

Rapport

R-16-10

December 2016



Detaljundersökningsprogram vid uppförande och drift av Kärnbränsleförvaret

SVENSK KÄRNBRÄNSLEHANTERING AB

SWEDISH NUCLEAR FUEL
AND WASTE MANAGEMENT CO

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

SVENSK KÄRNBRÄNSLEHANTERING

ISSN 1402-3091

SKB R-16-10

ID 1487522

December 2016

Uppdaterad 2023-09

Detaljundersökningsprogram vid uppförande och drift av Kärnbränsleförvaret

Svensk Kärnbränslehantering AB

Nyckelord: Detaljundersökningar, Undersökningar, Modellering, Monitering, Krav, Konstruktionsförutsättningar, Kärnbränsleförvaret, Uppförande, Drift, Deponering.

En pdf-version av rapporten kan laddas ner från www.skb.se.

© 2016 Svensk Kärnbränslehantering AB

Uppdateringsmeddelande

Den ursprungliga rapporten, daterad september 2018, visade sig innehålla både sak- och redaktionella fel som har korrigerats i denna uppdaterade version. De korrigerade sakfelen presenteras nedan.

Uppdaterad 2023-09

Plats	Ursprunglig text	Korrigerad text
Sid 26, stycke 4, sista meningen	Test av metoder och metodik för identifiering och kvantifiering av kritiska strukturer av klass 3 har genomförts på Äspö (SKB 2017).	Mening borttagen.
Sid 88, referens SKB 2017	Felaktig referens.	Referens borttagen.
Sid 90, sista stycket, sista meningen	... genomförts på Äspö (SKB 2017).	... genomförts på Äspö.

Förord

Sedan ramprogrammet för detaljundersökningar vid uppförande och drift av Kärnbränsleförvaret (SKB 2010a) publicerades har arbetet med referensutformning av anläggningen i Forsmark fortsatt, liksom arbetet med uppdatering av konstruktionsförutsättningar avseende säkerhet efter förslutning.

Denna rapport är en uppdatering av detaljundersökningsprogrammet utifrån den teknikutveckling som SKB hittills har genomfört inom undersöknings- och bergbyggnadsteknik. I detta ligger bland annat erfarenheter från den utbyggnad av Äspölaboratoriet som gjordes 2012–2013 (Johansson et al. 2015) och erfarenheter från Posivas undersökningar vid uppförandet av berganläggningen i Olkiluoto (Posiva 2012a, McEwen et al. 2012). Detaljundersökningsprogrammet är formulerat på en övergripande nivå och syftar till att ge en helhetsbild av de detaljundersökningar som behövs under olika skeden av Kärnbränsleförvarets uppförande och drift.

Detaljundersökningarna har flera syften. De ska ge den information som behövs för framdriften av bergarbeten samt bidra till en ökad kunskap om förhållanden av betydelse för analysen av säkerhet efter förslutning. Under uppförandet av Kärnbränsleförvaret, och i ännu högre grad under driftskedet när deponeringstunnlar successivt byggs ut, kommer en viktig uppgift vara att anpassa anläggningen till rådande bergförhållanden så att de krav som är kopplade till förvarets kärntekniska säkerhet (konstruktionsförutsättningar) kommer att uppfyllas. Insamlade data och uppdaterade modeller som beskriver berggrunden ger dessutom det samlade underlaget till förnyade analyser av säkerhet efter förslutning.

Arbetet är ett resultat av SKBs projekt Detum-1. Ett särskilt tack riktas till författarna till rapporten Karl-Erik Almén (Kea Geo-Konsult AB), Kaj Ahlbom (SKB International) och Anders Winberg (Conterra AB).

Stockholm, december 2016
Emmeli Winter, Beställare

Sammanfattning

Ett ramprogram för detaljundersökningar vid uppförande och drift av slutförvar för använt kärnbränsle publicerades 2010. Sedan dess har säkerhetsanalysen SR-Site publicerats och systemprojektering av Kärnbränsleförvaret genomförts, liksom en uppdatering av konstruktionsförutsättningar avseende säkerhet efter förslutning. Vidare har utveckling av metoder, modelleringsmetodik och datasystem för detaljundersökningar initierats. Detta har sammantaget motiverat en uppdatering av detaljundersökningsprogrammet.

Syftet med rapporten är:

- Att presentera vilka informationsbehov som projektering/bergarbeten samt säkerhetsanalyser har,
- Att på en översiktlig nivå beskriva de undersökningar som krävs för att tillhandahålla det underlag som projektering/bergarbeten samt säkerhetsanalys behöver,
- Att beskriva strategier för modelleringsarbetet under uppförande och drift.

Beskrivningen av detaljundersökningarna är uppdelad på tillfarter, centralområde, området för integrationstester och samfunktionsprovning samt deponeringsområden. Uppdelningen är gjord för att underlätta beskrivningen av aktiviteter med tillhörande undersökningar under uppförandet av olika anläggningsdelar.

Rapporten beskriver också översiktligt den monitorering som pågår i borrhål från markytan samt tillkommande monitorering under jord. Monitoreringen anpassas till de behov som projektering/berguttag och säkerhetsanalys har samt för kontroll och uppföljning av hur verksamheten påverkar den yttre miljön.

Programmet är på en övergripande nivå och syftar till att ge en helhetsbild över de undersökningar som behövs under olika skeden av slutförvarets uppförande och drift. Operativa program kommer att tas fram som mer detaljerat beskriver undersökningarna i samband med utbyggnad av olika anläggningsdelar. En grundläggande förutsättning är att mätningar kopplade till säkerhet efter förslutning ges tillräcklig tid och tillräcklig hög prioritet i samband med konstruktionsarbeten i berget.

Programmet beskriver också översiktligt den modellering som kommer att genomföras integrerat som en del av detaljundersökningarna. Innan uppförandet av tillfarter påbörjas kommer en anläggningsdelmodell för tillfartsområdet tas fram och prognos upprättas för partier som kan vara behäftade med stabilitetsproblem och/eller stora inflöden. Under uppförandet uppdateras de geologiska och hydrogeologiska modellerna regelbundet medan modelleringar av hydrogeokemiska, bergmekaniska och termiska förhållanden samt bergets transportegenskaper görs mer sällan. Kompletterande bergspänningsmätningar genomförs under uppförandet av tillfarter och stäms av mot anläggningsdelmodellen för verifiering av förvarsdjup. Vid några tydliga milstolpar görs en samlad redovisning där alla ämnesområden modelleras, integreras och rapporteras.

Vissa aktiviteter kan komma att kräva särskilda modelleringsinsatser. Exempel på detta är analys av förekomst, egenskaper och rumslig utbredning av de underordnade bergarterna amfibolit och episyenit (porös granit) samt deras betydelse för termiska förhållanden respektive grundvattenflöde och radionuklidtransport. Andra exempel är identifiering och klassning av kritiska strukturer, geometrier och egenskaper hos deformationszoner och spricknätverket (DFN) samt orientering och magnituder hos bergspänningar.

Under utbyggnaden av deponeringsområden sker modellering kontinuerligt i tunnel- och anläggningsdelskala. Inledningsvis kommer fokus vara på layoutstyrande strukturer som, där de förekommer, ger underlag för avgränsning av förvarsområdet och tillhörande deponeringsområden. Därefter följer modellering som ger underlag för anpassning av deponeringstunnlars läge och orientering i relation till lokala förhållanden i berggrunden för att avslutas med modellering för att påvisa uppfyllelse av konstruktionsförutsättningar för val av läge och godkännande av deponeringshål för deponering.

En mer omfattande uppdatering av den platsbeskrivande modellen, från SDM-Site till SDM-SAR kommer att göras mot slutet av uppförandeskedet och utgör underlag för den säkerhetsredovisning (SAR) som i sin tur kommer att utgöra underlag för ansökan om provdrift.

Summary

A framework programme for detailed site investigations was published by SKB in 2010. Since then, a number of key activities have been completed and published, including the safety case SR-Site, the system design of the spent fuel repository, as well as an update of technical design requirements related to safety after closure. Furthermore, development work has been initiated related to characterization methods, modelling methodology and computer systems for detailed site investigations. These advances have collectively motivated an update of the programme for detailed site investigations during repository construction and operation.

The objectives of the current report are:

- to present the information and data needs of repository engineering (design and construction) and safety assessment.
- to present an overview of the investigations to be conducted during construction and operation to meet the identified information needs.
- to present strategies for site-descriptive modelling during construction and operation.

The description of the detailed site investigations is made for repository accesses, the central area, the area for integration and co-functional tests and the individual deposition areas, respectively. This subdivision has been introduced to facilitate easy description and navigation amongst the investigation activities related to development of the various parts of the repository.

The report also presents an overview of the presently ongoing monitoring in boreholes drilled from the ground surface and the identified needs for additional monitoring in boreholes and tunnels during construction and operation. The monitoring is successively adapted to furnish the information required by repository engineering, safety assessment and for control and follow-up of how the repository activities affect the environment.

The programme is devised to provide a holistic overview of the various investigations and modelling activities required during the various stages of construction and operation of the spent fuel repository. Detailed operational programmes will be presented prior to start of construction of different parts of the repository facility. A general prerequisite is that investigations needed to assess post-closure safety have priority and are allotted the time needed in conjunction with construction activities.

The programme also presents an overview of the modelling that will be made as an integrated part of the investigations. A facility part scale model will be presented prior to start of construction of the repository accesses (access ramp and shafts) based on which prognoses will be made, identifying parts in the bedrock where stability problems and/or high groundwater inflows can be expected. During construction, the geological and hydrogeological models are updated jointly at regular intervals, while updates of hydrogeochemical, rock mechanics, and bedrock thermal and transport properties are made less frequently. Complementary rock stress measurements are performed during construction of the accesses and are corroborated relative to the facility part model for verification of repository depth. At defined milestones during construction, an update of the fully integrated site descriptive model (SDM) will be made, including all geoscientific disciplines.

Certain activities may demand special attention in the modelling. This may e.g. include analysis of the occurrence, properties and extent of the subordinate rock types amphibolite and episyenite, and their significance for bedrock thermal conditions and groundwater flow and transport conditions, respectively. Other aspects of importance include the identification and classification of “critical structures”, geometries and properties of deformation zones and the discrete fracture network (DFN), and the orientation and magnitudes of rock stresses.

During the successive development of the deposition areas, modelling is carried out continuously, employing tunnel scale and facility parts scale models. Initially, the modelling will focus on structures that define the boundaries of the deposition area being considered. This is followed by modelling for adaptation of deposition tunnels to local bedrock conditions and modelling for demonstrating compliance with technical design requirements and modelling in support of approval of deposition holes for deposition.

At the defined end of the repository construction phase a major update is made of the current site descriptive model (SDM-Site) to the version SDM-SAR, which will define the basis for the safety assessment (SAR) that constitutes the backbone in the application to obtain permit for commencing trial operation.

