi för transportmodellering för detaljundersökningarna.

Inga speciella behov av nya typer av data föreligger från avnämaren. Uppfyllande av konstruktionsförutsättningar ges huvudsakligen av resultat från *Hydrogeologi*. Den huvudsakliga uppgiften för transportmodelleringen under uppförande och drift är att reducera osäkerheter och att öka konfidensen i beskrivningen.

Under uppförandeskedet inriktas arbetet på att säkra nödvändiga kompletterande data i relevanta databaser. Det gäller framför allt att tidigt kunna initiera långtidsförsök i laboratorium, främst mätningar av diffusivitet på bergprover. På motsvarande sätt kan förenklade varianter av in situ diffusionsförsök liknande LTDE /Widestrand et al. 2010/ i Äspö HRL genomföras vid behov för verifiering av laboratorieresultat, se även avsnitt 7.3.7. Fortlöpande uppföljning/modellering av transportegenskaper förväntas inte under uppförandeskedet, utan kommer att ske vid utförande av förnyade kompletta platsbeskrivningar.

## B2.7 Ytsystem

Strategi för modellering av ytsystem (ekosystem) redovisas av /Löfgren och Lindborg 2003/, medan ytsystembeskrivningen av Forsmark presenteras av /Lindborg 2008/. För ytsystemen betraktas resultaten från platsundersökningen som robusta och tillämpliga för säkerhetsanalyser och bedömningar under uppförandeskedet. Relevanta parametrar är dock föremål för fortsatt monitorering för att komplettera aktuella tidsserier.

## B2.8 Referenser

Publikationer utgivna av SKB (Svensk Kärnbränslehantering AB) kan hämtas på [www.skb.se/publikationer](http://www.skb.se/publikationer). Referenser till SKB:s opublicerade dokument finns samlade i slutet av referenslistan. Opublicerade dokument lämnas ut vid förfrågan till [dokument@skb.se](mailto:dokument@skb.se).

- Andersson J, Christiansson R, Hudson J, 2002.** Site investigations. Strategy for rock mechanics site descriptive model. SKB TR-02-01, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Andersson P, Byegård J, Dershowitz B, Doe T, Hermanson J, Meier P, Tullborg E-L, Winberg A, 2002.** Final report of the TRUE Block Scale project. 1. Characterisation and model development. SKB TR-02-13, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Back P-E, Sundberg J, 2007.** Thermal site descriptive model. A strategy for the model development during site investigations – version 2. SKB R-07-42, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Back P-E, Wrafter J, Sundberg J, Rosén L, 2007.** Thermal properties. Site descriptive modelling, Forsmark – stage 2.2. SKB R-07-47, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Berglund S, Selroos J-O, 2004.** Transport properties site descriptive model. Guidelines for evaluation and modelling. SKB R-03-09, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Crawford J, 2008.** Bedrock transport properties Forsmark. Site descriptive modelling, SDM-Site Forsmark. SKB R-08-48, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Follin S, 2008.** Bedrock hydrogeology Forsmark. Site descriptive modelling, SDM-Site Forsmark. SKB R-08-95, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Follin S, Hartley L, Jackson P, Roberts D, Marsic N, 2008.** Hydrogeological conceptual model development and numerical modelling using CONNECTFLOW, Forsmark modelling stage 2.3. SKB R-08-23, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Glamheden R, Lanaro F, Karlsson J, Lindberg U, Wrafter J, Hakami H, Johansson M, 2008.** Rock mechanics Forsmark, modelling stage 2.3. Complementary analysis and verification of the rock mechanics model. SKB R-08-66, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Laaksoharju M, Smellie J, Tullborg E-L, Gimeno M, Hallbeck L, Molinero J, Waber N, 2008.** Bedrock hydrogeochemistry Forsmark. Site descriptive modelling, SDM-Site Forsmark. SKB R-08-47, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Lindborg T (ed), 2008.** Surface system Forsmark. Site descriptive modelling, SDM-Site Forsmark. SKB R-08-11, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Löfgren A, Lindborg T, 2003.** A descriptive ecosystem model – a strategy for model development during site investigations. SKB R-03-06, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Munier R, 2004.** Statistical analysis of fracture data, adapted for modelling Discrete Fracture Networks – Version 2. SKB R-04-66, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Munier R, Stenberg L, Stanfors R, Milnes A G, Hermanson J, Triumf C-A, 2003.** Geological site descriptive model. A strategy for the model development during site investigations. SKB R-03-07, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Rhén I, Smellie J, 2003.** Task force on modelling of groundwater flow and transport of solutes. Task 5 summary report. SKB TR-03-01, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Smellie J, Laaksoharju M, Tullborg E-L, 2002.** Hydrogeochemical site descriptive model – a strategy for the model development during site investigations. SKB R-02-49, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Stephens M B, Fox A, La Pointe P, Simeonov A, Isaksson H, Hermanson J, Öhman J, 2007.** Geology Forsmark. Site descriptive modelling Forsmark stage 2.2. SKB R-07-45, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Stephens M B, Simeonov A, Isaksson H, 2008.** Bedrock geology Forsmark. Modelling stage 2.3. Implications for and verification of deterministic geological models based on complementary data. SKB R-08-64, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Sundberg J, Wrafter J, Ländell M, Back P-E, Rosén L, 2008.** Thermal properties Forsmark. Modelling stage 2.3. Complementary analysis and verification of the thermal bedrock model, stage 2.2. SKB R-08-65, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Widestrand H, Byegård J, Selnert E, Skålberg M, Gustafsson E, 2010.** Äspö Hard Rock Laboratory, Long Term Sorption Diffusion Experiment (LTDE-SD). Supporting laboratory program – Sorption diffusion experiments and rock material characterisation. With supplement of adsorption studies on intact rock samples from the Forsmark and Laxemar site investigations. SKB R-10-66, Svensk Kärnbränslehantering AB.

#### **Opublicerade dokument**

<b>SKBdoc id, version</b>	<b>Title</b>	<b>Issuer, year</b>
1238536 ver 1.0	A framework for discipline consistent and 'partially validated' models within Site-descriptive modeling versions 2.2–2.3	SKB, 2006

### Metoder och instrument

#### B3.1 Översikt

I denna bilaga presenteras en översikt över undersökningsmetoder och instrument som SKB förfo-  
gar över och som har tillämpats både ovan och under jord. Ovanjordstillämpning har senast skett  
vid platsundersökningarna i Forsmark och Laxemar 2002–2007 samt vid förundersökningarna  
2007–2009 inför utbyggnad av SFR-förvaret i Forsmark. Underjordstillämpning avser främst den  
mångåriga forskningsverksamheten vid Äspölaboratoriet samt, i mindre utsträckning, förundersök-  
ningarna vid SFR-förvaret.

Metodsammanställningen har gjorts disciplinvis (i ett fall har besläktade metoder samgrupperats)  
enligt följande:

- Borrning.
- Borrhålsundersökningar i anslutning till borring.
- Geologiska och geofysiska borrhålsundersökningar.
- Bergmekaniska undersökningar.
- Termiska undersökningar.
- Hydrogeologiska borrhålsundersökningar.
- Hydrogeokemiska undersökningar.
- Undersökningar för bergets transportegenskaper.
- Kartering av bergutrymmen under jord.
- Ej borrhålsrelaterade ovanjordsundersökningar.
- Monitering.
- Geodetiska undersökningar.

Som framgår av punktlistan utgörs sju av de åtta första punkterna av borring och undersökningar  
i borrhål. Också punkterna ”bergmekaniska undersökningar” och ”monitering” innefattar i stor  
utsträckning mätningar i borrhål. Även om borrhålsundersökningar kommer att ha en viktig roll i  
detaljundersökningsprogrammet, kan listan i viss mån ge ett överdrivet intryck av borrhålsunder-  
sökningarnas betydelse i förhållande till övriga undersökningar. Genom tunnel- och schaktdrivning  
i och ovan förvarsområdet ges helt annan möjlighet att studera bergets strukturer i tre dimensioner,  
än då man har tillgång endast till borrkärnor och andra bergprover. De exponerade bergytorna,  
speciellt på förvarsdjup, kommer att successivt öka och så småningom uppta betydande arealer.  
Tunneldokumentationen i form av bland annat geologisk kartering samt hydrogeologiska och  
hydrogeokemiska observationer kommer därmed att ha en avgörande betydelse för kunskapen om  
den bergvolym i vilken slutförvaret anläggs.

För varje rubrik ges en översikt över aktuell metod i dess nuvarande status. För vissa metoder och  
instrument har mer eller mindre omfattande teknikutvecklings- och modifieringsbehov identifierats;  
detta presenteras i avsnitt 7.3. Liksom urvalet av metoder och instrument i denna bilaga är preliminärt,  
är planerna för teknisk utveckling alltfjämt under utarbetande, varför modifieringar och preciseringar  
framöver är att räkna med.

## B3.2 Borring

Olika typer av borrhålmätningar är fundamentala vid geovetenskapliga undersökningar som omfattar större volymer av jord och berg, oavsett om undersökningarna görs från markytan eller från tunnlar. Även själva *borringsaktiviteten* i sig är en undersökningsmetod, bl a därför att många observationer som görs vid borringen direkt indikerar väsentliga egenskaper hos den genomborrade volymen.

Figur B3-1 illustrerar borrhingsverksamhet ovan och under jord. De två vanligast förekommande typerna av undersökningsborring baseras på hammarborrnings- respektive kärnborrningsteknik, och båda teknikerna har utvecklade system för såväl ovanjords- som underjordsborring. Vid hammarborring, där borrhuvudet, borrhammaren, är både slående och roterande, krossas berget ner till finfördelat borrkax. Detta spolras till hålmynningen med hjälp av spolmediet, vilket vid ovanjordsborring i allmänhet består av luft som komprimerats till högt tryck. För sonderingsborring under jord är det normala spolmediet däremot vatten.

Vid kärnborring utgörs borrhuvudet av en ringformad borrkrona, där borrhuvudet består av en diamantimpregnerad legering, se figur B3-2. Vid borringen skärs en cylinderformad borkärna ut, vilken successivt matas in i kärnröret, som efter tre (eller ibland sex) meters borring lyfts till borrhålmynningen med ett wire-spel (så kallad *wireline*-teknik). Spolmediet utgörs av vatten, som med högt tryck pumpas ner i borrhålet för kylning av borrkronan och för kaxuppföring. För efterföljande borrhålsundersökningar är det av betydelse att kaxuppföringen ur hålet är effektiv, så att borrhålet blir så rent som möjligt. SKB har utvecklat en teknik för djupa kärnborrhål borrade från ytan där borrhålets övre del, i allmänhet ca 50–100 m, är hammarborrad i så grov dimension att det finns utrymme att installera pumptrustning (så kallad teleskopborrhålsteknik). Genom konstant pumpning under den efterföljande kärnborrningsfasen kan grunvattennivån i borrhålet hela tiden hållas avsänkt, vilket underlättar uppåströmning i borrhålet av grundvatten, spolvatten och borrkax.

Då borring sker från en tunnel under grunvattennivån kommer borrhålet att stå under hydrostatiskt övertryck, varvid kaxrensningen blir ännu mer effektiv, speciellt om hålet är mer eller mindre horisontellt eller uppåtriktat.

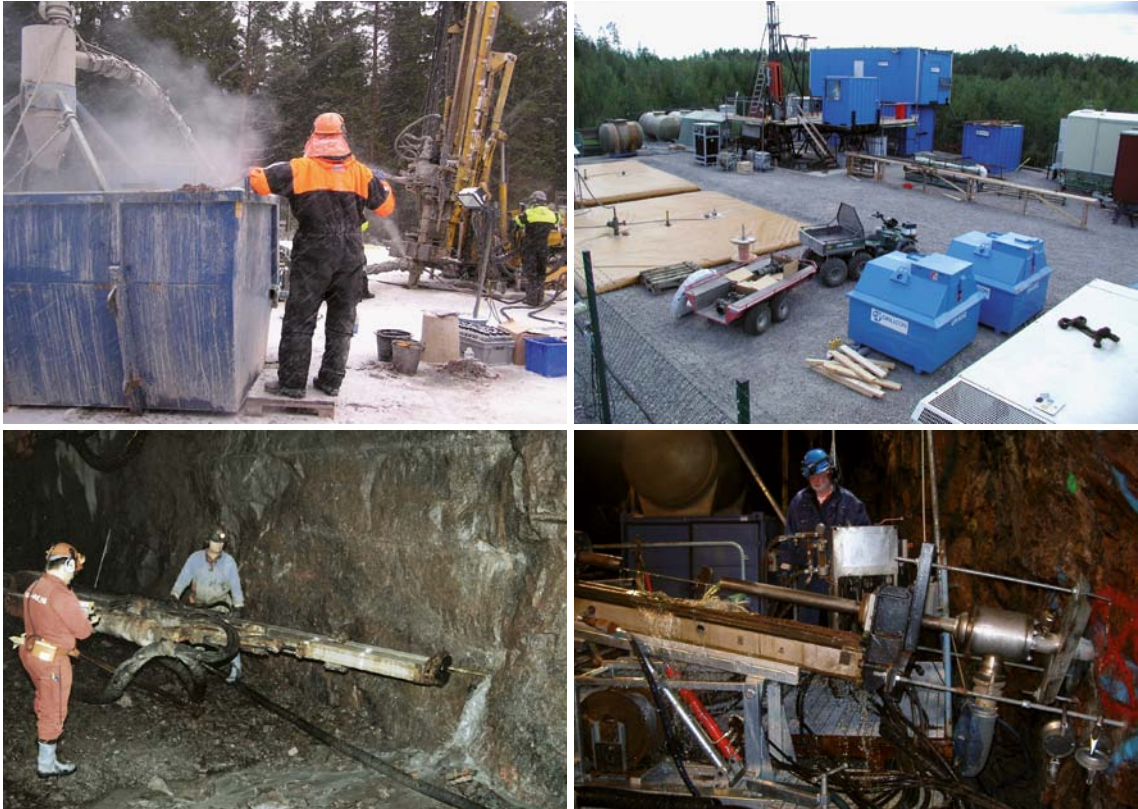
För att grundvattenprover som senare tas i det färdigborrade hålet ska vara så representativa som möjligt för den aktuella grunvattensituationen har SKB utvecklat system för att preparera spolvattnet före användning i borrhålet, se /Almén och Zellman 1991, Almén och Stenberg 2005/ samt P-rapporter som presenterar resultat från kärnborring vid platsundersökningarna i Forsmark och Laxemar, t ex /Claesson et al. 2006, Ask et al. 2006/.

Kärnborring kommer att vara den prioriterade borrhingsmetoden för pilotborrhål och andra undersökningsborrhål. Hammarborrningsteknik, så kallad topphammarborring, tillämpas vid sonderingsborring före berguttag liksom vid salvborring och injekteringsborring.

Figur B3-3 illustrerar en borrhings-, undersöknings- och produktionssekvens som kommer att ha en viktig roll vid slutförvarets uppförande. Den omfattar följande punkter:

1. Pilotborring med borrhålsundersökningar under och efter borring för bedömning av bergegenskaperna längs en tunnelsträckning av 200–300 m (t ex en hel deponeringstunnel).
2. Sonderingsborring med borrhålsundersökningar under och efter borring för bedömning av bergegenskaper för de närmast följande 4–5 salvorna.
3. Salvborring (med efterföljande salva och berguttag).
4. Tunnelkartering.
5. Punkt 3 och 4 upprepas (fyra gånger i detta exempel).
6. Punkt 2, 3 och 4 upprepas tills man nått pilothålets slut. Därefter startar sekvensen 1–6 på nytt.

För eventuellt tillkommande ytborrhål planeras såväl hammar- som kärnborring att tillämpas.

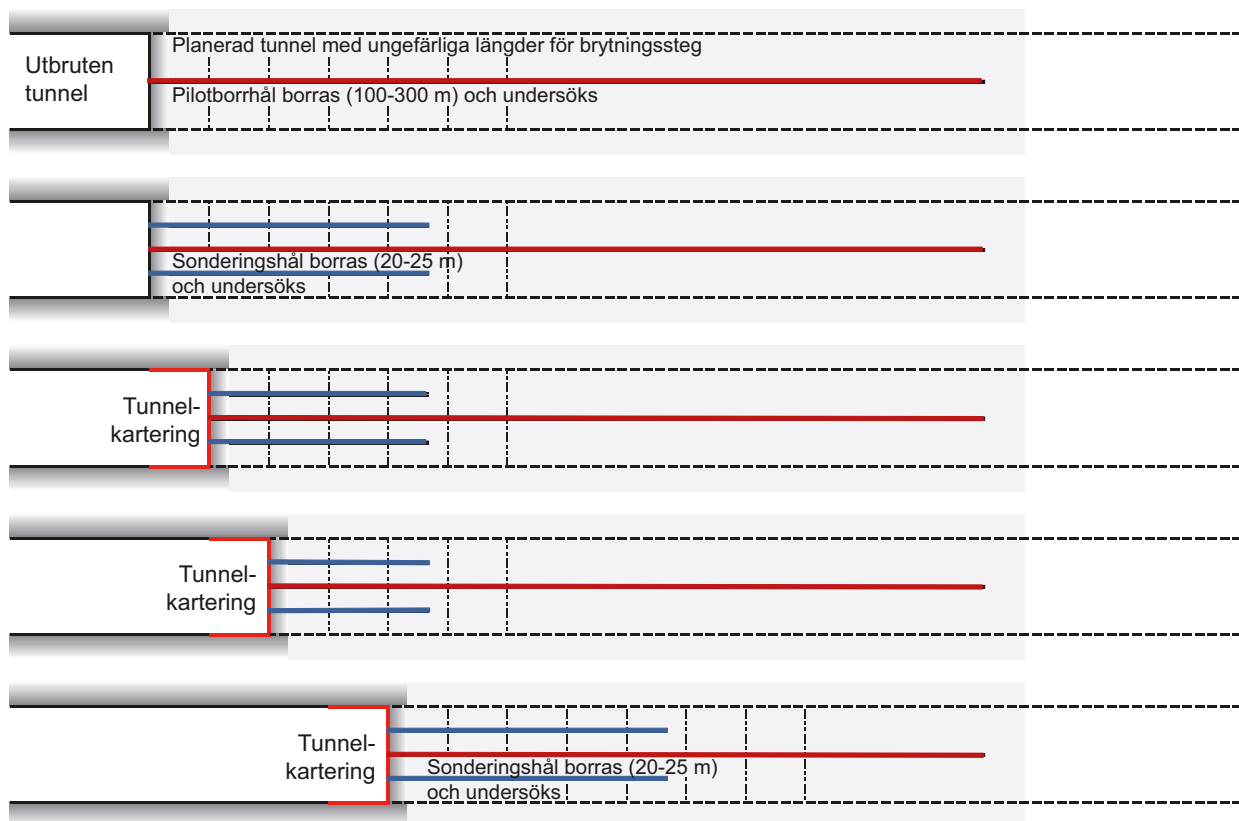


**Figur B3-1.** Ovan till vänster hammarborrning från markytan med samtidig provtagning av borrhax, ovan till höger kärnborrning från markytan. Nedan till vänster hammarborrning (sonderingsborrning) under jord, nedan till höger kärnborrning under jord.



**Figur B3-2.** Till vänster kärnborrkrona. Till höger kartering av borrhärlor från ett helt kärnborrhål upplagda på karteringsbord.





**Figur B3-3.** Illustration av och principiella lägen för de återkommande momenten pilotborrning och sonderingsborrning med borrhålsundersökningar samt tunnelkartering vid rutinmässig framdrift av en tunnel.

### B3.3 Borrhålsundersökningar i anslutning till borrning

Under och omedelbart efter borrning (hammarborrning eller kärnborrning) utförs *olika typer av mätningar, registreringar och provtagningar*. De viktigaste av dessa beskrivs i faktarutan på nästa sida. Delmoment i några av dessa metoder illustreras även i figur B3-4. Vissa av aktiviteterna kommenteras även i senare avsnitt i denna bilaga.

### B3.4 Geologiska och geofysiska borrhålsundersökningar

Borrhålsgeofysik utgör ett stöd för geologisk karaktärisering, varför geologiska och geofysiska metoder behandlas tillsammans i detta avsnitt. Vid platsundersökningarna i Forsmark och Oskarshamn tillämpades ett standardiserat program för undersökningar av färdigborrade hammar- och kärnborrhål. Detta omfattade *loggning med borrhåls-TV, borrhålsradar samt ett antal konventionella geofysiska loggningsmetoder (elektriska, magnetiska, radiometrisk och akustiska metoder liksom caliper, temperatur och elektrisk konduktivitet hos borrhålsvätskan)*. Likartade borrhålsundersökningar har utförts inom Äspölaboratoriets forskningsverksamhet. Foton som illustrerar fältverksamhet återfinns i figur B3-5.

## FAKTARUTA

### Mätningar, registreringar och provtagningar under och i direkt anslutning till borrhning

- Vid kärnborrning tas bergprover ut i form av en **cylinderformad borrhkärrna**, oftast i tremeterslängder, i princip kontinuerligt längs hela borrhålet (av tekniska skäl kan dock vissa kärnförluster uppkomma). Detta är den ur geologisk synvinkel viktigaste provtagningsformen, som genom resultaten från borrhkärrnakertering, figur B3-2, (se även avsnitt B3.4 om Boremapkartering), eventuellt i kombination med resultat av markkartering av berghällar, lägger grunden för geologisk modellering, då information från tunnlar och andra bergutrymmen inte finns tillgängliga. Även vid slutförvarets uppförande kommer karaktärisering av borrhkärrnor att ha en stor betydelse som prognosverktyg, eftersom pilotborrning med kärnuttag regelmässigt kommer att utföras innan ny tunnel bryts. Resultaten från Boremapkartering av pilotkärnan kommer efter tunnelbrytning att stämmas av mot resultaten från tunnelkarteringen. I direkt anslutning till borrhningen, eller senare, kan **större eller mindre prover av bergmatrix och/eller sprickmineral sågas ut** från borrhkärrnorna för olika typer av **laboratorieanalyser**, se figur B3-4.
- Vid hammarborrning från markytan eller från tunnel kan **borrkaxprover** för okulär bergartsbedömning eller mineralogisk analys tas med vald frekvens under pågående borrhning (se figur B3-1).
- **MWD (Measurement While Drilling)** utgörs av mätningar och provtagningar som utförs under pågående borrhning, dels av parametrar som är av direkt geovetenskapligt intresse, dels av sådana som främst har borrhteknisk betydelse. Till de förra hör exempelvis spolvattenflöde och -tryck, salthalt och syrehalt hos spolvattnet samt koncentration av tillsatt spårämne som analyseras i provserier av spol- och returvattnet. Med borrhtekniska parametrar avses bl a borrhsjunkningshastighet, matningstryck, rotationstryck och rotationshastighet. En del mätningar och provtagningar kan utföras manuellt, men i allmänhet används registrerande mätinstrument. Moderna borrhriggar är ofta försedda med datoriserat styrsystem som i syfte att optimera borrhningseffektiviteten registrerar borrhtekniska parametrar. Några av dessa är även av geovetenskapligt intresse. Övriga, geovetenskapligt betydelsefulla parametrar, främst vissa som är relaterade till spol- och returvattnet, registreras med andra mätinstrument och lagras temporärt i annan fältdator. Efter avslutad borrhning inlagras de MWD-data som är av geovetenskapligt intresse i SKB:s databas för senare analys.

Till MWD-mätningar kan även **hydrauliska tester under borrhning** hänföras. Dessa kan utföras med flera olika metoder. Vid hammarborrning från ytan mäts utflödet ur borrhålet (orsakat av den pumpeffekt som luftövertrycket åstadkommer) med vissa intervall. Även vid underjordsborrning med hammar- eller kärnborrningsteknik kan utflödet mätas vid godtycklig borrhlängd. Vid kärnborrning från markytan utförs ofta tester med specialtillverkad så kallad wireline-sond, som möjliggör pumptester, grundvattentryckmätningar och vattenprovtagning, se figur B3-4 samt borrhrapporter från platsundersökningarna, t ex /Ask et al. 2006/. Denna teknik kan även anpassas till underjordsförhållanden.
- Med **hydrauliska observationer i omgivande befintliga observationshål i samband med borrhning** avses främst registreringar av grundvattennivå (mätt som tryck) i med manschetter sektionerade observationsborrhål i samband med att ett nytt borrhål borras. Observationsborrhålen kan vara belägna på större eller mindre avstånd från det hål som borras. Sektioneringen av borrhålen är antingen av enkel natur, t ex endast borrhålsförslutning med tryckgivare vid borrhålsmyningen, eller mer avancerad genom installation av flermanschettssystem. Registreringarna kan användas i större skala för att identifiera hydraulisk isolering (barriärverkan), alternativt hydraulisk konnektivitet mellan olika delar av förvaret. I en mer avgränsad skala, t ex tunnelskala, kan denna typ av information användas för tolkning av absolut geometri hos en konduktiv struktur såsom "lång spricka", annan större deformationszon etc.
- För bergspänningsmätningar existerar flera metoder, se avsnitt B3.5. En av dessa består av så kallade **överborrhningsmätningar**, se figur B3-4 och B3-9 samt /Almén och Stenberg 2005/.
- Efter avslutad borrhning används ett specialverktyg för att med jämna intervall **fräsa in knappt centimeterdjupa spår** i borrhålsväggen i syfte att möjliggöra **längdkalibrering** av de borrhålsloggningsmetoder som senare kommer att användas i borrhålet (se borrhrapporter från platsundersökningarna, t ex /Claesson et al. 2006/).
- Det är tekniskt omöjligt att borra långa borrhål fullständigt raka. Därför utförs omedelbart efter borrhning så kallad **krökningsmätning (ibland benämnd avvikelsemätning)** av borrhålet i syfte att fastställa borrhålets läge i rummen (x-, y- och z-koordinater), oftast i tremetersintervall hela vägen från påslaget till borrhålets botten. Krökningsmätningarna utförs i allmänhet med både optisk teknik och magnetometer-accelerometerteknik. Under platsundersökningarna vidareutvecklade SKB metodiken för krökningsmätningar, varvid det också togs fram teknik för kvantifiering av osäkerheter i krökningsdata, se /Munier och Stigsson 2007/.