Innehåll

1	Introduktion	11
1.1	Bakgrund	11
1.2	Rapportens syfte och förutsättningar	12
1.3	Operativa detaljundersökningsprogram	13
2	Utformning och uppförande av undermarksanläggningen	15
2.1	Inledning	15
2.2	Anläggningens utformning	15
2.2.1	Allmänt	15
2.2.2	Tillfarter	16
2.2.3	Centralområde	17
2.2.4	Förvarsområde	17
2.3	Utbyggnad av förvarsområde	18
2.4	Metoder för berguttag	19
3	Informationsbehov som detaljundersökningarna behöver uppfylla	23
3.1	Informationsbehov för platsmodell och underlag till uppdaterade säkerhetsanalyser	23
3.2	Informationsbehov för anpassning av förvaret till gällande konstruktionsförutsättningar för säkerhet efter förslutning	24
3.3	Informationsbehov för projektering, bergarbeten och drift	28
3.4	Informationsbehov för miljökontroll	29
3.5	Kärnämneskontroll	29
3.6	Sammanfattning av informationsbehov	29
3.7	Kvalitetssäkring	30
4	Detaljundersökningar vid uppförande av tillfarter	33
4.1	Anläggningsdelar	33
4.2	Informationsbehov	33
4.3	Aktiviteter	34
5	Detaljundersökningar vid uppförande av centralområde	43
5.1	Anläggningsdelar	43
5.2	Informationsbehov	43
5.3	Aktiviteter	44
6	Detaljundersökningar vid integrationstester och samfunktionsprovning samt avgränsning av första deponeringsområdet	49
6.1	Anläggningsdelar	49
6.2	Informationsbehov	50
6.3	Aktiviteter	51
6.3.1	Integrationstest för utbyggnad	51
6.3.2	Avgränsning av första deponeringsområdet	60
7	Detaljundersökningar vid utbyggnad av deponeringsområden	63
7.1	Anläggningsdelar	63
7.2	Informationsbehov	64
7.3	Beslutssekvens vid utbyggnad av deponeringsområde	65
7.4	Aktiviteter	68
8	Modellering	79
8.1	Modelleringsskalor och modelleringsprocesser	80
8.2	Modellering under uppförandet	83
8.3	Modellering under utbyggnad av deponeringsområden	84
8.4	Modellering för SDM-SAR	84
	Referenser	87
	Bilaga	89

1 Introduktion

Ramprogram för detaljundersökningar vid uppförande och drift av slutförvar för använt kärnbränsle (SKB 2010a) publicerades 2010. Sedan ramprogrammet publicerades har arbetet med systemprojektering av slutförvarsanläggningen i Forsmark fortsatt, liksom arbetet med uppdatering av konstruktionsförutsättningar avseende säkerhet efter förslutning. Denna uppdatering fokuserar på informationsbehov för projektering och bergarbeten samt för säkerhet under drift och efter förslutning. Baserat på informationsbehoven presenteras i detta program de undersökningar som krävs i samband med uppförande och drift av slutförvaret. En grundläggande förutsättning för programmet är att mätningar kopplade till långsiktig säkerhet ges tillräcklig tid och tillräcklig hög prioritet i samband med konstruktionsarbeten i berget.

Programmet är beskrivet på en övergripande nivå och syftar till att ge en helhetsbild över de undersökningar som behövs under olika skeden av slutförvarets uppförande och drift. I samverkan med detaljprojektering kommer operativa program att tas fram som mer detaljerat beskriver undersökningar och modellering i samband med uppförande och utbyggnad av olika anläggningsdelar.

1.1 Bakgrund

Slutförvaret för använt kärnbränsle (Kärnbränsleförvaret) är en kärnteknisk anläggning som ska uppfylla grundläggande krav på berganläggningens stabilitet under uppförande- och driftskedet och på radiologisk säkerhet under driftskede och efter förslutning. Emedan det första kravet i första hand kopplar till byggnadstekniska, miljömässiga och arbetarskyddsaspekter är det den radiologiska säkerheten som är det unika för slutförvaret och vars uppfyllelse behandlas i säkerhetsanalyser. De krav som avser säkerheten efter förslutning behandlas i de konstruktionsförutsättningar för slutförvaret som SKB har definierat.

Detaljundersökningar genomförs integrerat med bergarbeten vid anläggningens uppförande och under den successiva utbyggnaden av deponeringsområden under driftskedet. Detaljundersökningarna har flera syften. De ska ge den information som bergarbeten behöver för sin framdrift samt bidra till ökad kunskap om förhållanden av betydelse för analys av säkerhet efter förslutning.

Under uppförandeskedet, och i ännu högre grad under driftskedet när deponeringstunnlar successivt byggs ut, kommer en viktig uppgift för detaljundersökningarna vara att ge det underlag som behövs för att anpassa anläggningen till rådande bergförhållanden så att konstruktionsförutsättningar för säkerhet efter förslutning blir uppfyllda. Insamlade data och uppdaterade modeller ska dessutom ge underlag till förnyade säkerhetsanalyser. Detaljundersökningar ska även täcka det informationsbehov som finns för den fortsatta bedömningen av verksamhetens miljöpåverkan samt för uppföljning och kontroll av denna påverkan.

Uppdateringen av detaljundersökningsprogrammet har beaktat den teknikutveckling som SKB hittills har genomfört inom undersöknings- och bergbyggnadsteknik. I detta ligger bland annat erfarenheter från den utbyggnad av Äspölaboratoriet som gjordes 2012–2013 (Johansson et al. 2015) samt, som en del av det pågående samarbetet med Posiva, erfarenheter från Posivas undersökningar vid uppförandet av berganläggningen i Olkiluoto (Posiva 2012a, McEwen et al. 2012). Erfarenheter från tillämpning av undersökningsmetoder under Äspölaboratoriets uppförande finns beskrivna i Almén och Stenberg (2005).

Utvecklingen av detaljundersökningsteknik och modellering kommer att fortsätta och på sikt fokusera mer på genomförandet i deponeringsområdena. De väsentligaste uppgifterna är att ge detaljerat underlag för beslut om lägen för deponeringstunnlar och deponeringshål, för byggande och tillredning av dessa så att konstruktionsförutsättningarna blir uppfyllda och för att dokumentera initialtillståndet för bergutrymmena vid deponering.

Rapporten utgör underlag för SKB:s produktionsrapport för bergutrymmen. Produktionsrapporten redovisar hur de olika bergutrymmena i förvaret ska utformas, uppföras och undersökas för att verifiera uppfyllandet av konstruktionsförutsättningarna samt för att ge den information om bergets

egenskaper som behövs för kommande analyser av säkerhet efter förslutning. Produktionsrapporten för bergutrymmen utgör i sin tur en referens både till en preliminär säkerhetsredovisning, PSAR, för Kärnbränsleförvarets driftskede och efter förslutning samt till en redovisning av hanteringen av säkerhetsrelaterade frågor under uppförandeskedet innan start av provdrift, Suus. Båda dessa redovisningar ska godkännas av SSM innan uppförandet av Kärnbränsleförvaret kan påbörjas.

Den grundläggande geovetenskapliga beskrivningen av platsen (Forsmark) ges av den platsbeskrivande modellen SDM-Site (SKB 2008). Baserat på SDM-Site har Site Engineering Report (SKB 2009c) tagits fram som ett av underlagen för projekteringen av slutförvarsanläggningen (SKB 2009b). Platsbeskrivningen och anläggningsbeskrivningen utgör i sin tur viktiga underlag för analysen av säkerheten efter förslutning, SR-Site (SKB 2011).

En detaljerad beskrivning av de samlade undersökningar och geovetenskapliga modellering som genomförts inom ramen för platsundersökningarna i Forsmark redovisas av Andersson et al. (2013) samt i populär form i SKB (2009d). Detaljerade beskrivningar av den geologiska modelleringen ges av Stephens och Simeonov (2015) samt Stephens et al. (2015) medan hydrogeologisk och hydrogeokemisk modellering till grund för säkerhetsanalysen beskrivs av Selroos och Follin (2014) respektive Gascoyne och Laaksoharju (2008).

1.2 Rapportens syfte och förutsättningar

Syftet med rapporten är:

- Att presentera vilka informationsbehov som projektering/bergarbeten samt säkerhetsanalyser har. Med säkerhetsanalyser avses såväl säkerhet under uppförande och drift som säkerhet efter förslutning.
- Att på en översiktlig nivå beskriva de undersökningar som krävs för att tillhandahålla det underlag som projektering/bergarbeten samt säkerhetsanalys behöver.
- Att beskriva strategier för modelleringsarbetet under uppförande och drift.

Rapporten beskriver också översiktligt den monitorering som pågår i borrhål från markytan samt tillkommande monitorering under jord. Monitoreringen anpassas till de behov som projektering/berguttag och säkerhetsanalys har samt för kontroll och uppföljning av hur verksamheten påverkar den yttre miljön. Rapporten behandlar inte monitorering av biosfär.

En viktig förutsättning för detaljundersökningsprogrammet är att det utgår från nu gällande konstruktionsförutsättningar (krav kopplade till säkerhet efter förslutning) och aktuell utformning för slutförvaret. Om dessa förutsättningar revideras kan också programmet behöva revideras. Alternativt beaktas de förändrade förutsättningarna vid upprättandet av de operativa detaljundersökningsprogrammen. Även den teknikutveckling som pågår kan medföra att strategier, metoder och instrument för detaljundersökningarna successivt förändras under den långa tidsperiod som slutförvaret kommer att uppföras och vara i drift.

Behovet av undersökningar är delvis styrda av de osäkerheter som redovisats i SDM-Site (SKB 2008), SKB (2009b) och SR-site (SKB 2011) och som bedömts viktiga för säkerhetsanalys, projektering och berguttag samt för miljökontroll. I SDM-Site finns beskrivningar och förklaringar till olika geovetenskapliga begrepp som förekommer i denna rapport.

I denna rapport beskrivs detaljundersökningarna uppdelat på tillfarter, centralområde, området för integrationstester och samfunktionsprovning samt deponeringsområden. Uppdelningen är gjord för att underlätta beskrivningen av aktiviteter med tillhörande undersökningar under uppförandet av de olika anläggningsdelarna. I praktiken sker uppförande av dessa anläggningsdelar delvis parallellt. Exempelvis startar uppförandet av centralområdet när skipschaktet nått förvarsnivån, vilket sker innan rampen nått detta djup. För modellering innebär det att hela uppförandeskedet behöver hanteras samlat i en integrerad modell som uppdateras med undersökningsresultat från berörda anläggningsdelar.

1.3 Operativa detaljundersökningsprogram

Det övergripande syftet med denna rapport är att ge en helhetsbild av vilka detaljundersökningar som behövs under slutförvarets uppförande och drift. För mer detaljerade beskrivningar kommer operativa program att upprättas, relaterade till verksamhetsskeden (eller anläggningsdelar) under förvarets uppförande och drift. Lämpligen kan de operativa programmen omfatta tillfarer, centralområde, område för integrationstester och samfunktionsprovning samt specifika deponeringsområden.