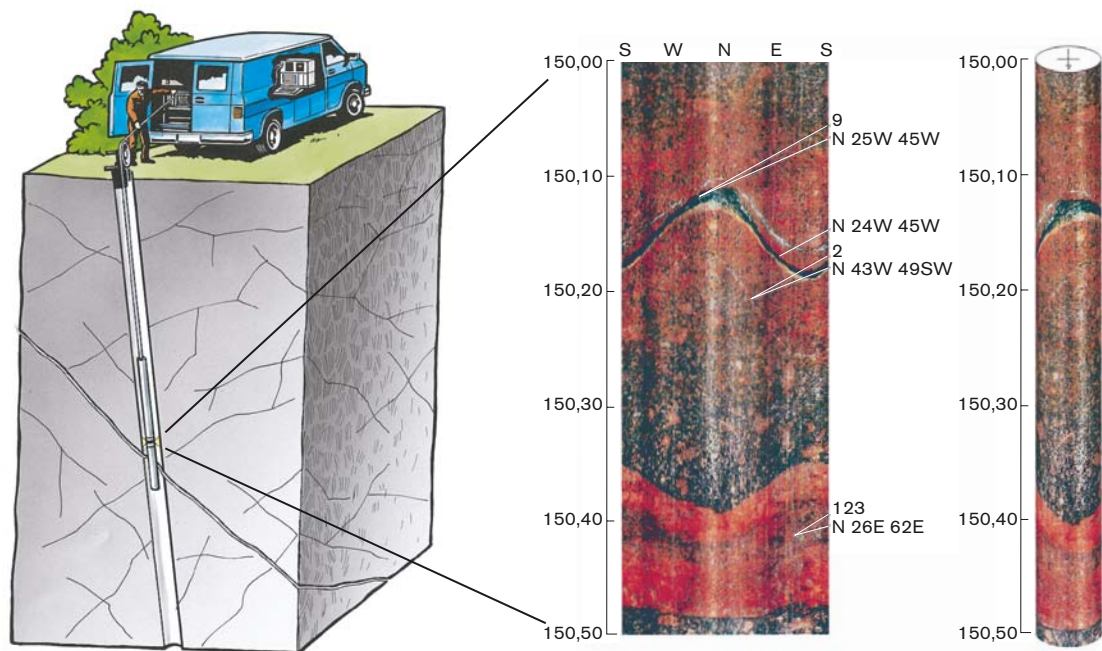


**Figur B3-4.** Ovan till vänster biaxialtestning av överborrningskärna vid bergspänningsmätning, ovan till höger förpackning av utsågat borrhållsprov för sändning till laboratorium. Nedan till vänster schematisk skiss av wireline-sond för hydraultest/vattenprovtagning under borrning, nedan till höger Flexit Smart Tool-sond avsedd för krökningsmätning av borrhål.



**Figur B3-5.** Geofysiska borrhållsundersökningar. Från vänster 1) BIPS-loggning i underjordshål, 2) konventionell geofysisk borrhållsloggning i ytborrhål samt 3) interiör från mätbuss för geofysisk loggning.

Konventionella system för geofysisk loggning beskrivs t ex i /Almén och Stenberg 2005/. Av övriga metoder har *borrhålls-TV*, det så kallade BIP-systemet (*Borehole Image Processing System*), och *borrhållsradar*, det så kallade RAMAC-systemet, använts frekvent av SKB alltsedan 1980-talet, medan *akustisk televiewer* tillämpades rutinmässigt av SKB första gången under platsundersökningarna. Det digitala BIP-systemet är försett med en i borrhålet nedåt(framåt)seende videokamera, vilken genererar en kontinuerlig ringformad färgbild av borrhållsväggen. Inom bilden indikerar en ring bestående av 360 pixlar vilka data som ska registreras digitalt av systemet. Då kameran förflyttas nedåt(framåt) i borrhålet passerar borrhållsväggen successivt av pixelringen, och scanning sker 50 gånger per sekund. Videobilderna kan studeras med tre olika upplösningar, 1, 0,5 och 0,25 mm, som motsvaras av tre loggningshastigheter, 1,5, 0,75 respektive 0,38 m/min. Exempel på BIPS-bild visas i figur B3-6. SKB:s version av BIP-systemet är anpassad för användning av samma batteri- och fiberkabelsystem som ingår i RAMAC-systemet. För mer detaljerad beskrivning av BIP-systemet hänvisas till exempelvis /Almén och Stenberg 2005/.



**Figur B3-6.** Till vänster illustration av BIPS-loggning, i mitten utvikt BIPS-bild av borrhålsvägg, till höger BIPS-bild hoprullad som en borrhärna.

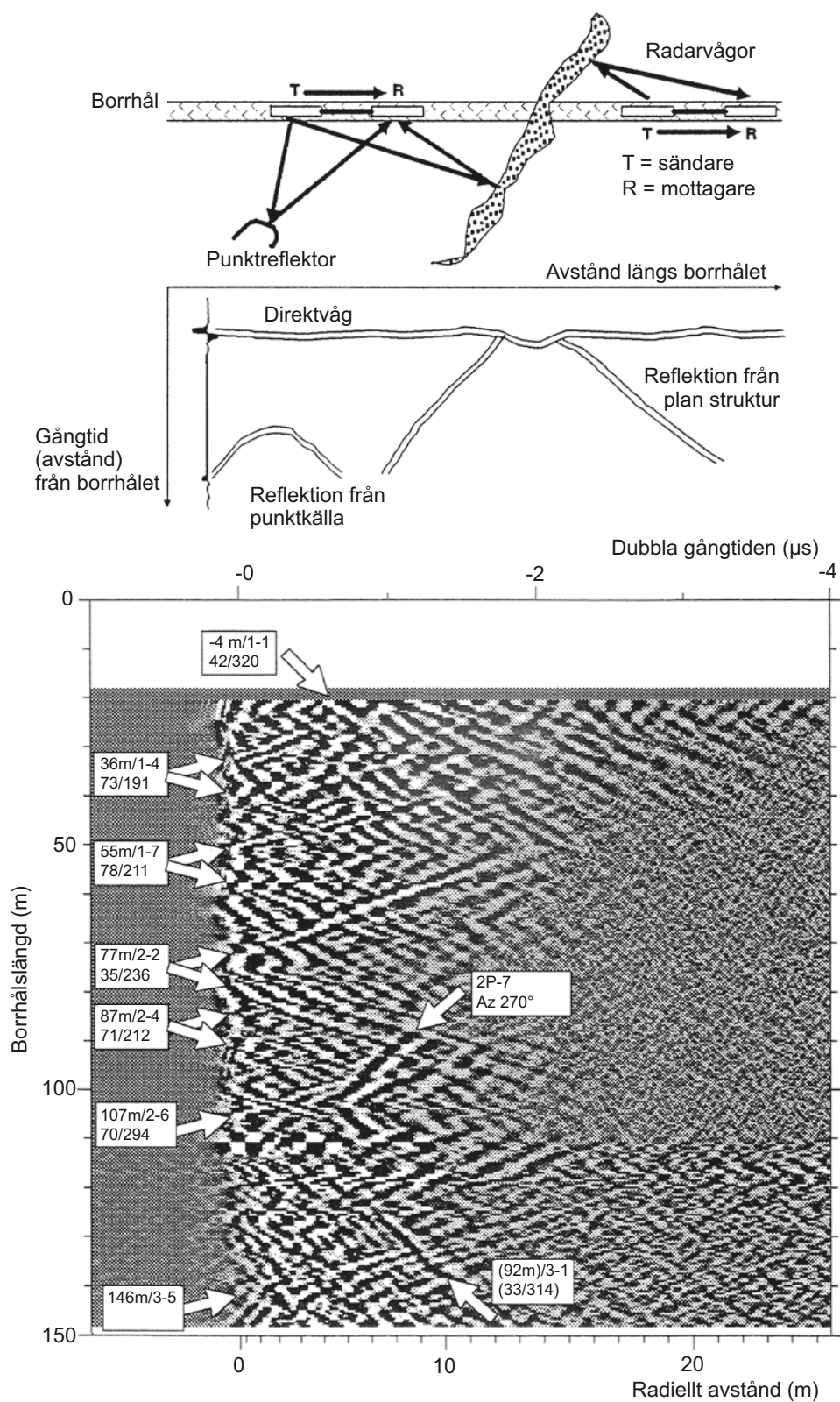
RAMAC-systemet och den bakomliggande teorin beskrivs detaljerat i /Falk et al. 1989/ och /Sandberg et al. 1991/. Systemet består av sändare, mottagare, signalkontrollenhet, datainsamlingssystem samt en displayenhet. Funktionsprincipen vid enkelhålmätning är följande:

Med borrhålsradar med dipolantenn genererar sändaren en elektromagnetisk puls (radarvåg) med hög frekvens (20–250 MHz) som fortplantas genom berget tills den når en struktur med avvikande elektriska egenskaper, t ex en deformationszon eller en bergartsgräns, där radarvågen reflekteras tillbaka till mottagarantennen, förstärks och registreras som en funktion av tiden. Mätningar kan utföras t ex med 0,5 m intervall i borrhålet, och resultaten visas i form av radardiagram, se figur B3-7. Med dipolantenn kan endast strukturors orientering i förhållande till borrhålsaxeln bestämmas. Används däremot riktantenn, vilken består av en anordning med fyra separata mottagar slingor, kan den absoluta orienteringen fastställas.

Radarpulsens inträngningsdjup är en funktion dels av den sändarfrekvens som tillämpas (ju lägre frekvens desto större inträngningsdjup), dels av berggrundens egenskaper. I gynnsamma fall, ovan grundvattennivån eller om grundvattnet har låg salthalt, kan radarvågens penetrationsdjup uppgå till flera tiotals meter i kristallint berg. Radarvågen dämpas dock med ökande salthalt i grundvattnet. Vid mätningar i Äspölaboratoriet, där salthalten uppgår till ca 10 ‰, har normalt penetrationsdjupet 20–25 m uppnåtts /Almén och Stenberg 2005/.

Den *akustiska televiern* är ett loggningsinstrument med multipla funktioner (se även avsnitt B3.5). Instrumentet avbildar borrhålsväggen med akustisk metodik och kan därmed erbjuda kompletterande information till den som erhålls med optisk teknik. Den akustiska televiern har kapacitet att mäta borrhålsdiametern med stor noggrannhet, vilket innebär att instrumentet också kan användas som precisionscaliper för detaljerad kartering av variationer i borrhålets diameter. För caliperfunktionen är det av vital betydelse att instrumentet centreras väl i borrhålet.

Motsvarande loggningsprogram som tillämpades under platsundersökningen, eller varianter därav, kan förväntas appliceras även vid underjordstillämpning. I horisontella eller uppåtriktade borrhål krävs dock speciell införingsutrustning. SKB har nyligen låtit utveckla en sådan för användning i SFR-projektet /Nilsson 2009/, se figur B3-8. Funktionstester av denna prototyp utförs i SFR och i Äspölaboratoriet, och om dessa visar gynnsamma resultat kan utrustningen komma att användas under jord även vid detaljundersökningarna.



**Figur B3-7.** Ovan: Principen för borrhålsradarmätning. Nedan: Ett exempel på radardiagram från ett borrhål i Äspölaboratoriet som är borrarat mot en större deformationszon (zon NE-1).



**Figur B3-8.** Införingsutrustning avsedd för t ex borrhålsgeofysisk utrustning i horisontella, subhorisontella och uppåtriktade underjordsborrhål.

I faktarutan i avsnitt B3.3 nämns att kartering av borrhåren sker under eller efter färdigborring av kärnborrhål. Vid SKB:s borrhålsundersökningar tillämpas en teknik där kartering av borrhåren kombineras med studium av bilderna av borrhålsväggen från det ovan nämnda BIP-Systemet. Med hjälp av detta kan sprickor, bergartsgränser samt plastiska och andra strukturer i borrhålsväggen orienteras och borrhålsväggen preliminärt karakteriseras avseende bergartsfördelning, sprickfrekvens och sprickfyllnader. Karakteriseringen kompletteras med kartering av motsvarande avsnitt av borrhåren. Den kombinerade karteringen av borrhåren och borrhålsvägg benämns *Boremapkartering*, en metod som tillämpas även för hammarborrhål. I det fallet ligger fokus på analys av BIPS-bilden, eftersom det inte finns någon borrhåren utan endast intermittent insamlade borrhåxprover. I de flesta fall kan man därför inte uppnå lika hög kvalitet i karteringsresultat som vid Boremapkartering av kärnborrhål.

De geologiska och geofysiska undersökningsmetoderna ger en omfattande dokumentation av borrhålet, som ligger till grund för så kallad *enhålstolkning*, som resulterar i en sammanfattande bedömning av de litologiska och strukturgeologiska förhållandena i det genomborrade bergpartiet. Om enhålstolkningen ska utökas till att även involvera hydrauliska parametrar, vilket inte varit fallet under platsundersökningarna, får övervägas i kommande planeringsarbete.

### B3.5 Bergmekaniska undersökningar

Bergmekaniska undersökningsmetoder kan indelas i flera grupper, i första hand: 1) metoder för bergspänningsmätning in situ, 2) laboriemetoder för bestämning av mekaniska egenskaper hos bergmatrisen, 3) laboriemetoder för bestämning av mekaniska och hydromekaniska egenskaper hos sprickor samt 4) metoder för bestämning av mekaniska egenskaper hos bergmassor.

I Forsmark är spänningsfältets egenskaper behäftade med vissa osäkerheter, se /SKB 2008/. Nuvarande kunskap om spänningsfältet baseras främst på **bergspänningsmätningar** med *hydrauliska metoder* samt *överborrhålsmätningar* (se figur B3-9). De vanligaste typerna av hydrauliska mätningar är *hydraulisk spräckning*, ofta förkortat HF-mätningar (*Hydraulic Fracturing*) respektive hydrauliska tester på befintliga sprickor, HTPF-tester (*Hydraulic Tests on Pre-existing Fractures*). Vid hydraulisk spräckning appliceras ett så stort övertryck i en borrhålssektion avgränsad av man-



**Figur B3-9.** Bergspänningsmätningar i Forsmark. Till vänster sänkning av borrhålsutrustning för hydraulisk spräckning, till höger studium av friborrad borrhärna från överborrningsmätning.

schetter att en axiell spricka uppstår i borrhålsväggen. Genom analys av tryck-tid kurvan från spräckningsförloppet kan, idealt, magnituden av minsta huvudspänningen bestämmas. Genom att göra ett avtryck av den inducerade sprickan kan även minsta huvudspänningens orientering fastställas. Ett modernare, mer effektivt och mer exakt sätt att göra denna orienteringsbestämning är att använda borrhålsgeofysisk metodik (resistivitetsinstrument, akustisk eller optisk televiewer, alternativt en kombination av dessa).

Eftersom HF-metoden är tvådimensionell, och således inte karakteriserar hela spänningstensorn, brukar den kombineras med HTPF-tester på befintliga sprickor. Metoden bygger på stimulering (*re-opening*) av befintliga öppna sprickor. Om tillräckligt många sprickgrupper med olika orientering kan lokaliseras, är det möjligt att bestämma hela spänningsfältet till såväl magnituder som orienteringar.

Vid *överborrningsmätningar*, se figur B3-9 samt /Almén och Stenberg 2005/, görs borrhåll under borrhåll av ett kärnborrhål på det djup där överborrningsmätning planerats. Den ordinarie borrhåll kronan byts ut mot en betydligt mindre kärnborrhåll krona. Med denna borrhåll ett pilotborrhål med liten dimension i botten av det ordinarie kärnborrhåll. En mätcell installeras i pilotborrhåll. Därefter ”överborras” pilotborrhåll med det ursprungliga borrhålls dimension, varvid en ihållig, cylinderformad borrhåll kärna friborras. Den spänningsavlastning som sker i den friborrade kärnan registreras med trådtöjningsgivare, och data lagras i mätcellen, som därefter tas upp ur borrhåll tillsammans med den överborrade kärnan. Slutligen bestäms den ihålliga borrhåll kärnans elastiska egenskaper (figur B3-4). Vid lyckade mätningar bestäms hela spänningstensorn, dvs metoden är tredimensionell.

Borrhållmätningar med hydrauliska metoder och överborrnings kommer att vara mindre resurskrävande att göra under byggskedet än under platsundersökningarna, eftersom de kommer att kunna göras i korta hål borrhåll i olika riktningar från tunnlar. Det sekundära spänningsfält som uppstår kring tunnlar är dock en komplicerande faktor vid utvärdering av underjordsmätningar.

SKB studerar för närvarande två typer av överborrningsmätningar som Posiva utvecklat i ONKALO, *LSG- och LVDT-metoderna*. Dessa baseras på samma grundläggande principer som konventionell överborrningsmätning. Dock föreligger ett antal tekniska och skalmässiga skillnader. Förkortningen LSG står för *Long Strain Gauges* och avser utrustning med trådtöjningsgivare som är cirka fem centimeter långa, dvs cirka fem gånger längre än trådtöjningsgivarna i konventionell överborrningsutrustning. LSG-givarna är i första hand anpassade för applicering direkt på en så slät tunnel- eller schaktvägg som möjligt (dvs en tunnel eller ett schakt med nära ideal geometri), t ex TBM-tunnel eller fullortsborrat schakt. Efterföljande överborrningsmätning utförs med grov dimension, t ex med diametern 127 mm. En fördel med LSG-metoden framför konventionell överborrningsmätning i smalare borrhål är att mätvärdet från LSG-metoden representerar en något större mätskala och därför är mindre känslig för småskaliga heterogeniteter såsom kornstorleksvariationer i bergmassan.

LVDT-metoden (*Linear Variable Differential Transducer*) baseras på fyra par LVDT-givare som installeras nära tunnelkonturen i ett grovt borrhål, t ex med diametern 127 mm, och som vid överborrningsmätning med t ex diameter 200 mm registrerar de diametrala deformationer som uppstår vid friborrningsmätning. Genom att utföra mätning i olika positioner i en schakt- eller tunnelsektion med känd geometri kan man med invers modellering i tunnelskala lösa in situ spänningstillståndet. Metoden förutsätter, liksom den konventionella överborrningsmetoden och LSG-metoden, elastiska förhållanden. Även LVDT-metoden bestämmer spänningstillståndet i en större skala än den traditionella överborrningsmetoden. Vid tillämpning av dessa metoder i sprängda tunnlar och schakt är det viktigt att mätningarna utförs på tillräckligt stort avstånd från tunnelperiferin för att undvika inverkan från sprängskadezon.

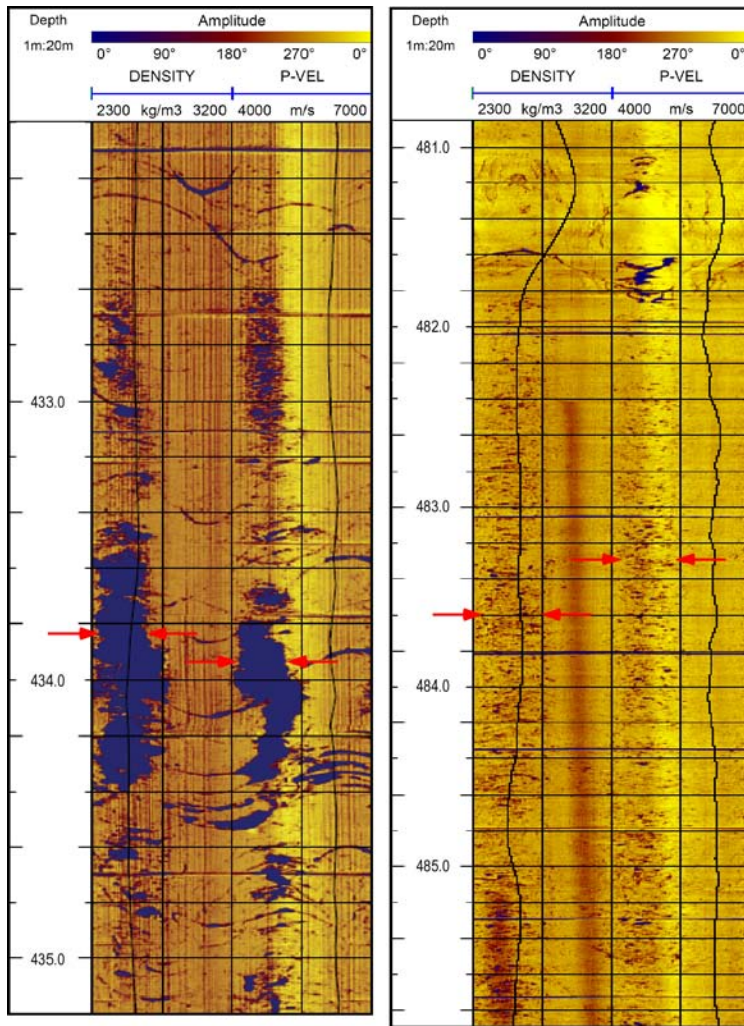
Viss information om spänningsfältet kan även erhållas från andra metoder såsom studium av borrhäror med avseende på förekomst av *core diskings* (spontan, tidsberoende, spänningsinducerad uppsprickning av viss del av borrhäror i millimeter- eller centimetertjocka skivor), vilket ger indikation på spänningskoncentrationer i förhållande till bergets hållfasthet, samt studium av borrhållsväggen. Det senare kan göras med hjälp av optisk eller akustisk teknik. Under platsundersökningarna studerades förekomsten av *borehole breakouts* och andra typer av spänningsinducerade utfall från borrhållsväggen i flera kärnborrhål, se figur B3-10, med hjälp av *akustisk televiwer*. Metoden kan ge en mer kontinuerlig bild mot djupet av spänningsfältets orienteringsvariationer än den enbart punktvisa information som överborrningsmätningar och hydrauliska tester erbjuder /Ask och Ask 2007/. Om metoden ska användas för magnitudbestämningar krävs förekomst av kontinuerliga, fullskaliga spänningsinducerade brott. Sådana har dock inte identifierats i något av de undersökta borrhålen i Forsmark, där endast sporadiskt förekommande stora breakouts iakttagits. Däremot är spännings- och temperaturinducerade mikroutfall vanligt förekommande. Televiwer-instrumentets kapacitet att mäta borrhållsdiametern med stor noggrannhet möjliggör detektion även av dessa mycket små utfall (ner till mineralkornstorlek) från borrhållsväggen.

Under detaljundersökningarna kommer *konvergensmätningar* att introduceras som ett komplement till borrhållsmetoder för fortsatta bergspänningsmätningar. Vid denna metod borrar mät-dubbar in på strategiska platser i schakt och tunnlar, varefter förändringar i deras lägen på grund av spänningsomlagringar mäts in mycket noggrant med laserteknik.

**Laboratorietester av borrhäroprover** utförs för bestämning av en rad mekaniska egenskaper hos det intakta berget liksom hos sprickor, t ex densitet, draghållfasthet, tryck- och skjuvhållfasthet, termisk längdutvidgningskoefficient, elastiska egenskaper (elasticitetsmodul och Poissons tal) samt sprickors hydromekaniska egenskaper. Laboratorietester och -analyser av borrhäro- och kaxprover utförs av externa, i allmänhet certifierade laboratorier.

Vad avser **mekaniska egenskaper (i stor skala) hos bergmassor** är det oftast inte möjligt att i fält testa och bestämma dessa. I stället uppskattas därför bergmassans mekaniska egenskaper med hjälp av empiriska samband mellan egenskaper och något etablerat bergklassningssystem, i första hand RMR (*Rock Mass Rating*)- och Q (*Tunnelling Quality Index*)-systemen. Förutsättningen är dock att bergvolymen är tillräckligt stor att innehålla fyra eller fler spricksystem. För bergvolymen med få sprickor finns däremot inga allmänna och enkla samband.





**Figur B3-10.** Exempel på kompletterande metoder för karakterisering av spänningsfältet. Resultat från loggning med akustisk televiewer som visar spänningsinducerade utfall, så kallade borehole breakouts, i borrhål KFM01B i Forsmark. Till vänster exempel på större sporadiskt utfall i borrhålsavsnittet 432,0–435,2 m borrhålslängd (mbl). Till höger spännings- och temperaturinducerade mikroutfall i avsnittet 480,8–485,9 mbl. Röda pilar indikerar utfallsbredden.

### B3.6 Termiska undersökningar

Bergets *värmeledningsförmåga* har stor betydelse för slutförvarets funktion, eftersom den bestämmer hur tätt kapslarna kan placeras i deponeringstunnlarna och därmed hur mycket berg som måste sprängas ut. För att bentoniten i deponeringshålen och det omgivande berget inte i något skede ska utsättas för alltför höga temperaturer är det en fördel om bergets värmeledningsförmåga är hög. Liksom många andra geo-relaterade parametrar varierar värmeledningsförmågan beroende på den skala som betraktas. På mineralnivå finns en betydande variation, som normalt dock utjämnas i större skala. I vissa bergarter finns också en avsevärd rumslig variation inom bergarten beroende på geokemiska/mineralogiska växlingar i bergmassan.

I laboratorium mäts värmeledningsförmågan i cm-skala. Dessutom har en metod utvecklats för indirekt bestämning av värmeledningsförmågan med densitetsloggning, som ger en uppfattning om den rumsliga variationen i dm-skala. Den i slutförvarssammanhanget teoretiskt mest lämpliga skalan att mäta i är den volym som påverkar kapselns maximala temperatur, vilket inträffar efter 10–20 år. Denna volym är relativt stor, och det skulle ta orimligt lång tid att utföra in situ-mätningar av värmeledningsförmåga i denna skala.

Den praktiskt mest relevanta mätskalan för att studera variationer av värmeledningsförmåga i bergmassan rör sig om ca 3–5 meter. I den skalan har en utjämning av egenskaper skett, och en påtaglig variansreduktion kan förväntas. För denna skala saknas i stor utsträckning mätningar, vilket medför en viss osäkerhet i den platsbeskrivande termiska modellen. Därför bör verifierande mätningar i denna skala övervägas.

Under platsundersökningen gjorde SKB ett utredningsarbete med syftet att välja befintliga metoder för mätning av värmeledningsförmåga in situ i relevant och praktiskt genomförbar skala, alternativt att identifiera behov av teknisk utveckling för sådana metoder. Arbetet var inriktat på undersökningar från markytan, men har relevans även för underjordsmätningar, även om vissa modifieringar kan vara påkallade för underjordsanpassning. Utredningen ledde fram till en rekommendation till metodutveckling med följande två huvudinriktningar:

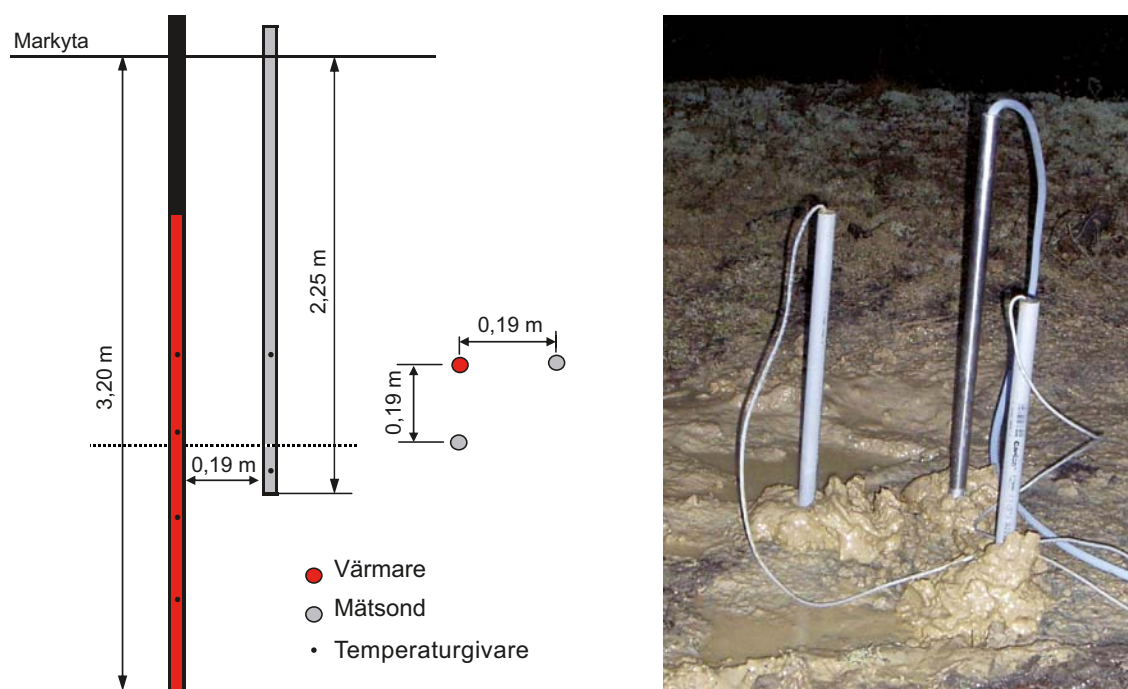
- 1) en- eller flersondsmetod för mätning på håll,
- 2) någon form av värmekälla av ca 5 m längd, avgränsad av manschetter, för mätning i djupa borrhål.