De operativa programmen kommer att ha denna rapport som sin utgångspunkt. Programmen ska ge konkret styrning av undersökningar och modellering. Det informationsbehov som översiktligt ges i denna rapport ska i de operativa programmen kompletteras med specifikationer av de parametrar som ska bestämmas. Vidare är det i de operativa programmen som undersökningarnas omfattning och detaljeringsgrad specificeras och koordineras med byggprocessen, bland annat med utgångspunkt från underlag från integrerade processbeskrivningar för detaljundersökningar och byggande. De operativa programmen utvecklas i anslutning till och i samverkan med detaljprojekteringen. De operativa programmen ska ange metoder för undersökningar och modellering och strategier för deras tillämpning, samt tillhörande verktyg och datasystem via styrande metoddokument, instruktioner, förvaltningsdokument, mm.

Genom att de operativa programmen tas fram i nära anslutning till uppförandet av respektive anläggningsdel kan resultat från teknikutveckling, uppdaterade behov från projektering, modellering och säkerhetsanalys samt erfarenheter av undersökningar under tidigare skeden av uppförandet och på andra platser införas när undersökningarna blir aktuella.

2 Utformning och uppförande av undermarksanläggningen

Uppförandet av undermarksanläggningen är en byggprocess som behöver kontinuerlig information för prognoser om injekterings- och förstärkningsbehov. Under driftskedet då deponeringsområden byggs ut och då lägen av deponeringstunnlar och deponeringspositioner bestäms är fokus mer inriktat på att ta fram information som behövs för att anpassa anläggningen till rådande bergförhållanden så att kraven kopplade till slutförvarets kärntekniska säkerhet under drift och efter förslutning kan uppfyllas.

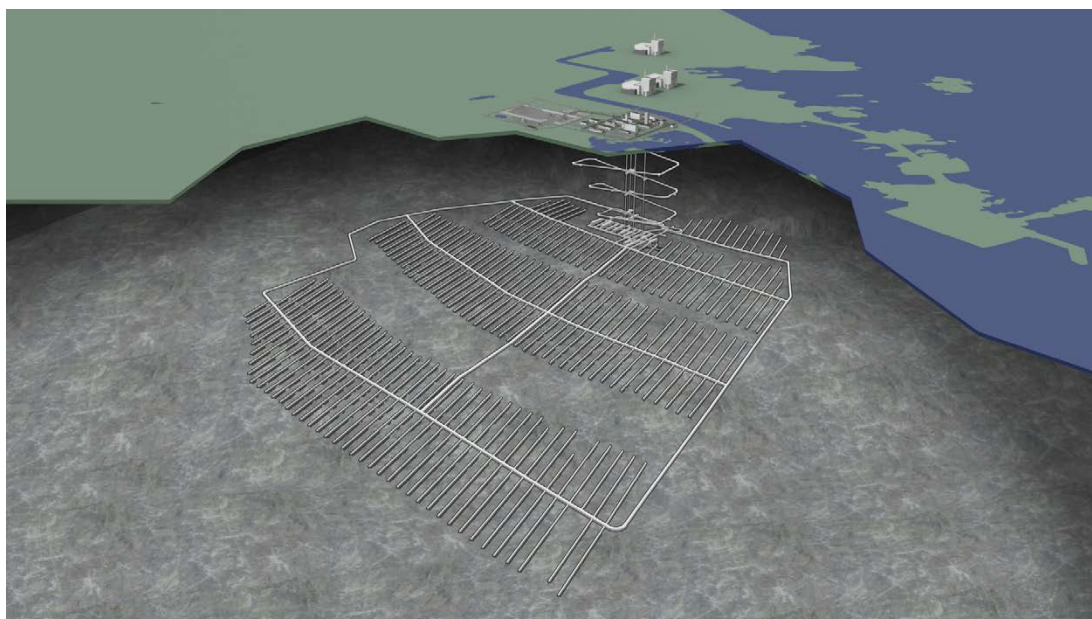
2.1 Inledning

Enligt SKB:s övergripande plan för Kärnbränsleförvaret byggs tillfarter, centralområde, tunnlar för integrationstester och samfunktionsprovning samt tillhörande transport- och stamtunnlar under det så kallade uppförandeskedet. Därefter vidtar driftskedet under vilket deponeringsområden byggs ut steg för steg och deponering av det använda kärnbränslet genomförs. Driftskedet inleds med provdrift efter det att SSM meddelat tillstånd för detta. Efter godkännande från SSM övergår verksamheten i rutinmässig drift.

2.2 Anläggningens utformning

2.2.1 Allmänt

Planerad lokalisering av slutförvarsanläggningen är en plats söder om kylvattenkanalen till Forsmarksverket kallad Söderviken, se figur 2-1. Anläggningen består av en ovanmarksdel och en undermarksdel, vilka förbinds av fyra vertikala schakt och en tillfartstunnel (ramp), se figur 2-2. Rampen och schakten benämns tillsammans tillfarter. Undermarksdelen ligger ca 470 m under markytan och består av centralområdet och förvarsområdet med sina deponeringsområden. Förvarsområdet med tillhörande tunnelsystem är i huvudsak beläget söder och öster om centralområdet.



Figur 2-1. Slutförvarsanläggningen sedd mot nordväst.



Figur 2-2. Delar av slutförvarsanläggning sedd mot norr, utvisande tillfarter (fyra schakt och en ramp) mellan anläggningar ovan jord och centralområdet på förvarsdjup.

2.2.2 Tillfarter

Ramp

Rampen som används för transporter av kapslar för använt kärnbränsle är utformad som en utsträckt rektangel med sidorna ca 400 m och 100 m. Rampens totala längd är 4 800 m med 4,5 varv från markytan till förvarsnivån på 470 m djup. Rampens medellutning är 10 %.

Rampinfarten är placerad i nedfartsbyggnaden. Fram till tunnelpåslaget består rampen av en konstruktion i betong. Därunder byggs rampen genom borrhning/sprängning, med mått givna i tabell 2-1. Förutom på förvarsnivån ansluter rampen till hiss-, tilluft- och frånluftsschakten på fyra nivåer och till skipschaktet på två nivåer.

Körbanan lutar i tvärled så att inläckande grundvatten rinner ner i dränagediken. Via avskärande rännor samlas vattnet och leds till pumpgropar placerade i förbindelsetunnlarna mellan ramp och hisschakt. Därifrån pumpas dränagevattnet upp till markytan via hisschaktet innan det renas och släpps ut till vattenrecipient. Mötesplatser för fordon planeras vid rampens raksträckor.

Skipschakt

Skipschaktet används för transport av bergmassor, buffert- och återfyllnadsmaterial och inrymmer även kablage för elmatning till centralområde och förvarsområde.

Skipschaktet byggs som sänkschakt med cirkulärt tvärsnitt, dvs från markytan och neråt med mått givna i tabell 2-1. Dess botten ligger ca 535 m under markytan där det ansluter till berglaststationens nedre delar. Nedersta delen av skipschaktet utgör uppsamlingsmagasin för dränagevattnet vid ett eventuellt elavbrott.

Hiss- och ventilationsschakt

Hisschaktet används för persontransporter och andra lättare transporter. Hissen är även utrymningsväg från centralområdet och insatsväg för räddningstjänsten. De två ventilationsschakten används för tilluft respektive frånluft.

Schakten byggs med tillämpning av stigortsborrning, en metod för drivning av schakt med cirkulär tvärsnittsarea. Borrningen görs steg för steg mellan markytan och en undermarksnivå eller mellan två undermarksnivåer i takt med att rampbygget passerar dessa nivåer. Den stegvisa drivningen av luftschakten medför att det under framdriften finns god tillgång på ventilationsluft.

Tabell 2-1 Geometriska mått för slutförvarets bergutrymmen enligt nuvarande planering, se även figurerna 2-3 och 2-4.

Bergutrymme	Tvärsnitt (bxh)	Längd/djup
Ramp	ca 5,9×6,6 m	4 800 m
Skipschakt	Ø 6,1 m (berguttag) Ø 5,7 m (efter betongförstärkning)	535 m
Hisschakt	Ø 5,5 m (berguttag) Ø 5,1 m (efter betongförstärkning)	490 m
Ventilationsschakt (2 st)	Ø 5,5 m (berguttag) Ø 5,1 m (efter betongförstärkning)	450 m
Centralområdets hallar	ca 15×10 m	40–65 m
Transporttunnlar i centralområdet	ca 8×7,5 m	ca 500 m totalt
Transporttunnlar i förvarsområdet	ca 7×7,6 m	ca 5 km totalt
Stamtunnlar	ca 10×8 m	750–1 100 m, ca 6 km totalt
Deponeringstunnlar (ca 230 st)	ca 4,2×4,8 m	100–300 m, ca 52 km totalt
Deponeringshål	diameter 1,75 m	8 m, ca 6 000 st

2.2.3 Centralområde

Centralområdet, se figur 2-2, innehåller utrymmen för de funktioner och processer som behöver ligga nära förvarsområdet. Dessa är uppdelade i ett antal separata berggrum (hallar). Hallarnas tvärsnitt är i princip likadant utformade, se mått i tabell 2-1. Bergpelaren mellan hallarna varierar från ca 10 till 18 m. Centralområdets areella utsträckning i plan är ca 175×300 m.

Tunnlar runt centralområdet förbinder hallarna med varandra samt med förvarsområdet och rampen.

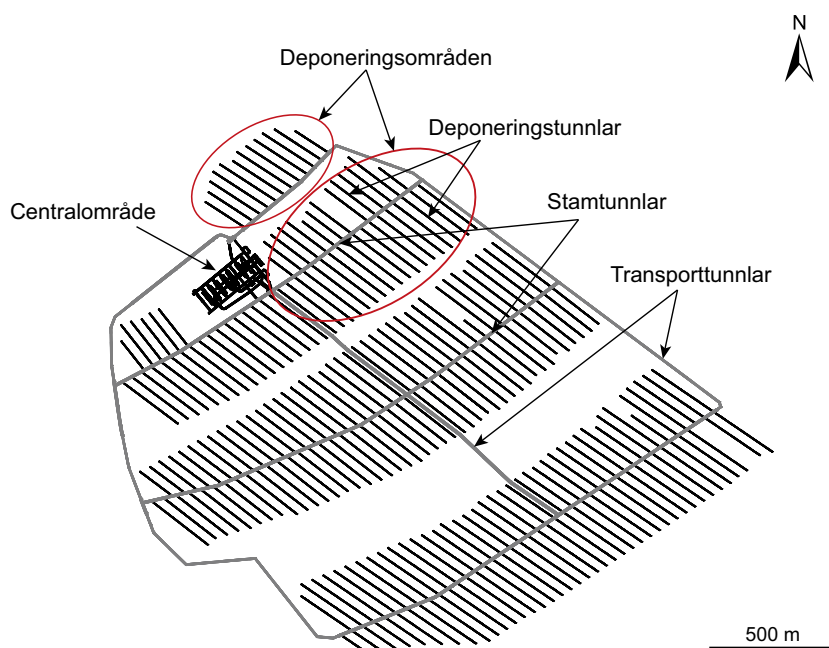
Hallar och tunnlar i centralområdet byggs genom borrning/sprängning. Hallar och tunnlar i centralområdet byggs med en lutning så att de dräneras med självfall mot skipschaktets botten.

2.2.4 Förvarsområde

Förvarsområdet, se figur 2-3, består av ett antal deponeringsområden och sammanbindande transporttunnlar. En central transporttunnel leder från centralområdet och ut i förvarsområdet. Från denna går ett antal stamtunnlar ut åt bägge sidorna. Stamtunnlarnas yttre slutpunkter förbinds med transporttunnlar. Från varje stamtunnel utgår ett antal deponeringstunnlar och utgör tillsammans ett deponeringsområde. Geometriska mått för de olika tunnlar finns i tabell 2-1.

Förvarsområdets areella utsträckning i plan är ca 2×2,5 km. Deponeringstunnlar planeras ha ett inbördes avstånd av ca 40 m.

Samtliga tunnlar i förvarsområdet byggs genom borrning/sprängning. Inläckande grundvatten och bruksvatten från förvarsområdet samlas upp i lokala pumpgropar i stam- och transporttunnlar. Deponeringstunnlarna dräneras med självfall (ca 1:100) mot stamtunnlarna. I deponeringstunnlar borras deponeringshål genom nedåtriktad fullborrning. Hålen har ett inbördes avstånd på ca 6,0 m respektive 6,8 m i de bergdomäner som förekommer i förvarsområdet.



Figur 2-3. Översiktlig layout för förvarsområdet med deponeringsområden samt centralområdet.

2.3 Utbyggnad av förvarsområde

Vid utbyggnaden av förvarsområdet kommer berg- och deponeringsarbeten att genomföras kontinuerligt och separerat från varandra längs en tunnelslinga bestående av två stamtunnlar och förbindande transporttunnlar. Den fysiska separationen sker genom att centralområdet utformas så att berg- och deponeringsprocesserna hålls åtskilda från varandra. Dessutom monteras i stamtunneln en särskilt utformad skiljevägg mellan bergarbets- och deponeringsarbetssida. Skiljeväggen flyttas framåt steg för steg i tunnelslingan, i takt med att tillredningen av deponeringstunnlar och deponeringsshål är klar och deponering kan ta vid. Deponeringstunnlar och övriga tunnlar på deponeringssidan av skiljeväggen utgör kontrollerat utrymme från och med att deponering av den första kapseln påbörjats till och med att alla deponeringstunnlar inom detta utrymme har förslutits.

Innan utbyggnaden enligt ovan inleds ska integrationstester och samfunktionsprovning samt provdrift genomföras i det första deponeringsområdet. Uppförandet av stamtunnlar i den första tunnelslingan utgår från centralområdet. Därefter sprängs mellanliggande yttre transporttunnel ut. Genom undersökningar från stamtunnlarna fastställs deponeringsområdets storlek och därmed läget för transporttunneln.

Den första delen av den första stamtunneln undersöks och lägen för två tunnlar för integrationstester och samfunktionsprovning fastställs, se figur 2-4. Dessa ska användas för att verifiera bergguttags- och deponeringsprocessen och är en del av underlaget för ansökan om provdrift. Även en tredje tunnel för eventuella behov av mer långsiktig demonstration av processer av betydelse för säkerhet efter förslutning kan bli aktuell, se utförligare beskrivning i kapitel 6.

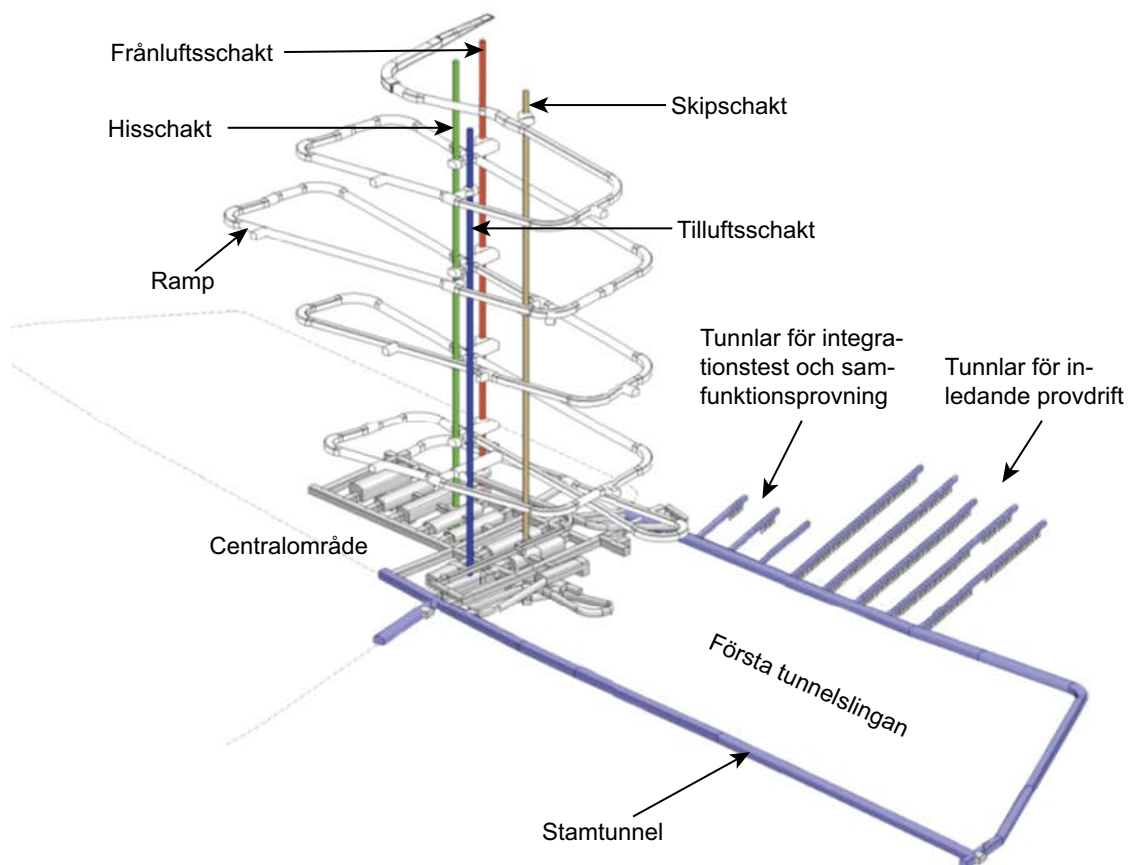
Efter samfunktionsprovning, ansökan och tillstånd från SSM genomförs provdrift i ett antal deponeringstunnlar i det första deponeringsområdet, se figur 2-4. Efter nytt tillstånd från SSM övergår verksamheten sedan till rutinmässig drift med utbyggnad av fler deponeringsområden. Utbyggnaden av varje deponeringsområde inleds med att infrastrukturen i form av en slinga med transport- och stamtunnlar färdigställs. Därefter fastställs successivt lägen för deponeringstunnlar och deponeringsshål.

En viktig uppgift för detaljundersökningar i deponeringsområden är verifiering av bergets egenskaper mellan tunnlar och borrhål med tillhörande kontroll av konstruktionsförutsättnings uppfyllelse. Detta innebär exempelvis att flera pilotborrhål och deponeringstunnlar måste undersökas i paket och detsamma gäller för pilotborrhål och deponeringshål. Detta förutsätter god planering och att tillräckligt god framförhållning ges till detaljundersökningar och bergarbeten innan deponering kan genomföras. Detaljundersökningarnas roll i denna process beskrivs i kapitel 7. Figur 2-5 visar en översikt av sekvenser med olika arbets- och undersökningsmoment som kommer att tillämpas vid utbyggnad av förvarsområdet.

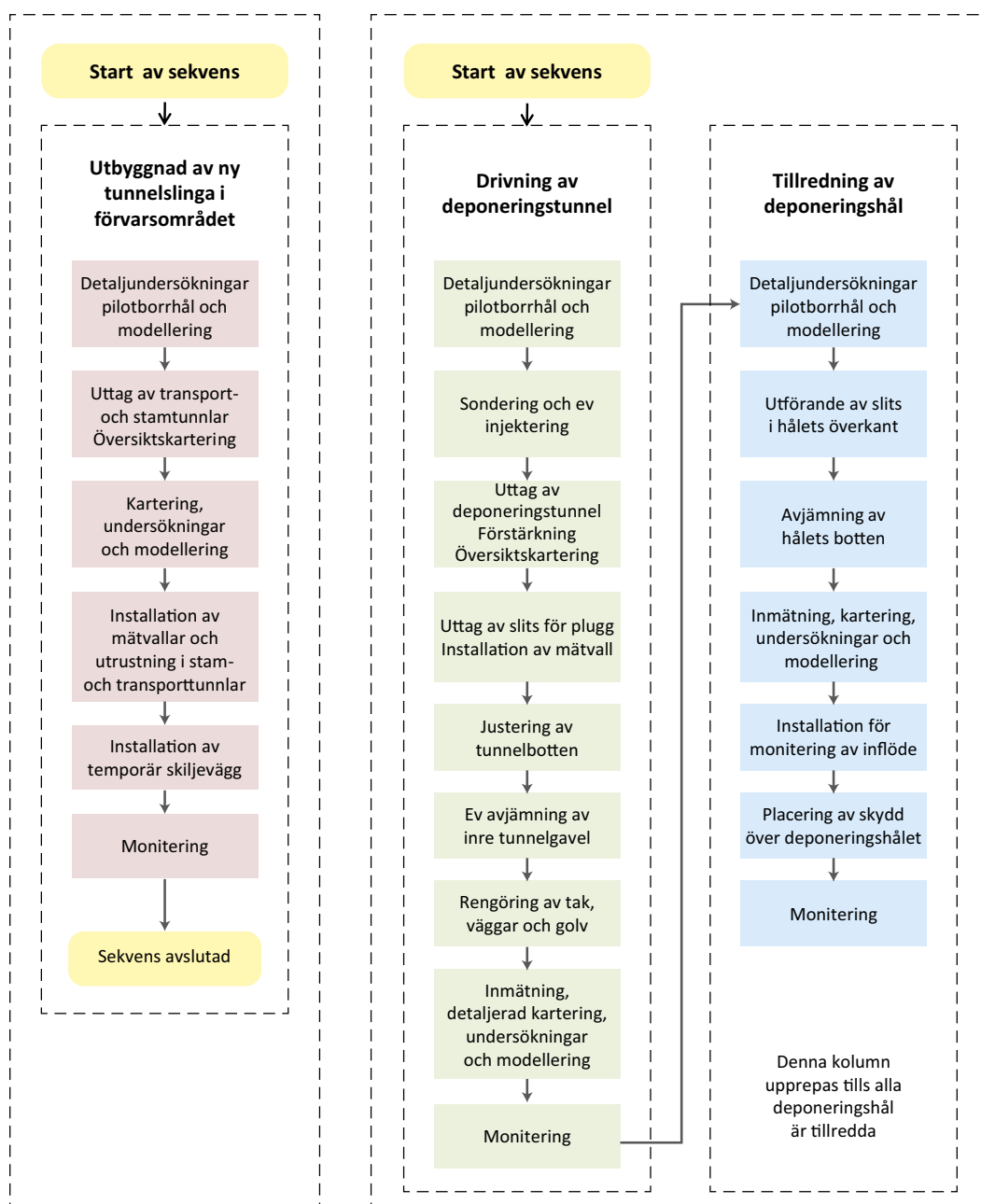
2.4 Metoder för berguttag

Drivning av ramp och sänkning av skipschakt kommer att påbörjas ungefär samtidigt. Skipschaktet når förvarsnivån först och då börjar centralområdet byggas, vilket innebär att delar av centralområdet är uppförda när rampen kommer ner till förvarsnivån.