Metod för mätningar på håll utvecklades under platsundersökningen, och fältförsök utfördes både i Forsmark och i Laxemar, se figur B3-11. Metoden är tänkbar att tillämpa även i en tunnel på förvarsdjup. För att mätningar enligt punkt 2 ovan ska kunna genomföras behöver den metoden utvecklas.

Beträffande **termiska laboriemetoder** utförs dessa, liksom metoder för t ex hållfasthetsprovningar, av externa, i allmänhet certifierade laboratorier.

### B3.7 Hydrogeologiska borrhålsundersökningar

För bestämning i borrhål från markytan av *hydrauliska parametrar*, i första hand hydraulisk konduktivitet och/eller transmissivitet, men även av t ex skin (dvs strömningsförluster vid exempelvis pumpning eller vatteninjektion orsakade av borrhålet eller testutförandet), flödesdimension, konnektivitet, naturligt grundvattentryck och -flöde samt magasinskoefficient, kan *pumptester* och *injektionstester* (figur B3-12), liksom *flödesloggning under pumpning eller vid naturlig gradient* tillämpas. Mätningarna kan utföras som helhålstester eller i avgränsade borrhålssektioner. Dessa testtyper har tillämpats frekvent under platsundersökningarna, men också i underjordsmiljö i t ex Äspölaboratoriet.



**Figur B3-11.** Termiskt fältförsök genomfört under platsundersökningarna. Försöksuppställningen bestod av ett centrumhål där värme alstrades med en elektrisk värmare samt två eller flera omgivande borrhål i vilka temperaturförändringen registrerades.



**Figur B3-12.** Bestämning av hydrauliska parametrar i ytborrhål med olika metoder. Till vänster pumptest i hammarborrhål, till höger injektionstester i kärnborrhål.

En speciell form av flödesloggning är så kallad differensflödesloggning (figur B3-13), som är en teknik baserad på avklingning (utspädning) av inducerade termiska pulser i avgränsade borrhålssektioner. Med denna metod kan hydraulisk konduktivitet/transmissivitet bestämmas för olika sektionslängder längs borrhålet, ner till mycket korta intervall. Andra parametrar som fastställs är den hydrauliska tryckhöjden, grundvattnets temperatur och salthalt samt några geofysiska parametrar (punktresistans, temperatur- och calipervärden). Ofta utförs den hydrauliska karakteriseringen ner till en meters sektionslängd och med överlappningsteknik till en decimeters längd över hydrauliska anomalier för bättre karakterisering av dessa. Vid en annan tillämpning kan samma termiska mätprincip utnyttjas för bestämning av grundvattenflödet genom sektionen under naturlig gradient, liksom av grundvattenflödets riktning i sektionen grovt relaterat till kvadranterna runt borrhålets axel. Det finns även en annan metod för bestämning av grundvattenflöde under naturlig gradient som bygger på principen om utspädning av ett tillsatt, vattentroget spårämne, se avsnitt B3.9 och B3.12.



**Figur B3-13.** Till vänster Posivas utrustning för differensflödesloggning. Till höger borrhål under hydrauliskt övertryck i Äspölaboratoriet.

De flesta av de nämnda undersökningsmetoderna kan användas i både underjords- och ovanjordshål. På grund av att borrhål belägna under grundvattennivån befinner sig under hydrauliskt övertryck (figur B3-13), tillkommer i det fallet testmetoden *utflödesmätningar i kombination med tryck-uppbyggnadstester*. Metoden tillämpas ofta under jord och ersätter i stor utsträckning pump- och injektionstester. I både ovanjords- och underjordsmiljö kan hydrauliska tester utföras även som *interferenstester (flerhålstester)*, i de fall större bergvolymerna ska karaktäriseras med avseende på geometri, konnektivitet och andra hydrauliska egenskaper.

Framträdande karakteristika hos Forsmarks platsmodell är låg sprickfrekvens och låg hydraulisk transmissivitet på förvarsdjup, se figur B3-14. Detta är generellt sett gynnsamma egenskaper ur perspektivet långsiktig säkerhet. Emellertid är transmissiviteten inom stora bergvolymerna så låg att den ligger under den nedre mätgränsen för vissa mätmetoder. För metoder med låg nedre mätgräns kan den låga genomsläppligheten medföra att testtiderna blir långa, om transmissivitetsvärden ska bestämmas med hög noggrannhet. Platsundersökningarna har visat att även det motsatta förhållandet kan föreligga i berggrundsavsnittet ner till ca 150–200 m, dvs att den hydrauliska transmissiviteten är så hög (jfr figur B3-14) att den eventuellt kan ligga utanför de ordinarie mätinstrumentens övre mätgräns.

Olika typer av hydrauliska tester utförda under den successiva beredningen av ett deponeringsområde bedöms kunna ge värdefull information för utvärderingen av existens av och geometri hos ”långa sprickor”. Här kan sektionerade pilotborrhål för tunnlar liksom andra typer av undersökningsborrhål borrade från tunnellen utnyttjas dels som testborrhål (t ex pumpborrhål), dels som observationsborrhål för registrering av tryckvariationer då pumpning, alternativt borrning, utförs i något annat borrhål. Hydrogeologiska metoder för långtidsobservationer presenteras i avsnitt B3.12, ”Monitering”.



**Figur B3-14.** Illustration av kontrasten i hydraulisk konduktivitet mellan berggrundens ytligare och djupare delar inom Forsmarks kandidat område för slutförvaret. Till vänster diagram med bergarts- och sprickfördelning samt hydraulisk konduktivitet längs ett 1 000 m långt, nästan vertikalt kärnborrhål i kandidat områdets centrala del. Den hydrauliska konduktiviteten ligger på eller under mätinstrumentets nedre mätgräns från ca 350 m till 1 000 m, medan konduktiviteten uppvisar ett antal höga värden ner till ca 200 m. Den hydrauliska konduktiviteten i avsnittet 0–100 m, som är utförd med hammarborrningsteknik i grov dimension, bestämdes med en alternativ mätmetod (kapacitetsmätning vid maximal avsänkning) och visade sig vara mycket hög (jfr figuren till höger).

Till höger borrning av hammarborrhål i Forsmark i omedelbar närhet av det kärnborrhål som illustreras till vänster. Ett vatteninflöde av ca 1 000 l/min (vid maximal avsänkning) påträffades i ett kort uppsprucket parti vid ca 42–45 m.

### B3.8 Hydrogeokemiska undersökningar

För bestämning av hydrogeokemiska parametrar utförs vattenprovtagning med efterföljande laboratorieanalyser. Enklare fysikalisk-kemisk karaktärisering av yt- och grundvatten, främst bestämning av *vattentemperatur, pH och elektrisk konduktivitet*, bör utföras direkt i fält med mätinstrument anpassade för fältmässigt bruk. Under platsundersökningarna har vattenprover tagits i de olika typer av borrhål som då producerades, men även i ytvatten, dvs i Östersjön, sjöar, bäckar och våtmarker, samt av nederbörden (se exempel på vattenprovtagning i olika miljöer i figur B3-15). Även vattenprover från porvatten i sediment och från bergmatrisen i borrhåll har analyserats. För provtagning av matrisporvatten från borrhåll, som är en mycket störningskänslig procedur, utvecklades en väl fungerande teknik under platsundersökningarna. Efter inledande vattenkemiska provtagningskampanjer under platsundersökningen i borrhål och olika typer av ytvatten valdes ett antal punkter ut för återkommande provtagning/analys inom ramen för det *hydrokemiska/hydrogeokemiska* monitoringsprogrammet, se vidare avsnitt B3.12.

SKB förfogar över ett egenutvecklat mobilt system (figur B3-16) med provtagnings- och laboratorieenhet för avancerad provtagning i kärnborrhål borrade från ytan, så kallad *fullständig kemikaraktärisering* i avmanschetterade borrhållssektioner. Förutom en specialutformad pumpenhet och ett väl utrustat kemilaboratorium erbjuder systemet kontinuerlig *on-line registrering* av några känsliga parametrar. Detta görs med två mätceller (*Borrhållschemmac* och *Ytchemmac*) genom vilka vattnet leds i obruten linje på sin väg upp till kemilaboratoriet. I dessa mätceller registreras *Eh (redoxpotential), pH, vattentemperatur, löst syre* och *EC (elektrisk konduktivitet)*, de två sistnämnda parametrarna enbart i *Ytchemmac*, medan *Borrhållschemmac* även mäter *trycket i borrhållssektionen*.

*Ytchemmac* är försedd med kommersiella elektroder och givare och är placerad i provtagningsutrustningens markenhet, där mätningen utförs på det uppumpade grundvattnet. Elektroden är inte konstruerade för höga vattentryck, och det har visat sig svårt att på den kommersiella marknaden hitta elektroder avsedda för de höga hydrostatiska tryck som råder i djupa borrhål. För *Borrhållschemmac*, som är avsedd att användas i borrhål ner till ca 1000 m under markytan, och som består av en flödescell nere i borrhålet med tillhörande mätelektronik, har SKB därför i egen regi utvecklat elektroder med tillhörande utrustning för Eh, pH och temperatur.



**Figur B3-15.** Övre raden: hydrokemisk fältprovtagning och analys under platsundersökningen i Forsmark i, från vänster, djupt borrhål, bäck och sjö. Nedre raden: grundvattenprovtagning i underjordsmiljö (Åspölaboratoriet).



**Figur B3-16.** SKB:s mobila kemilaboratorium.

I underjordsmiljö underlättas provtagningen genom att borrhålen står under övertryck (figur B3-13), vilket medför att pumpning generellt inte behöver tillämpas vid provtagning. Dessutom transporteras kontaminerande ämnen från borrhålen, t ex spolvatten och borrhålskax, mer effektivt ut ur borrhålet med det utströmmande grundvattnet, åtminstone då de vattenförande sprickorna har någorlunda hög hydraulisk transmissivitet, och om borrhålet får stå öppet en tid efter borrhållning.

Även vid fullständig kemikaraktärisering i underjordsmiljö kommer detaljundersökningarna att kräva *on-line registrering* av nämnda känsliga kemiska parametrar. En möjlighet är att använda ett senare framtaget portabelt instrument, se figur B3-17, som använts vid undersökningarna i Prototypförvaret vid Äspölaboratoriet, och som är anpassat för de vattentryck som råder på förvarsdjup. Mätcellen i detta instrument, som är placerad utanför borrhålet, kan mäta samma tre parametrar som *Borrhålschemac* (Eh, pH och temperatur), och genom att strypa vattenflödet behålls ett högt vattentryck i mätcellen. Vid konstruktionen av detta instrument lades stor vikt bl a vid materialvalet för alla komponenter som kommer i kontakt med grundvattnet. Exempelvis består alla vattenslangar av en plastprodukt av PEEK-kvalitet (*PolyEtherEther Ketone*), ett material som minimerar diffusionen av syrgas, något som är av stor betydelse för Eh-mätningarna.

SKB har definierat *fem kemiklasser* för vattenanalyser, där klass 1 innebär de mest begränsade och klass 5 de mest omfattande analyserna. I de senare ingår, förutom laboratoriebestämningar (s k batch-mätningar) av pH och Eh, huvudkomponenter (TDS, Na, K, Ca, Mg, S, Sr, Si,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  och  $\text{Cl}^-$ ), komplement till dessa (Fe, Li, Mn, DOC, Br,  $\text{F}^-$ , I,  $\text{HS}^-$  och  $\text{NH}_4^+$ ), ett flertal spårämnen (t ex sällsynta jordmetaller) och dessutom många stabila och radioaktiva isotoper. Också *specialanalyser av lösta gaser, kolloider samt humus- och fulvosyror* utförs vid fullständig kemikaraktärisering /SKB 2001/.

*Sprickmineralanalyser* kompletterar bilden av grundvattnets nuvarande och tidigare kemiska sammansättning samt av de processer som påverkat denna. Exempelvis indikerar närvaro eller avsaknad av kalcitmineral om infiltration av ytwater varit kraftig eller inte, medan förekomst av järnhydroxider i kombination med avsaknad av pyrit visar hur långt ner ett oxiderande vatten har cirkulerat. Detta är exempel som illustrerar att sprickmineralanalyser, som utgör en naturlig brygga mellan geologi och hydrogeokemi, ökar förståelsen av de hydrogeokemiska förhållandena.

För SKB:s utvecklingsplaner avseende provtagnings- och analysteknik inom det hydrogeokemiska området, se avsnitt 7.3.6.



**Figur B3-17.** SKB:s portabla mätinstrument för underjordsmätning av Eh, pH och grundvattentemperatur. Alla vattenslangar är av PEEK-kvalitet.

### B3.9 Undersökningar för bergets transportegenskaper

Karaktärisering av *bergets transportegenskaper* utförs med fältmetoder respektive laboratorieanalys av borrhärneprover. **Fältmetoderna** utgörs av *resistivitetsmätningar för bestämning av formationsfaktorn (diffusivitet)* samt *spårförsök i borrhål*, vilka kan utföras som enhåls- eller flerhålsförsök, ovan jord eller under jord. För enhålstester, så kallade SWIW-tester (*Single hole Withdrawal and Injection Tests*) har SKB utvecklat en speciell utrustningsenhet (så kallad utspädningssond), men även för flerhålsförsök har viss specialiserad utrustning tagits fram. Med hjälp av utspädningssondmätningar av spårämne kan grundvattenflödet under naturlig gradient bestämmas liksom transportegenskaper som flödesporositet, dispersivitet, retardationsfaktor, sorptionskoefficient, matrisdiffusionskoefficient med flera.

Teknisk utveckling av laboratoriemetoder pågår för närvarande, och en möjlig in situ-tillämpning av metodiken för bestämning av matrisdiffusivitet kommer också att utredas, se avsnitt 7.3.7.

**Laboratoriemetoderna** omfattar i huvudsak *bestämning på borrhärnebitar av diffusionsegenskaper, porositet och sorption* (i det sista fallet, sorption, används dock i huvudsak bergkross) samt *resistivitetsmätningar på bergprover för bestämning av formationsfaktorn (diffusivitet)*. Dessa tjänar, tillsammans med genomdiffusionsmätningar, som riktvärden för motsvarande borrhålsmätningar. Ur planeringssynpunkt är det viktigt att ta hänsyn till de ofta mycket långa ledtiderna mellan provtagningstillfället och färdig resultatrapport för dessa typer av analyser.

### B3.10 Kartering av bergutrymmen under jord

Denna kategori av undersökningar har en central roll i detaljundersökningsprogrammet. *Geovetenskaplig dokumentation av alla tunnlar, schakt och övriga bergutrymmen* är en av de *processinriktade aktiviteter* som kommer att kräva mest tid och resurser av samtliga enskilda undersökningsinsatser. Genom att underjordiska bergytter successivt kommer att exponeras under slutförvarets uppförande, och så småningom ha stor omfattning, ges helt annan möjlighet att studera bergets strukturer i tre dimensioner, än då man, som under platsundersökningen, endast har tillgång till ytinformation i kombination med borrhärnor och andra bergprover. Ramp och schakt kommer att erbjuda möjlighet till kontinuerlig geologisk dokumentation av bergytter av betydande areal från markytan till förvarsdjup. Tunnelväggar, -tak och -sula på förvarsdjup kommer att ha ännu större utbredning. Även om den geologiska platsmodellen för Forsmark bedöms robust, kommer tunneldokumentationen att leda till väsentligt ökad förståelse av detaljer i förvarsvolymens geologiska uppbyggnad.

Förutom den geologiska dokumentationen, som ger underlaget till den konceptuella, geometriska modelleringen från vilken övrig geovetenskaplig modellering tar sin utgångspunkt, kommer de exponerade bergytorna i underjordsutrymmena att möjliggöra att även de bergmekaniska, hydrogeologiska och hydrogeokemiska beskrivningarna av förvarsvolymen kan göras avsevärt mer detaljerade än vad ovanjordsundersökningarna tillåtit. Dock måste nödvändiga hänsyn tas till att berget i en zon nära tunnelkonturen är mer eller mindre mekaniskt skadat av berguttaget och hydrauliskt stört inom ett avstånd från tunneln av ca en tunneldiameter på grund av omlagring av bergspänningar, tvåfasflödes-effekter etc.

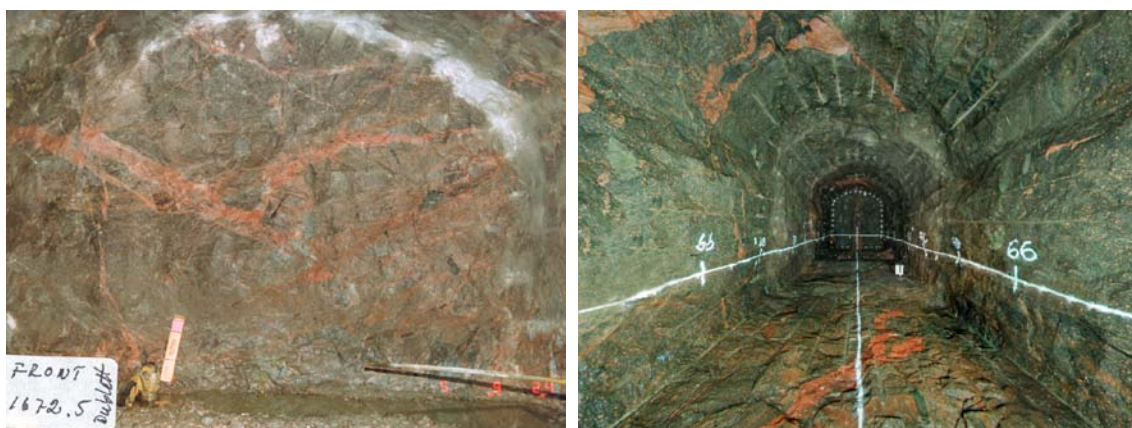
SKB har erfarenhet av tunneldokumentation främst från uppförandet av och den efterföljande verksamheten vid Äspölaboratoriet. Genom samarbetet med Posiva kan SKB även dra nytta av erfarenheterna av tunneldokumentation vid ONKALO. Vid tunneldrivningen i samband med uppförandet av Äspölaboratoriet under senare delen av 1980-talet omfattade tunnelkaraktäriseringen följande punkter /Almén och Stenberg 2005/:

- Fotodokumentation (figur B3-18).
- Geologisk kartering (figur B3-19).
- Bergmekanisk dokumentation.
- Hydrogeologisk kartering.
- Hydrogeokemisk provtagning.

Information från den geologiska tunneldokumentationen sammanställdes för analys och dokumentation på det sätt som exemplifieras i figur B3-20. Den hydrogeologiska och hydrogeokemiska dokumentationen presenterades med likartad layout.

Vid slutförvarets uppförande kommer principiellt samma typ av dokumentation att utföras. En skillnad är dock att ett tunnelkarteringssystem benämnt RoCS (*Rock Characterization System*), som för närvarande är under utveckling (se avsnitt 7.3.1), kommer att tillämpas. Med detta skapas först ett digitalt karteringsunderlag på fotogrammetrisk väg, varpå den egentliga karteringen införs i en karteringsfäldtdator som den karterande geologen för med sig vid varje karteringstillfälle. Systemet mäter in läget och orienteringen i rummet av de geologiska strukturer som framträder tredimensionellt (dvs på fler än en av karteringsytorna) och dokumenterar för varje salva fotografiskt alla bergytor utom sulan, dvs front, väggar och tak.

Tunnelsulan är mer eller mindre dold av sprängsten, borrhax etc och kan därför inte enkelt karteras. Då enskilda deponeringstunnlar färdigställts, kommer dock även sulan att rengöras noggrant och karteras efter samma principer som övriga bergytor.

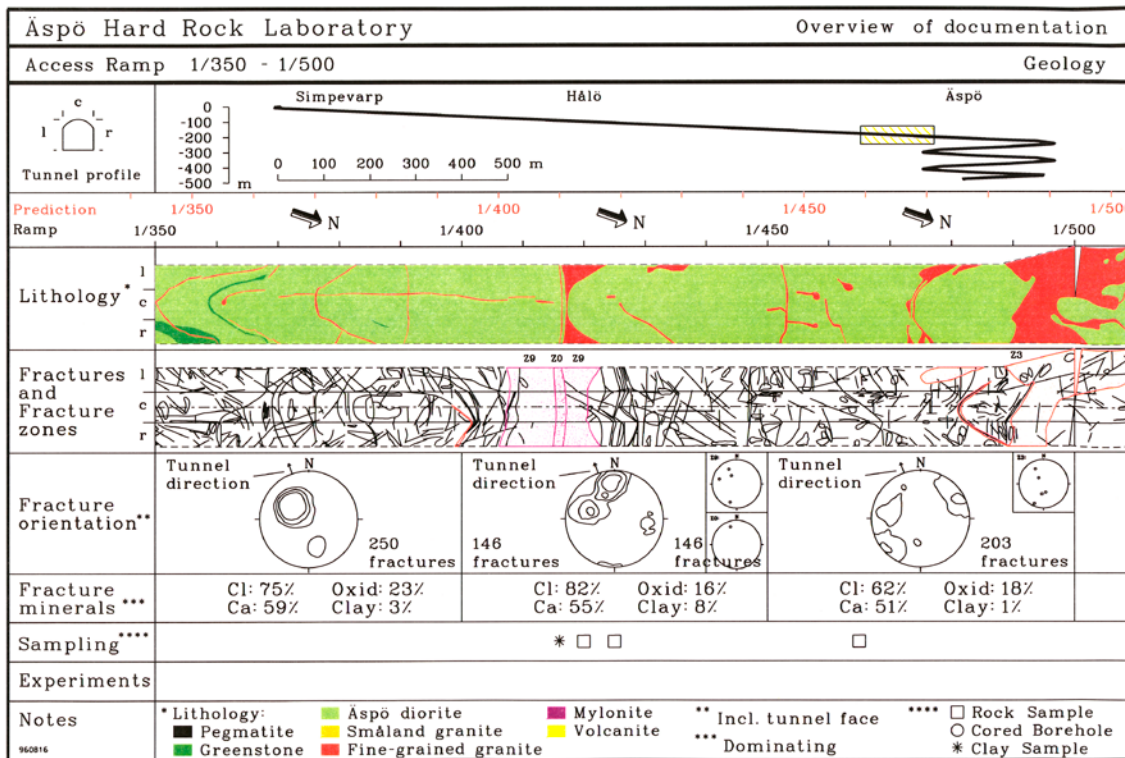


**Figur B3-18.** Till vänster exempel på fotodokumentation av tunnelfront vid byggandet av tillfarer till Äspölaboratoriet samt till höger av helt tunnelavsnitt (front, tak, väggar och sula) vid tunneldrivning av den så kallade TASS-tunneln i Äspölaboratoriet.





**Figur B3-19.** Konventionell geologisk tunnelkartering i Äspölaboratoriet. Vid geologisk kartering i slutförvaret kommer papper och penna att ersättas av karteringsdator.



**Figur B3-20.** Exempel på presentationslayout för geologiska data av 150 m långt tunnelavsnitt från Äspölaboratoriets uppförande.

Bergmekanisk information kan i huvudsak inhämtas från det geologiska underlaget, men vid behov görs fältkontroller med fokus specifikt på bergmekaniska förhållanden. För hydrogeologisk och hydrogeokemisk tunneldokumentation erbjuder karteringssystemet inmätta lägen av hydrauliskt konduktiva strukturer, men detta underlag måste kombineras med inflödesmätningar respektive provtagningar av grundvatten.

Den exakta logistiken vid slutförvarsbyggets tunneldokumentation, t ex om de olika geovetenskapliga ämnesområdena ska arbeta synkroniserat eller inte och liknande frågor, hör till det detaljerade planeringsarbete som återstår att utföra, men som måste vara slutfört innan uppförandet av slutförvaret påbörjas med ramp- och schaktdrivning.

Inte heller dokumentationslayouten har fastlagts, men sannolikt behöver flera varianter av datapresentationer tas fram för att fylla olika avnämares behov. Det är väsentligt att karteringssystemet och de till detta kopplade databaserna har kapaciteten att snabbt kunna producera kvalitetsssäkrade utdata, rådata såväl som processerade data i olika skalor, och att det har flexibiliteten att skapa presentationer där data kan väljas ut och kombineras i flera varianter, så att olika typer av analys- och presentationsbehov kan tillgodoses, se även avsnitt 7.4.

En aktivitet som är i behov av dataunderlag med hög informationspotential är *entunnelstolkning*. Med detta avses integrerad tolkning av information insamlad i samband med pilotborrning, sonderingsborrning, berggutttag och efterföljande geovetenskaplig karakterisering av den utbrutna tunneln, jfr figur B3-3. Den analyserade informationen är primärt geologisk (litologi, plastiska strukturer, sprickintensitet, sprickegenskaper, förekommande mindre zoner/"långa sprickor" etc) och hydrogeologisk (inflöden, karakterisering av inflödespunkter och eventuella resultat från hydrauliska tester i pilot- och sonderingshål och från registrering av tryckresponser i pilotborrhål). Tillkommande information kan bestå av hydrogeokemiska data samt insamlade parametrar från borrning (MWD) och tunnelbrytning. Entunnelstolkning är, trots skillnaden i skala, närmast att jämföra med enhålstolkning av borrhålsinformation, något som tillämpats frekvent under platsundersökningen med goda resultat.

Den mer eller mindre kontinuerliga, processinriktade, tunneldokumentationen kommer att kompletteras med *aktivitetensinriktade undersökningar*. Exempelvis kan sprickmineralogisk kartering i tunnelskala bli aktuell inom vissa tunnelavsnitt liksom specialstudier av relationen mellan bergartssammansättning/-fördelning och termiska egenskaper. Andra undersökningar kommer att vara inriktade mot identifiering och karakterisering av "långa sprickor". I detta hänseende kommer geofysiska undersökningar, i första hand refraktions- och reflektionsseismiska mätningar, men även resistivitetsmätningar och markradarmätningar (GPR-mätningar) i fråga (GPR= *Ground Penetration Radar*).

Samma typ av geofysiska undersökningar kan möjligen tillämpas för karakterisering av EDZ (se definition i avsnitt 4.5.2), vars omfattning och egenskaper är beroende av såväl bergets egenskaper som metoden för berggutttag. EDZ karakteriseras hydrauliskt vid behov för att fastställa att konstruktionsförutsättningarna är uppfyllda. Uppgiften ligger primärt inom utvecklingen av referensmetoder för berggutttag i tunnlar och schakt för att relaterade krav på anläggningens utrymmen ska uppfyllas, i detta fall den hydrauliska konduktiviteten hos EDZ. Vid anläggningens uppförande bedöms sådana mätningar dock inte kunna utföras som kontinuerlig kontrollåtgärd, eftersom det sannolikt behövs en komplex mätupställning för detta.