I tabell 2-2 beskrivs de metoder som avses tillämpas för att skapa bergutrymmen såväl under uppförande som under drift av slutförvarsanläggningen. Ett generellt krav är att metoder för berguttag inte får ge upphov till sådana skador på förvarsberget att dess barriärfunktioner försämras på ett sådant sätt att slutförvarets säkerhet äventyras.



Figur 2-4. Undermarksanläggningens omfattning under provdrift. Tunnlarna för integrationstest och samfunktionsprovning användes inför ansökan om provdrift som underlag för att verifiera berguttags- och deponeringsprocessen.



Figur 2-5. Översikt över arbets- och undersökningsmoment vid utbyggnad av deponeringsområde.

Tabell 2-2. Metoder för berguttag i olika delar av förvaret.

Utrymme i undermarksanläggningen	Metoder för berguttag
Skipschakt	Schaktsänkning, det vill säga stegvis bergschakt från markytan med borring, skonsam sprängning och utlastning.
Övriga schakt	Stigortsborring. Schakten kommer att utföras i etapper allteftersom rampen nått ner till planerade mellanplan. I varje etapp borras ett pilothål ner till det lägre mellanplanet. En stor borkrona (med diameter för schaktet) monteras på borrhången varefter den dras uppåt under rotation.
Ramp	Borring/sprängning, skonsam sprängning.
Centralområdets utrymnen, transport- och stamtunnlar	Borring/sprängning, skonsam sprängning.
Deponeringstunnlar	Borring/sprängning, skonsam sprängning. Avjämning av tunnelgolv.
Deponeringshål	Fullborring.

I tabell 2-2 anges att för schakt och tunnlar gäller skonsam sprängning. Under toppförslutningen¹ gäller konstruktionsförutsättningar för sprängskadезonen (EDZ) kring olika delar av anläggningen.

Tunneldrivning

För alla tunnlar och hallar tillämpas borring/sprängning, en metodik som medger flexibilitet för eventuella ändringar i anläggningsutformningen allteftersom utbyggnaden fortskrider.

Tunneldrivning med borring/sprängning innebär att berguttaget sker i enlighet med den driftcykel som illustreras i figur 2-6. Driftcykeln omfattar 4 till 5 salvor enligt punkterna 2 till 7 nedan. Den föregås av längre pilothålsboring enligt punkt 1:

1. Pilothålsboring (kärnboring med borrhålsundersökningar). Hålet borrar inom teoretisk tunnelkontur. Vid tunneldrivning inom förvarsområdet tillämpas kontinuerlig pilothålsboring. I ramp och centralområde används pilothålsboring selektivt, dels som underlag för framdrifts-prognoser och dels för särskilda undersökningar för långsiktig säkerhet och platsförståelse.
2. Sonderingsboring ger information om bergets beskaffenhet och vattenförande egenskaper för de närmast följande 4 till 5 salvorna. Antalet sonderingshål anpassas till förväntade bergegenskaper.
3. Eventuell förinjektering. Förutom tillkommande injekteringshål används också sonderingshålen för injekteringen. Injekteringshålen behöver inte hållas inom teoretisk tunnelkontur. Injekterade avsnitt där borrhål borrar utanför tunnelkonturen behöver utvärderas utifrån påverkan på återfyllningen och deponeringshål.
4. Salvboring, sprängning, utlastning och driftförstärkning.
5. Bottenavjämning i deponeringstunnlar.
6. Kartering och undersökningar i den utbrutna tunneln. Delas upp i steg med en omedelbar insats vid tunnelfronten och efterföljande kampanjer, med anpassning till byggverksamheten. Olika utförande i olika tunnlar.
7. Permanent bergförstärkning. Olika krav för olika tunnlar bland annat beroende på hur länge de ska stå öppna.

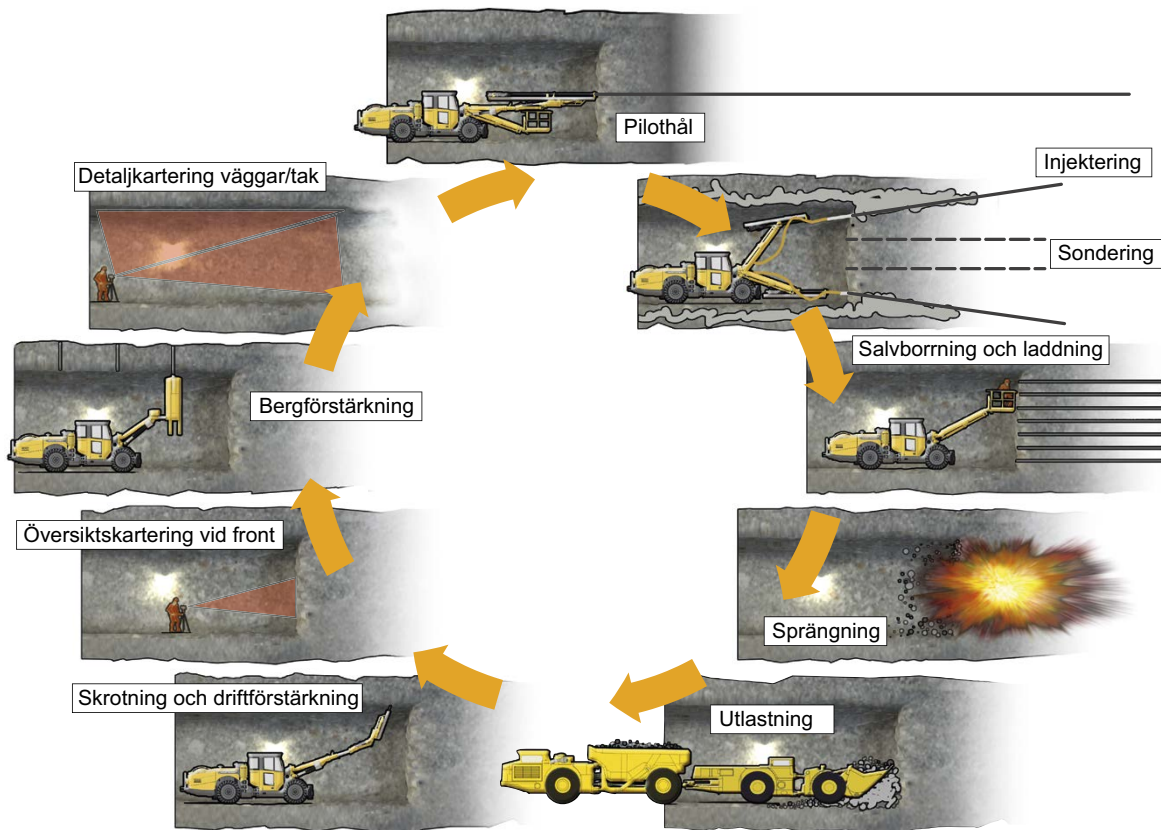
Upprepning av steg 4 till 7 för 3 till 4 salvor. Därefter ny omgång av steg 2 till 3 så att injekterings-skärmarna överlappar. Vid behov upprepas sekvensen med ny pilothålsboring och undersökningar. Även om driftcykeln i princip är densamma för samtliga tunnlar varierar utförandet för de olika tunnlar. Utförandet i deponeringstunnlar skiljer sig mest från utförandet i de övriga tunnlar. Bland annat planeras tunnelgolvet (sulan) att avplanas.

Detaljundersökningar i tillfarter och centralområdet sker främst i anslutning till pilothålsboring och tunnelkarteringen efter förstärkning. Byggrelaterade data kommer även att produceras, exempelvis från sonderingsboring med utflödesmätningar och tryckuppbyggnadstester, som även är av betydelse för platsförståelse och säkerhetsanalys. Detaljundersökningar i deponeringsområdena har en delvis annan inriktning och bredare omfattning, vilket beskrivs i kapitel 7. Alla undersökningar dokumenteras och lagras i databas.

Schaktsänkning

Samma arbetsmoment som vid tunneldrivning genomförs vid schaktsänkning, inklusive sonderingsboring, förinjektering och kartering. Arbetsoperationerna anpassas till de speciella förutsättningar som drivning av en vertikal front innebär. Gjutning av betongförstärkning (eng. "lining") utförs successivt. Allt arbete utförs från en arbetsplattform som genom sin utformning tillåter att flera moment utförs parallellt.

¹ Med toppförslutning menas förslutningen inom den övre delen av Kärnbränsleförvarets tillfarter (ramp och schakt) där förslutningens uppgift är att avsevärt försvåra oavsiktligt intrång i slutförvaret. Toppförslutningen omfattar intervallet från markytan till 370 m djup.



Figur 2-6. Bergdriftcykel vid tunneldrivning.

Stigortsboring

Vid uppförandet av hiss- och ventilationsschakt kommer stigortsboring (eng. "raise boring") att genomföras mellan olika nivåer i sidotunnlar till rampen för att därefter sammanbindas till ett schakt. Kartering av schaktvägg sker när varje delsträcka av stigortsboring är färdigställd, varefter betongförstärkning av delsträckan utförs.

Återfyllning och förslutning

Efter avslutad deponering kommer förvaret att återfyllas och förslutas. Under toppförslutningens nedre begränsning vid 370 m nivån finns krav på begränsning av grundvatteninflöde. Förutom krav på återfyllnadsmaterial och injekteringsmedel finns under toppförslutningen krav på den störda zonen (EDZ) som behöver kontrolleras med detaljundersökningar.

3 Informationsbehov som detaljundersökningarna behöver uppfylla

Den platsbeskrivande modellen för Forsmark, SDM-Site (SKB 2008) innehåller för alla ämnesområden inom geo- och biosfären information om platsens egenskaper, förhållanden och processer samt vilka osäkerheter som kvarstår. Beskrivningen har utgjort underlag för säkerhetsanalys, projektering/bergarbeten samt för bedömning av miljökonsekvenser. Dessa avnämare har värderat vilken information som är av betydelse för detaljundersökningar under uppförande och drift av slutförvaret. Värderingen redovisas i detta kapitel. Kapitlet avslutas med en översiktlig beskrivning av kvalitets-säkring för detaljundersökningar.