### **B3.11 Ej borrhålsrelaterade ovanjordsundersökningar**

Denna undersökningskategori kommer att ha viss, men begränsad omfattning under slutförvarets uppförande och drift. Nedan ges några exempel på tänkbara undersökningsinsatser och -metoder.

Traditionella kvartärgeologiska och geotekniska jordartsbedömningar kommer att utföras i samband med schaktningar i lägen för tillfartsramp samt för ventilations-, skip- och personschakt. Dessutom kommer de frilagda bergytorna att karteras med avseende på bergarter, sprickor och plastiska strukturer.

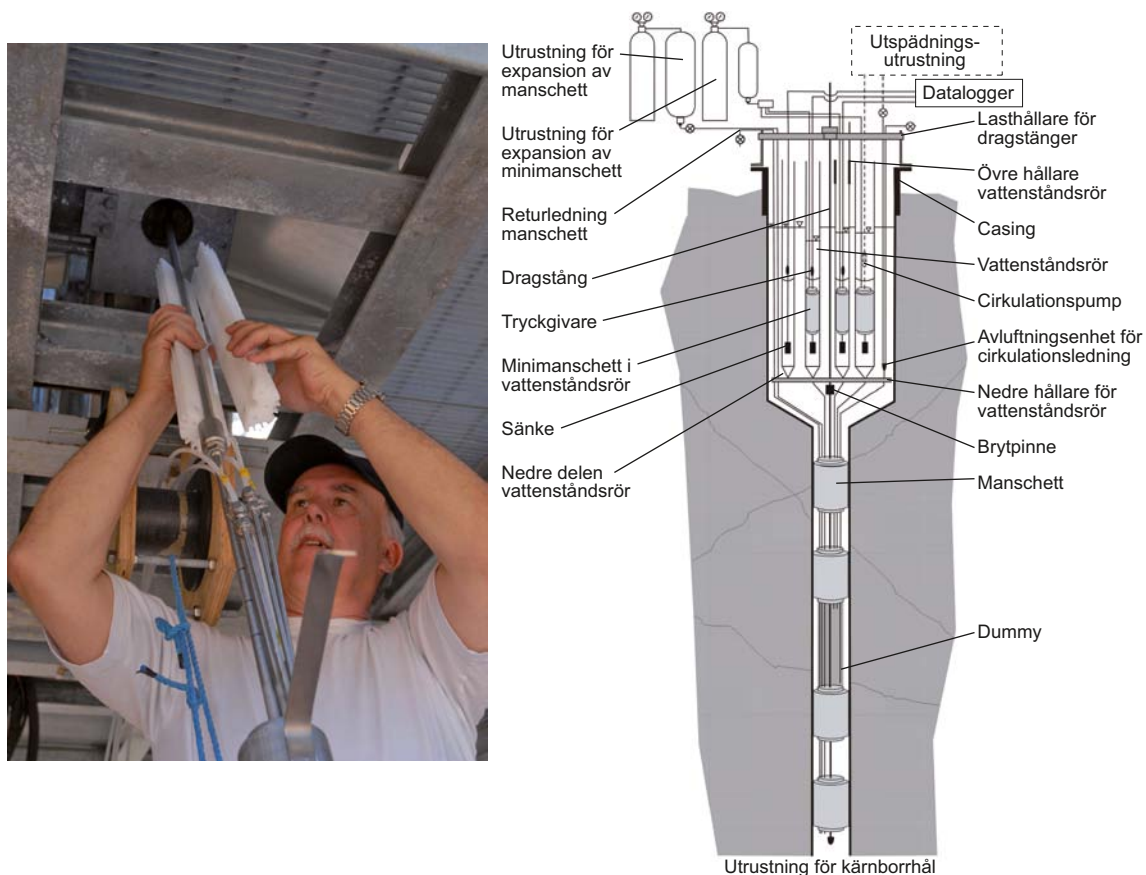
Yteologiska undersökningar, utöver de som ingår i monitoringsverksamheten, se nästa avsnitt, förväntas inte få stor omfattning, men utförs i den mån behov av sådana identifieras. Kompletterande undersökningar av nuvarande och framtida utströmningsområden för djupt grundvatten för att reducera vissa kvarstående osäkerheter kan komma i fråga. Dessutom kan punktvisa inventeringar och undersökningar av flora och fauna, men även av sediment och jordmån tänkas bli aktuella. I samband med grundvattenavsänkningar kan effekter av dessa i till exempel våtmarker behöva undersökas. Även kompletterande undersökningar av våtmarker planerade som översilningsmarker för renat avlopps- och dränagevatten från anläggningen kan behövas. Beredskap måste finnas också för andra markbaserade ytundersökningar, om behov föranledda av nya frågeställningar eller upptäckta brister i platsmodellen skulle uppkomma.

### B3.12 Monitering

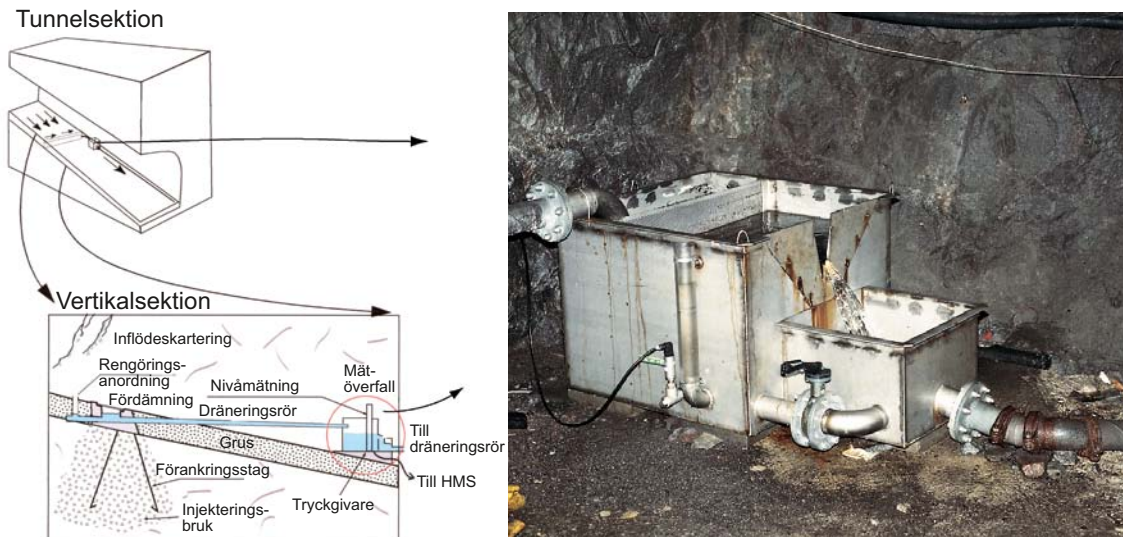
System för monitering (se definition i avsnitt 4.2.3) av geovetenskapliga och ytekologiska parametrar i Forsmark byggdes successivt upp under platsundersökningen /SKB 2007/, så att tidsserier kunde börja genereras. De parametrar som moniteras karaktäriseras av viss tids- och platsberoende variabilitet. Moniteringen har dubbelt syfte.

Det första syftet är att genom studium av de monitorade parametrarnas variationsmönster förbättra kunskapen om bakomliggande, ofta komplexa orsakssamband. Därigenom ökar precisionen vid beskrivningen av de platsspecifika förhållandena och skapas ett bättre underlag för modellering av viktiga processer. I och med detta ökar förståelsen av platsen. Ett exempel är grundvattenmoniteringen där grundvattennivåer och -tryck på olika djup mäts i avmanschetterade borrhål, se figur B3-21. Nivåmoniteringen är av stor betydelse för den successiva uppbyggnaden av hydrogeologisk förståelse av förvarsberget och (senare) effekterna på omgivningen av underjordsanläggningen, inklusive påverkan på jordlagren. Denna registrering måste, då förvarsbygget pågår, vara parad med en motsvarande noggrann registrering av planerade och oplanerade händelser som, utöver själva tunneldrivningen, kan påverka trycksituationen. Exempel på sådana händelser är borring eller öppning och stängning av borrhål i samband med vattenprovtagning eller hydrauliska tester.

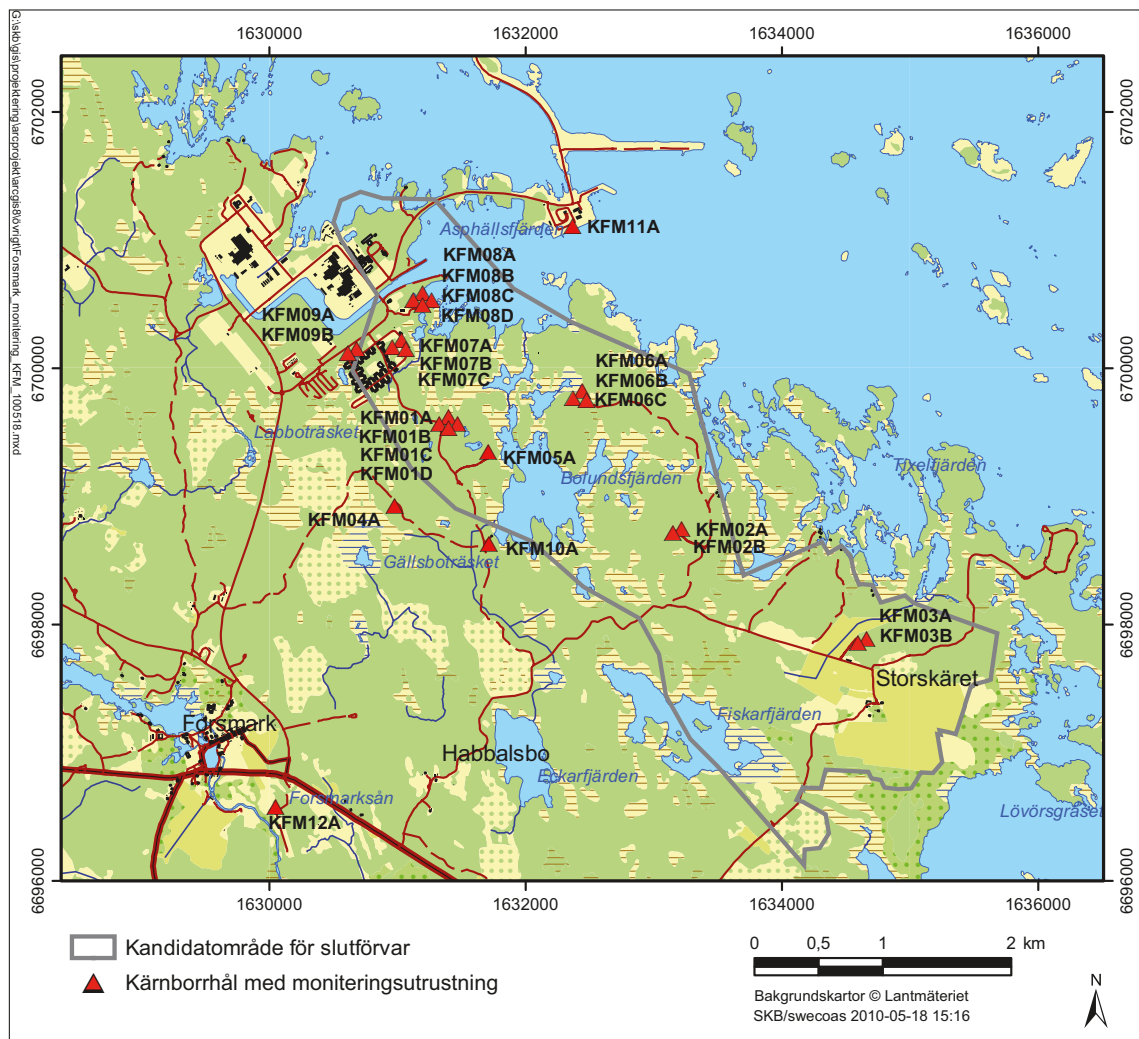
Registrering av tryckresponser i samband med borring kan utnyttjas för tolkning av konnektivitet och barriäreffekter inom förvarsområdet, liksom för analys av konduktiva strukturers geometri /Winberg et al. 2000, Andersson et al. 2002/. Motsvarande registrering i samband med tunneldrivning har varit väsentlig vid tolkning av konduktiva strukturers förekomst och geometri vid Äspölaboratoriet, där också inflödet av grundvatten till olika tunnel- och schaktavsnitt samt grundvattnets elektriska konduktivitet monitorats under många år, se figur B3-22. Figur B3-23 visar läget av alla kärnborrhål borrade från markytan i Forsmark, i vilka monitoringsutrustning för registrering av grundvattentryck installerades under platsundersökningen.



**Figur B3-21.** Till vänster installation i djupt kärnborrhål av den utrustning för monitering av grundvattentryck på olika nivåer och för grundvattenprovtagning som är avbildad till höger.



**Figur B3-22.** Mätöverfall i Äspölaboratoriet för monitoring av grundvattenflöde och elektrisk konduktivitet. Ritningarna till vänster illustrerar konstruktionsprincipen.



**Figur B3-23.** Karta som visar läget av de 25 kärnborrhål i Forsmark där monitoringsutrustning för registrering av grundvattennivåer och tryck installerades under platsundersökningen. Många av dessa borrhål har även utrustning för hydrogeokemisk monitoring och för grundvattenflödesmätningar. Liknande (men enklare) utrustning finns installerad i 36 st hammarborrhål och i ett 60-tal borrhål i kvartära lager.