3.1 Informationsbehov för platsmodell och underlag till uppdaterade säkerhetsanalyser

Den integrerade platsbeskrivande modellen från platsundersökningen, SDM-Site, som tillhör underlagen för SKB:s ansökan om tillstånd att uppföra slutförvaret, är fortfarande den gällande samlade platsbeskrivningen. De avslutande platsundersökningarna efter SDM-Site, resulterande i modellversion 2.3 avseende geologi (Stephens och Simeonov 2015), har inte påverkat modellen i sin helhet. Detsamma gäller de byggförberedande undersökningarna av ytliga förhållanden i anslutning till tillfarterna som genomfördes 2010–2012.

Under uppförandet av tillfarter, centralområde och område för integrationstester och samfunktionsprovning sker regelbundet uppdatering av arbetsmodeller för olika syften (med varierande ämnesvisa, storleksmässiga och geografiska avgränsningar) med resultat från tillkommande detaljundersökningar. Uppförandet av tillfarter (ramp och sänkschakt) sker delvis parallellt. Resultat från olika anläggningsdelar behöver därför modelleras samlat i en anläggningsdelmodell som täcker hela uppförandeskedets anläggningsdelar, se kapitel 8. Efter uppförandeskedet ska en fullständig integrerad uppdatering av den platsbeskrivande modellen göras, som får benämningen SDM-SAR, se kapitel 6. Denna platsmodell ligger till grund för den analys av säkerhet efter förslutning som ingår i den säkerhetsredovisning (SAR) som ska godkännas av SSM innan provdriften får påbörjas. Som underlag för olika beslut under driftskedet görs modellering i anläggningsdelskala för specifika deponeringsområden, med successiv integration i större modellskalor. Fullständiga uppdateringar av den platsbeskrivande modellen, SDM, görs som underlag för de återkommande helhetsbedömningarna av anläggningens säkerhet och strålskydd som ska göras minst vart 10:e år.

I säkerhetsanalysen SR-Site (SKB 2011, avsnitt 15.6), görs en återkoppling till detaljundersökningar och platsmodellering vid uppförande och drift av slutförvaret. Det konstateras att tilltron till kunskapen om förvaringsplatsen är tillfredställande och att återstående osäkerheter är tillräckligt avgränsade för att medge nödvändiga riskuppskattningar. Baserat på en analys av konstruktionsförutsättningar anges att de flesta potentiella förbättringar avser möjligheter att lokalt anpassa deponeringstunnlar och deponeringshål, liksom andra underjordsutrymmen, till aktuella förhållanden i berggrunden. Dock återstår vissa frågor avseende egenskaperna hos bergmassan utanför deponeringsområdenas omedelbara närhet. Följande informationsbehov nämns i SR-Site:

- Fortsatt karakterisering av deformationszoner med potential att orsaka stora jordskalv.
- Vidareutveckling av hjälpmedlen för att gränssätta storleken på sprickor som kan tillåtas skära deponeringshål.
- Reduktion av osäkerheter i DFN-modeller.
- Identifiering av konnekterade transmissiva sprickor.
- Förbättring av beskrivningen av förvaringsvolymens hydrauliska egenskaper.
- Verifiering av överensstämmelse med konstruktionsförutsättningar för EDZ.

Det mesta av återkopplingen från SR-Site berör förutsättningarna att erhålla data som möjliggör anpassning av förvaret och kontroll mot givna konstruktionsförutsättningar. Denna aspekt behandlas mer utförligt i avsnitt 3.2.

En slutsats i SR-Site är att termiskt inducerad spjälkning i deponeringshål sannolikt kommer att inträffa. Även om detta väsentligen inte har någon påverkan på uppfyllandet av riskkriteriet för säkerhet efter förslutning finns det skäl att öka kunskapen om bergets hållfasthet och bergspänningarna *in situ*.

De hydrogeokemiska data som finns att tillgå är med marginal tillräckliga för att påvisa lämpliga förhållanden i dag och under den tempererade perioden under åtminstone några tusen år från nu. För att öka tilltron till viktiga utvärderingar skulle ändå mer information vara av värde. Särskilt nämns data från grundvattenprov avseende sulfider, liksom löst organiskt kol, mikrobiella populationer, koncentrationer av väte och metan och isotopkvoterna för dessa ämnen, samt isotopdata för ädelgaser och fler analyser av uran och radium.

Avseende ytnära ekosystem kommer antagligen noggrannheten i modeller för radionuklidmigration och retention i biosfären att öka om fördelningskoefficienter och parametrar som beskriver det biologiska upptaget av vissa betydande radionuklider i högre grad kunde återspegla platsens förhållanden och i mindre grad behöva grunda sig på generiska data från andra platser. Särskilt nämns behov av mer heltäckande mätningar av koncentrationer av ett fåtal grundämnen (inklusive Ra och I) samt mätningar av koncentrationer av alla grundämnen i lokalt producerade jordbruksprodukter och i jorden där dessa odlas. Dessutom behövs kemiska data från nederbördsprov. (Som nämns tidigare ingår inte monitorering av biosfären i detaljundersökningsprogrammet.)

Det konstateras i SR-Site att ramprogrammet för detaljundersökningar och de planer som presenteras för att vidareutveckla detaljundersökningsprogrammet är adekvata.

Även om detaljundersökningarna primärt är inriktade på att ge det underlag som efterfrågas av säkerhetsanalys, projektering och bergarbeten samt miljökontroll, så behöver de också resultera i en uppdaterad integrerad beskrivning av berggrund och ytsystem. Detta ger den breda grund för förståelse av geovetenskapliga förhållanden och processer som platsmodellen behöver beskriva.

Slutsatser för detaljundersökningsprogrammet

Undersökningarna behöver leverera det breda underlag som platsmodellen behöver. De behöver därmed omfatta i stort sett samma parametrar som under platsundersökningen med tillägget att även registrera de störningar som uppförandet medför. Modelleringen behöver förutom de översiktliga modellskalor som användes under platsundersökningen även kunna använda data för beskrivning av geovetenskapliga förhållanden i mer detaljerade skalor.

De geovetenskapliga informationsbehov som SR-Site identifierar är huvudsakligen knutna till förvarsområdet och dess närområde, där förvarsområdet innefattar samtliga deponeringsområden. Som underlag till kommande säkerhetsanalyser bedöms även resultat från detaljundersökningar och modellering av övriga anläggningsdelar under toppförslutningen vara av särskilt intresse. Dessa anläggningsdelar inkluderar tillfarter och centralområde och är belägna inom samma bergdomän(er) som deponeringsområdena. Underlag för DFN-modellering, bergmekanik och hydrogeokemi är intressanta även för bergvolymer inom toppförslutningen (ner till 370 m djup).

3.2 Informationsbehov för anpassning av förvaret till gällande konstruktionsförutsättningar för säkerhet efter förslutning

Slutförvarets säkerhet efter förslutning är beroende av att förvarsanläggningen utformas rätt och anpassas till bergets egenskaper. SKB har sammanställt ett antal konstruktionsförutsättningar med fokus på slutförvarets säkerhet efter förslutning (SKB 2009a). Dessa innefattar krav på anläggningens dimensionering, hur anläggningen ska anpassas till berggrundens egenskaper, och hur

uppförandet kan tillåtas påverka det omgivande berget, i samtliga fall med avseende på att säkerhet efter förslutning ska uppfyllas. Vissa konstruktionsförutsättningar kopplar direkt till bergets egen barriärfunktion, medan andra formulerats för att säkerställa att berget ger de förutsättningar som behövs för att de tekniska barriärerna (kapsel, buffert, återfyllnad och förslutning) ska kunna uppfylla sina uppställda krav.

Efter det att SKB:s ansökan om att etablera ett slutförvar för använt kärnbränsle i Forsmark lämnats in till myndigheterna, påbörjade SKB arbetet med en uppdatering av konstruktionsförutsättningarna, huvudsakligen med utgångspunkt från resultaten av den underliggande säkerhetsanalysen SR-Site (SKB 2011). Detta arbete har utförts gemensamt med SKB:s systerorganisation Posiva i Finland varvid även resultaten från den finska säkerhetsanalysen TURVA 2012 (Posiva 2012b) och efterföljande myndighetsgranskning kunnat vägas in. Arbetet har resulterat i en med Posiva gemensam rapport (se bilaga och Posiva SKB 2017). Denna kommer att utgöra underlag för de konstruktionsförutsättningar som SKB formellt kommer att presentera för SSM i samband med inlämnande av PSAR.

De konstruktionsförutsättningar som är kopplade till förvarsberget med tillhörande underjordsöppningar och som påverkar detaljundersökningarnas utformning presenteras i bilaga. Där beskrivs också detaljundersökningarnas roll vid verifiering av att konstruktionsförutsättningarna är uppfyllda. Nedan presenteras de konstruktionsförutsättningar som huvudsakligen påverkar detaljundersökningsprogrammets utformning.

- **Förvarsdjup.** Förvarsdjupet skall ligga inom intervallet 400–700 m. (Detaljundersökningar ska ge underlag för eventuell förfinad anpassning av förvarsdjupet till bergspänningssituationen och geologiska förhållanden avseende förekomst av subhorisontella deformationszoner.)
- **Deponeringsområden – kritiska strukturer.** Deponeringsområden skall inte placeras inom kritiska volymer av klass 1. (För klassindelning, se förklaring nedan.)
- **Deponeringsområden – kemiska förhållanden.** Placering av deponeringsområden skall ske så att salthalt (TDS), pH och sulfidinhåll är inom kemiskt acceptabla gränser.
- **Deponeringstunnlar – kritiska strukturer.** Deponeringstunnlar skall inte placeras inom kritiska volymer av klass 1 och 2.
- **Deponeringstunnlar – orientering.** Deponeringstunnlar skall orienteras i relation till rådande bergspänningsfält för att begränsa (spänningsinducerade) skador runt tunnlar.
- **Deponeringstunnel – inflöde.** Inflöde till deponeringstunnel skall vara lägre än det maximala inflödet som tillgängliga installationsmetoder tillåter för att möjliggöra installation av återfyllnad och plugg.
- **Deponeringshål – kritiska strukturer.** Deponeringshål skall inte placeras inom kritiska volymer av klass 1, 2 och 3.
- **Deponeringshål – avstånd ur termisk synvinkel.** Minimiavståndet mellan deponeringshål i en enskild deponeringstunnel och hål i angränsande tunnlar skall väljas så att temperaturen i bufferten (kapsel/buffert rand) är mindre än 100 °C.
- **Deponeringshål – transmissivitet.** Transmissiviteten uppmätt i ett pilothål för ett deponeringshål skall vara mindre än ett givet tröskelvärde. (Utveckling och test av metodik för fastställande av tröskelvärde pågår.)
- **Deponeringshål – inflöde.** Inflödet till deponeringshålet skall vara lägre än det maximala inflödet som tillgängliga metoder tillåter för att säkerställa installation av buffert (i deponeringshålet).
- **Deponeringshål – geometri.** Geometriska parametrar gränssätts i samband med projekteringen.
- **Hela förvaret – inflöde.** Det totala inflödet till förvarets underjordsutrymmen skall vara mindre än ett för platsen bestämt gränsvärde.
- **EDZ – deponeringstunnel.** Den specifika kapaciteten ($Q/\Delta p$) hos EDZ, mätt i pilothål för deponeringshål, skall inte överstiga en motsvarande transmissivitet av $10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$.

Kritiska strukturer och volymer

Flera av konstruktionsförutsättningarna ovan hanteras genom att identifiera, klassificera och undvika kritiska strukturer av olika klasser i olika delar av slutförvaret. De kritiska strukturerna blir därmed till stor del styrande för slutförvarets tekniska design/layout.

Kritiska strukturer (CS) med tillhörande kritiska volymer är geologiska strukturer som kan ha negativ påverkan på säkerheten efter förslutning för ett KBS-3 slutförvar (Munier och Mattila 2015). Exempel på kritiska strukturer är deformationszoner som kan vara väsentliga strömningsvägar för grundvatten, eller strukturer där sekundära skjuvrörelser kan utlösas i samband med jordskalv och där rörelserna kan vara så stora att de kan skada en kapsel. Den kritiska volymen (CV) kopplade till kritiska strukturer motsvarar i huvudsak den skadade zonen (eng. *damaged zone*) som flankerar strukturens kärna.

Kritiska strukturer och volymer klassificeras efter deras påverkan på slutförvarets layout. Följande klassificering tillämpas:

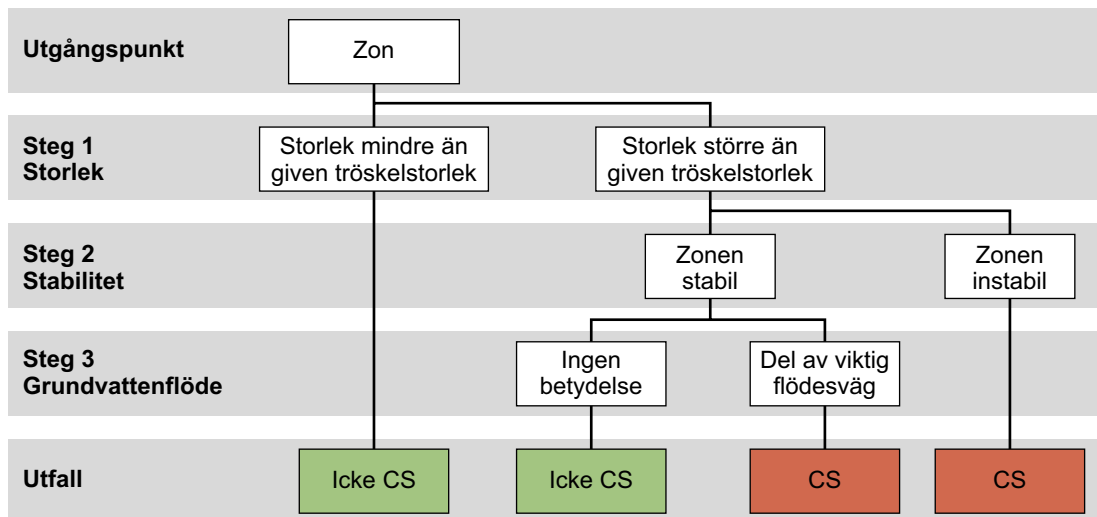
- Kritisk struktur/volym klass 1 (i andra dokument benämnda med förkortningen CS1/CV1) har sådana egenskaper att den inte kan accepteras inom förvarets hela utbredning. Dessa strukturer är styrande för förvarets placering och för dess yttre gränser.
- Kritisk struktur/volym klass 2 (CS2/CV2) har sådana egenskaper att den kan accepteras mellan deponeringsområden men inte i deponeringstunnlar. Dessa strukturer är styrande för förvarets layout och för lägen av deponeringstunnlar.
- Kritisk struktur/volym klass 3 (CS3/CV3) har sådana egenskaper att de inte kan accepteras skära deponeringshål. Dessa strukturer styr lägen på deponeringshål.

Klassificeringen illustreras i figur 3-1. Klassificeringsmetodiken tillämpas bland annat för att avgöra om en deformationszon kommer att påverka läget på en deponeringstunnel, dvs. om deformationszonen ska klassificeras som en kritisk struktur av klass 1 och 2. Liknande procedurer tillämpas för klass 1 strukturer som inte tillåts skära utbredningen av förvaret och klass 3 strukturer som inte tillåts skära deponeringshål. Vid klassificeringen bedöms de viktigaste egenskaperna; storlek, mekanisk stabilitet och dess betydelse för grundvattenflöde. Storleken på strukturen ses som en indikator för dess jordskalvspotential. Vid en analys av mekanisk stabilitet värderas också andra aspekter, såsom dess orientering i förhållande till dagens och framtida bergspänningsfält, geometri, friktion, kinematik, etc. Strukturens hydrogeologiska betydelse baseras på undersökningar i borrhål och tunnlar och vid behov modellering.

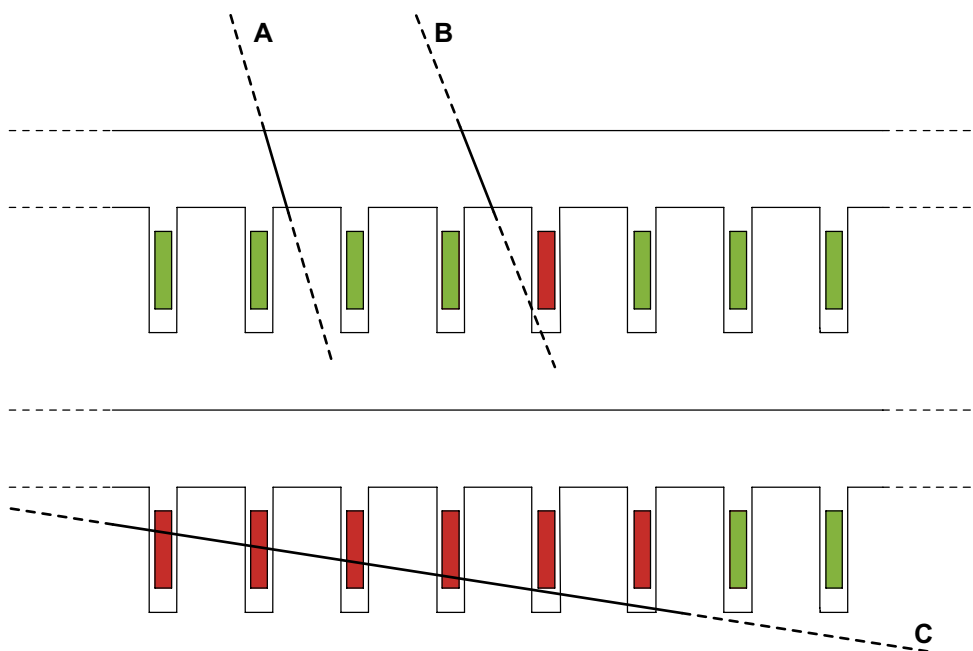
Som framgår av texten ovan avser ”kritiska strukturer” en kombination av konstruktionsförutsättningar gällande vattenförande strukturer och/eller strukturer där sekundära skjuvrörelser kan ske vid jordskalv. Strukturen kan vara en deformationszon, en större spricka eller exempelvis en bergartskontakt.

En ur mekanisk aspekt kritisk struktur av klass 3 med tillhörande volym får inte skära ett deponeringshål. En sådan struktur har mekaniska egenskaper och en geometrisk utsträckning sådan att den kan tillåta en skjuvning om 5 cm eller mer. Som nämns ovan behöver även dess geometri, t.ex. dess orientering i förhållande till bergspänningsfältet beaktas. Även en vattenförande struktur kan utgöra en kritisk struktur av klass 3 om den orsakar ett vatteninflöde i ett deponeringshål som under deponeringstunnelns öppethållande är så stort att bufferten riskerar att erodera, eller att transmissiviteten i hålets närområde är så hög att grundvattenflödet efter förslutning (darcy-flödet) blir för högt, se bilaga.

En spricka/deformationszon som kan följas runt hela tunnelperiferin benämns FPI (*Full Perimeter Intersection*). En sådan spricka/deformationszon kan vara en kritisk struktur av klass 3. Tolkningen av FPI:er är därmed ett viktigt underlag för klassificeringen av kritiska strukturer enligt ovan. Om det inte finns ytterligare underlag för att klassificera enligt den ovan beskrivna metodiken förutsätts att alla FPI:er som skär ett deponeringshål är kritiska strukturer av klass 3. Detta kriterium benämns FPC, där C står för *criterion*. För kritiska strukturer som, på grund av sin geometri, inte skär deponeringstunneln tillämpas kriteriet EFPC, där deponeringshål som skärs av en struktur som skär fem eller fler deponeringshål inte accepteras, se figur 3-2 (Munier 2010).



Figur 3-1. Processschema för definition av kritiska strukturer (CS). Denna kategorisering och sorteringsprocess är även tillämpbar på "kritiska volymer" (CV) associerade med kritiska strukturer. Utgångspunkten för klassificeringen är en modellerad struktur baserad på tunnelkartering, borrhålsundersökningar och övriga undersökningsdata. I ett första steg bedöms strukturens storlek (Steg 1). För strukturer större än den gränssättande storleken behandlas stabiliteten hos strukturen (Steg 2) och dess inverkan på grundvattenflöde (Steg 3). Utfallet av processen är klassificeringen av strukturen, antingen som icke kritisk (gröna boxar) eller som kritisk (röda boxar) struktur/volymer.



Figur 3-2. Illustration av FPI-kriterierna innebörd. A och B är två strukturer som genererar FPI-objekt i deponeringstunneln, av vilka A inte påverkar deponering medan B förhindrar deponering, enligt FPC-kriteriet. Objekt C skär minst fem deponeringshål, vilket innebär att dessa enligt EFPC-kriteriet inte får användas för deponering.

Uppfyllelse av konstruktionsförutsättningar

Att konstruktionsförutsättningarna blir uppfyllda säkerställs genom att utförandet genomförs med metoder som är speciellt utformade för slutförvarets uppförande och drift och genom kvalitetskontroll av att utförandet följer metodernas specifikationer. Detaljundersökningarna bidrar på två sätt till att konstruktionsförutsättningarna uppfylls. Dels ger insamlade data och uppdaterade

modeller underlag för anpassning av deponeringstunnlar och deponeringshål till bergets förhållanden och därmed till projektering och byggande, dels behövs undersökningsresultat för att kvantitativt verifiera att konstruktionsförutsättningar har uppfyllts.