Det andra viktiga syftet med monitoringsystemet är att tillhandahålla ett verktyg för kontroll av slutförvarsbyggets inverkan på den omgivande miljön. Genom att monitorering innebär återkommande mätningar över viss tid, åstadkoms längre eller kortare datatidsserier. För miljöövervakningens syfte är det nödvändigt att generera en tidsserie innan den miljöstörande verksamheten påbörjas, för att utgångsläget, dvs de ostörda förhållandena (eng. *baseline*), ska kunna beskrivas på ett trovärdigt sätt. Föreliggande rapport behandlar inte frågor relaterade specifikt till miljöövervakning, men det är viktigt att dokumentera när i tiden förhållandena har varit ostörda respektive störda. Denna information behövs även när monitoringsverksamheten utnyttjas inom platsmodelleringen. För den del av monitoringsystemet som började etableras under platsundersökningen kan tre viktiga skeden identifieras:

- A. Platsundersökningsskedet, då systemet byggdes upp och generering av tidsserier påbörjades. Vissa monitoringspunkter etablerades redan i slutet av 2002, varför tidsserier om 4,5–5 år uppnåddes för dessa punkter redan under platsundersökningsskedet. Emellertid medförde aktiviteter som borrhning och pumpningar vissa störningar på grundvattennivåer och hydrogeokemiska förhållanden, åtminstone i den lokala omgivningen till respektive borrhål under den tid som aktiviteten pågick.
- B. Skedet från platsundersökningens avslutning vid halvårsskiftet 2007 till starten av slutförvarsbygget, dvs en period om uppskattningsvis 9–10 år, då yttre störningar sannolikt kommer att vara minimala. Denna period är därför av stor betydelse för slutligt fastläggande av *baseline* för flera parametrar.
- C. Skedet under slutförvarets uppförande och drift, då monitoringsystemet för det första lämnar underlag för fortsatt modellering, och för det andra utgör verktyget med vilket slutförvarsbyggets omgivningspåverkan kan kvantifieras och ställas i relation till de då väldokumenterade ostörda förhållandena. Det är i sammanhanget av stor betydelse att kunna skilja mellan naturliga förändringar av såväl reversibel som irreversibel karaktär och sådana som beror av mänsklig aktivitet.

Monitoringsprogrammets planerade omfattning i Forsmark framgår av avsnitt 4.2.3, tabell 4-1. Tabell B3-1 nedan visar delvis samma information, dock mer strikt indelad i ämnesområden och mer metodinriktad. Av tabellen framgår vilken monitorering som sker i borrhål respektive vilken som är oberoende av borrhål, samt om monitoreringen utförs med kontinuerlig registrering eller i form av intermittenta mät- och provtagningskampanjer. För kontinuerlig registrering kan scanningsfrekvensen variera mycket för olika metoder.

De flesta monitoringsaktiviteterna i tabellen har initierats redan under platsundersökningen, dvs under perioden 2002–2007. Ett undantag är seismisk monitorering i ett lokalt nätverk som planeras installeras i god tid före start av tunneldrivning.

För närvarande finns en seismisk mätstation som tillhör det nationella seismiska nätet, SNSN (*Svenska nationella seismiska nätet*) inom Forsmarks platsundersökningsområde, och en annan station i närområdet (på Gräsö). Med dessa stationer kan låga magnituder av såväl naturlig som inducerad seismisk aktivitet i jordskorpan registreras. Denna del av monitoreringen i Forsmark planeras att vidareutvecklas genom installation av ett lokalt seismiskt nätverk med kapacitet att registrera betydligt lägre magnituder än som är möjligt med stationerna i det nationella nätet, se vidare avsnitten 4.2.3 och 7.3.8. Ett av syftena med seismisk monitorering är att bedöma de seismiska påfrestningar som slutförvaret kan komma att utsättas för. Monitoreringen möjliggör även att effekterna av sprängningar i termer av spänningsomlagring kan studeras. Förutom att en databas byggs upp över jordskalv, kan mätdata således analyseras och ge bidrag till förståelse av närzonsbergets respons på tunneldrivningen, vilket även ökar kunskapen om spänningsfältets egenskaper.

**Tabell B3-1. Monitoringsprogrammets planerade omfattning i detaljundersökningsprogrammet – metodöversikt.**

Ämnesområde	Monitering i borrhål	Övrig monitering	Metodik
<b>Geologi/Geofysik</b>	3) Seismisk monitering inom ett lokalt seismiskt nätverk.	1) Monitering av horisontella rörelser i jordskorpan. 2) Seismisk monitering inom det nationella seismiska nätverket (SNSN).	1) Kontinuerlig registrering med hjälp av GPS-mottagare av rörelser vid sju markbase-rade, termiskt och fysikaliskt stabila mätstationer. 2) Registrering av naturlig och inducerad seismisk aktivitet ner till magnitud ca 0,0. 3) Registrering av naturlig och inducerad seismisk aktivitet med lägre magnituder än som kan uppnås med det nationella nätet.
<b>Meteorologi</b>		1) Monitering av väderparametrar – nederbörd – lufttemperatur – barometriskt tryck – vindhastighet – vindriktning – luftfuktighet – globalstrålning. 2) Monitering av snödjup, vatteninnehåll i snö samt tid för isläggning/islossning.	1) Kontinuerlig registrering med tät scanningsfrekvens av alla parametrar utom nederbörd. För nederbörd gäller den ackumulerade summan av nederbörd för varje halvtimme. 2) Snö- och ismätningar utförs manuellt.
<b>Hydrologi</b>		1) Monitering av ytvattennivåer inklusive havsnivån i Östersjön. 2) Monitering av ytvattenavrinning, EC (elektrisk ledningsförmåga) och temperatur i ytvatten.	1) Kontinuerlig registrering vid ett antal mätstationer. 2) Kontinuerlig registrering vid ett antal mätstationer. Avrinningsmoniteringen utförs med hjälp av två mätrännor per station.
<b>Hydrogeologi</b>	1) Monitering av gv-nivåer i kvartära lager. 2) Monitering av gv-tryck i berggrunden. 3) Monitering av inläckage till deponeringshål.	4) Monitering av grundvatteninflöde till anläggningen och av grundvattnets elektriska konduktivitet vid t ex: – punktläckage – inläckage i tunnlar/tunnelavsnitt – inläckage till hela anläggningen.	1) Kontinuerlig registrering av grundvattennivåer och -tryck i ett större antal jordror. 2) Kontinuerlig registrering av grundvattennivåer och -tryck på olika djup ner till ca 1 000 m i ett större antal kärn- och hammarborrhål borrade från markytan samt, när tunneldrivning startar, ett över tiden varierande antal underjordsborrhål. 3) Metodutveckling krävs. 4) Metodik sannolikt liknande den som tillämpats i Äspölaboratoriet med mätvallar och tillhörande mätsystem.
<b>Hydrogeokemi</b>	1) Monitering av vattnets kemiska sammansättning i kvartära lager. 2) Monitering av vattnets kemiska sammansättning i djupt grundvatten.	3) Monitering av nederbördens kemiska sammansättning. 4) Monitering av ytvattnets kemiska sammansättning.	1) Återkommande provtagningskampanjer i ett 20-tal jordborrhål och privata brunnar. 2) Återkommande provtagningskampanjer i ett större antal kärn- och hammarborrhål samt, när tunneldrivning startar, ett över tiden varierande antal underjordsborrhål. 3) Återkommande provtagningskampanjer vid en mätstation. 4) Återkommande provtagningskampanjer vid ett antal mätpunkter i sjöar, havsvikar och ytvattendrag.

Ämnesområde	Monitering i borrhål	Övrig monitering	Metodik
<b>Bergets transportegenskaper</b>	Monitering av grundvattenflöde under naturligt och stort tillstånd.		Återkommande mätkampanjer i ett större antal kärn- och hammarborrhål borrade från markytan, samt, efter start av tunneldrivning, eventuellt även i några underjordsborrhål.
<b>Ytekologi</b>	1) Monitering av hydrogeokemiska parametrar i kvartära lager med inriktning på för ytsystemet viktiga kemiska parametrar, t ex närsalter.	2) Monitering av hydrokemiska parametrar i ytvatten med inriktning på för ytsystemet viktiga kemiska parametrar, t ex närsalter. 3) Monitering av fågelfauna. 4) Monitering av älgstammens demografi och reproduktion	1) Återkommande provtagningskampanjer i ett större antal jordborrhål. 2) Återkommande provtagningskampanjer vid ett antal mätpunkter i sjöar, havsvikar och ytvattendrag. 3) Årlig inventering. 4) Årlig inventering.

### B3.13 Geodetiska metoder

Under detaljundersökningarna kommer tusentals fysiska objekt och datapunkter i tunnlar och borrhål att mätas in och koordinatbestämmas. Dessutom kommer en stor mängd lägesbestämningar för relationshandlingar och byggaktiviteter att utföras. Det är mycket viktigt att dessa tredimensionella koordinatbestämningar utförs med hög precision, eftersom de konceptuella geovetenskapliga modellernas kvalitet är starkt beroende av att ingående datapunkters lägen är korrekt angivna. De geodetiska metoder som appliceras för detta ändamål och de instrument som ska användas måste uppfylla de kravspecifikationer som SKB kommer att specificera. Tre huvudaktiviteter där geodetisk metodik tillämpas kommer att vara aktuella:

- 1) Inmätning och avvägning av fysiska objekt av typen borrhålsavslut med foderrörsuppstick, mätöverfall, dubbar för konvergensmätning etc.
- 2) Fotogrammetrisk dokumentation av deponeringshål och bergrum.
- 3) Krökningsmätning av borrhål (vilket i vid bemärkelse kan hänföras till geodetisk metodik, även om metoderna för detta i avsnitt B3.3 behandlades under rubriken "Borrhålsundersökningar i anslutning till borring").

Punkt 2 avser i första hand inmätning för kontroll av att givna geometriska specifikationer för deponeringshål (volym, diameter, rakhet, mm) och för tunnlar (volym, tvärsnittsareor, bergutfall) har uppfyllts, för att bentonitbuffert respektive återfyllnad ska kunna fullgöra sin givna barriärfunktion (se bilaga 1). Mätmetoder kan bygga på totalstation eller laser.

Det är av stor betydelse att ett rationellt system upprättas för benämning av borrhål, mätvallar och alla övriga punkter och profiler som kommer att mätas in och koordinatbestämmas, i enlighet med de databasstrukturer som planeras.

En aspekt som bör nämnas i detta sammanhang är att det i Sverige för närvarande pågår ett byte av de nationella plan- och höjdsystemen. De tidigare systemen, RT 90 för planangivelser och RHB 70 för höjdangivelser, som tillämpades av SKB under platsundersökningarna, ska generellt bytas mot SWEREF 99 respektive RH 2000. Även SKB har för avsikt att växla över till de nya systemen. I detta sammanhang måste alla koordinater som bestämts i de gamla systemen under platsundersökningarna transformeras till de nya systemen. Detta är ett omfattande arbete som bör inledas snarast. SKB har därför initierat en förstudie med syfte att analysera hur aktiviteten lämpligast kan genomföras.

### B3.14 Referenser

Publikationer utgivna av SKB (Svensk Kärnbränslehantering AB) kan hämtas på [www.skb.se/publikationer](http://www.skb.se/publikationer).

**Almén K-E, Stenberg L, 2005.** Äspö Hard Rock Laboratory. Characterisation methods and instruments. Experiences from the construction phase. SKB TR-05-11, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Almén K-E, Zellman O, 1991.** Äspö Hard Rock Laboratory. Field investigation methodology and instruments used in the pre-investigation phase, 1986–1990. SKB TR 91-21, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Andersson P, Byegård J, Dershowitz B, Doe T, Hermanson J, Meier P, Tullborg E-L, Winberg A (ed), 2002.** Final report of the TRUE Block Scale project. 1. Characterisation and model development. SKB TR-02-13, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Ask D, Ask M V S, 2007.** Detection of potential borehole breakouts in boreholes KFM01A and KFM01B. Forsmark site investigation. SKB P-07-235, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Ask H, Morosini M, Samuelsson L-E, Ekström L, Håkansson N, 2006.** Drilling of cored boreholes KLX07A and KLX07B. Oskarshamn site investigation. SKB P-06-14, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Claesson L-Å, Nilsson G, Ullberg A, 2006.** Drilling of borehole KFM01C and the telescopic borehole KFM01D at drill site DS1. Forsmark site investigation. SKB P-06-173, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Falk L, Sandberg E, Olsson O, Forslund O, Lundmark L, 1989.** A directional antenna for borehole radar. In: Proceedings of the 3rd NEA/SKB Symposium on in situ experiments associated with the disposal of radioactive waste: International Stripa Project, Stockholm, 3–4 October 1989. Paris: Nuclear Energy Agency, OECD.

**Munier R, Stigsson M, 2007.** Implementation of uncertainties in borehole geometries and geological orientation data in Sicada. SKB R-07-19, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Nilsson G, 2009.** Drilling of the cored borehole KFR105. Site investigation SFR. SKB P-09-41, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Sandberg E, Olsson O, Falk L, 1991.** Combined interpretation of fracture zones in crystalline rock using single-hole, crosshole tomography and directional borehole-radar data. *The Log Analyst*, 32, pp 108–119.

**SKB, 2001.** Platsundersökningar. Undersökningsmetoder och generellt genomförandeprogram. SKB R-01-10, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**SKB, 2007.** Programme for long-term observations of geosphere and biosphere after completed site investigations. Forsmark site investigation. SKB R-07-34, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**SKB, 2008.** Confidence assessment. Site descriptive modelling, SDM-Site Forsmark. SKB R-08-82, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Winberg A, Andersson P, Hermanson J, Byegård J, Cvetkovic V, Birgersson L, 2000.** Äspö Hard Rock Laboratory. Final report of the first stage of the tracer retention understanding experiments. SKB TR-00-07, Svensk Kärnbränslehantering AB.