Det kan konstateras att verifieringen av uppfyllande av konstruktionsförutsättningar kräver omfattande detaljundersökningar i deponeringsområdet. Bortsett från att inflödet ska begränsas till hela anläggningen, finns för tillfarter under toppförslutningen och centralområdet endast konstruktionsförutsättningar på sprängskadezonen (EDZ). För tillfarter inom toppförslutningen (ner till 370 m djup) finns, förutom inflödesbegränsningen, inga konstruktionsförutsättningar med avseende på säkerhet efter förslutning, vilket innebär att informationsbehov från undersökningar utifrån denna aspekt saknas.

3.3 Informationsbehov för projektering, bergarbeten och drift

I rapporten Underground design Forsmark Layout D2 (SKB 2009b) beskrivs vilka informationsbehov som förutses för projektering, bergarbeten och drift.

Generellt bedöms stabiliteten hos utrymmena undermark likna motsvarande utrymmen som byggts på motsvarande djup i skandinaviska urbergsskolden. Instabilitet kan förekomma som blocknedfall eller spjälkning men associerad risk kan reduceras genom traditionell bergförstärkning och genom att orientera utrymmena nära parallellt med den största horisontalspänningen. Den högsta frekvensen av öppna/vattenförande sprickor kommer att påträffas i tillfarter ner till ca 50 m djup. Bergmassan på förvaringsdjup förväntas vara relativt homogen med få vattenförande sprickor. Medelavståndet mellan sådana sprickor förväntas vara mer än 100 m (SKB 2010b). Konventionella injekteringsmetoder med cementbaserat bruk kommer i allmänhet att vara tillräckliga. Kiselbaserade injekteringsmedel kan behöva användas lokalt på förvaringsnivån och då främst i sprickor med liten sprickvidd.

Risken för spänningsinducerad spjälkning i tunnlar på förvaringsnivån samt i deponeringshål (innan deponering) bedöms som liten, trots osäkerhet i bergspänningsmagnitud. Risken begränsas genom att deponeringstunnlarna orienteras nära parallellt med största horisontella bergspänningen. Vid behov kan även tunnelkonturen justeras för att motverka spjälkning.

I likhet med andra förundersökningar finns osäkerheter i tolkningen av information från de borrhål som genomfördes under platsundersökningen. Vissa kan innebära behov av en större grad av flexibilitet för designen/layouten och som kan hanteras under senare projekteringssteg och/eller under bergguttaget av förvarets tillfarter. I sammanfattningen till rapporten Underground design Forsmark, Layout D2 (SKB 2009b) anges dessa som:

- Frekvensen och fördelningen av öppna vattenförande sprickor och deras potentiella inverkan på grundvattensänkning i närheten av schakt och ramp.
- In situ spänningsmagnituder och spänningsorientering på förvaringsnivå.
- Rumslig fördelning av deformationszoner som kan påverka förvarets layout.

Anpassningen av förvarets layout till deformationszoner avser främst deponeringsområden, i synnerhet placering av deponeringstunnlar och deponeringshål.

Där de geologiska osäkerheterna har större betydelse för projektering och bergguttag kommer observationsmetoden att användas. Metoden kan exempelvis tillämpas genom att under framdrift mäta/observera bergspänningar/spjälkning och vid behov ändra bergguttaget enligt alternativ som utarbetas under detaljprojektering. SKB har tillämpat observationsmetoden med avseende på hydrauliska förhållanden vid utbyggnad av Äspölaboratoriet (Olofsson et al. 2014).

Vid lägen för ramp och schakt görs undersökningar som underlag till detaljprojektering och genomförandebeskrivning. Särskilt behövs information om läge, frekvens och hydrauliska egenskaper för flacka vattenförande sprickor i den övre sprickdomänen FFM02.

För dokumentation av anläggningen (relationshandlingar) sammanställs tunnlar lägen, geometrier och utförda injekterings- och förstärkningsåtgärder tillsammans med den geologiska kartläggningen.

Slutsatser för detaljundersökningsprogrammet

Vid uppförandet av tillfarter, centralområde och deponeringsområden behöver undersökningar genomföras för att belysa och besvara ovan nämnda osäkerheter och informationsbehov.

3.4 Informationsbehov för miljökontroll

SKB kommer under uppförande av schakt, tunnlar och bergrum för slutförvarsanläggningen att utföra tätningsåtgärder i syfte att förhindra att inläckage och bortledning av grundvatten medför att grundvattennivåerna sjunker till nivåer som kan påverka byggnader, anläggningar, vegetation, våtmarker eller andra ytvattenförekomster.

Vid uppförandet kommer SKB att följa upp en mängd miljöparametrar. En delmängd av dessa parametrar har en direkt koppling till de parametrar som tillsynsmyndigheten kommer att föreskriva. I denna rapport begränsas beskrivningen av informationsbehovet till geovetenskapliga parametrar.

Vilka geovetenskapliga data som behövs för miljökontroll beror på de villkor som föreläggs SKB vid tillstånd enligt miljöbalken för uppförande av slutförvaret. I inlämnad ansökan har SKB åtagit sig att när tillfarterna byggs och under slutförvarets driftsperiod vidta åtgärder för att så långt rimligt och möjligt förhindra att grundvattenbortledningen medför att grundvattennivåerna sjunker till nivåer som på ett betydande sätt kan skada gölar och andra våtmarker med höga naturvärden. Detta medför att det kommer att finnas ett behov av att mäta förändringar av grundvattenytan i jordlagren, men även i viss mån i berggrunden. Vid uppföljning av miljöpåverkan kommer även monitorering av hydrogeokemiska förhållanden i underjordsanläggningen och på uppfodrat dränagevatten att vara av intresse.

Andra informationsbehov för miljökontroll som exempelvis artskydd, buller mm kommer att beskrivas i särskilt program för miljökontroll under slutförvarets uppförande och drift.

Slutsatser för detaljundersökningsprogrammet

Den geovetenskapliga information som miljökontroll behöver är förändringar av grundvattenyta i jord och berg samt övervakning av hydrogeokemiska förhållanden. Detta bör tillfredsställas av aktuellt monitoringsprogram med efterföljande och regelbundna anpassningar. Även annan geovetenskaplig information (än grundvattenyta i jord och berg) kan vara av intresse för att uppdatera eller verifiera tidigare underlag som legat till grund för bedömning av miljökonsekvenser. Vid bedömning av miljöpåverkan och miljökontroll är även resultat från uppdatering av modeller av intresse.

3.5 Kärnämneskontroll

Ett framtida behov av information från detaljundersökningar är för internationell kärnämneskontroll, även kallad safeguards. Hur kontrollen skall genomföras är i nuläget inte klarlagt. För detaljundersökningar är det troligen främst monitoringsprogrammet och då främst seismisk monitorering som kan bli aktuellt i samband med safeguards. (För kontroll av att bergarbeten inte förekommer som kan syfta till obehörigt bortförande av kärnämne). Eftersom kraven på undersökningar i samband med safeguards inte är fastlagda finns inte heller sådana undersökningar redovisade i detta program.

3.6 Sammanfattning av informationsbehov

Sedan ramprogrammet publicerades 2010 har arbetet med säkerhetsanalysen SR-Site avslutats, liksom systemprojektering och uppdatering av slutförvarets utformning. SKB har dessutom tillsammans med Posiva uppdaterat konstruktionsförutsättningarna (Posiva SKB 2017) baserat på de slutsatser som kunnat dras från SR-Site och Posivas motsvarighet TURVA 2012. Dessa aktiviteter har bekräftat att de detaljundersökningar som beskrivs i ramprogrammet fortfarande är adekvata och inga nya väsentliga informationsbehov har tillkommit.

Denna uppdatering av detaljundersökningsprogrammet har därför fokus på att beskriva hur undersökningarna ska bidra till att bergutrymmen för deponering kan byggas och tillredas så att konstruktionsförutsättningar avseende säkerhet efter förslutning blir uppfyllda. Vidare beskriver programmet vilken övrig geovetenskaplig information som är av intresse för säkerhetsanalys, projektering och bergarbeten, miljökontroll och uppdatering av SDM samt hur detta ska genomföras. Mer detaljerade beskrivningar av det praktiska genomförandet av undersökningar och modellering under uppförande av tillfarter, centralområde och deponeringsområden kommer att redovisas i operativa detaljundersökningsprogram för respektive anläggningsdel.

3.7 Kvalitetssäkring

Kvalitetssäkring av undersökningarnas genomförande och resultat kommer på en övergripande nivå att genomföras enligt det ledningssystem som SKB upprättar för Kärnbränsleförvarets uppförande. Eftersom detaljundersökningarna utförs som en integrerad del av bergsystemet kommer kvalitetsstyrningen på denna nivå att vara integrerad. På rutinnivå kommer detaljundersökningarna att styras av metodbeskrivningar med i huvudsak samma roll som vid platsundersökningarna. En total översyn kommer att göras av dessa delar så att de uppfyller kvalitetskrav för kärnteknisk verksamhet.

Slutförvarets säkerhet efter förslutning avgörs av barriärernas förmåga att innesluta det använda kärnbränslet och att förhindra och fördröja radionuklidtransport. Barriärernas egenskaper säkerhets- och kvalitetsklassas baserat på deras betydelse för att upprätthålla slutförvarets säkerhetsfunktioner. Det ska noteras att bergets egenskaper som sådana inte kvalitetsklassas eftersom de är av naturen givna och inte kan styras av SKB. Det är inplaceringen av bergutrymmen och därmed anpassningen av dem till bergets egenskaper som utgör grunden för kvalitetsstyrningen av slutförvarsanläggningens bergarbeten. Krav i form av konstruktionsförutsättningar har sammanställts för hur bergutrymmena ska utformas och byggas så att slutförvarets säkerhetsfunktioner blir uppfyllda, vilket redogörs för i avsnitt 3.2 och i bilaga. I detta sammanhang är detaljundersökningarnas uppgift att ge underlag för beslut och kontroll av att bergutrymmena placeras och utformas så att konstruktionsförutsättningarna blir uppfyllda.

En utgångspunkt för SKB:s kvalitetsledningssystem är att gemensamma principer och riktlinjer ska gälla för slutförvarets olika delsystem, vilka är kapsel, buffert, återfyllning, förslutning, bergutrymmen och plugg i deponeringstunnel. Detta framgår också av ”Plan för implementering av kvalitetsstyrning och kontroll av KBS-3-förvaret” (Jonsson och Morén 2013) som SKB under 2016 har lämnat in till SSM som komplettering till den pågående prövningen av ansökan. En annan är att kvalitetsledningssystemet kommer att vidareutvecklas så att det svarar mot de behov som gäller vid olika skeden. Utifrån dessa principer och riktlinjer upprättas specifika rutiner och instruktioner för delsystemens produktion och de verksamheter som ingår i produktionen.

Detaljundersökningar tillhör delsystemet ”Bergutrymmen” och kvalitetsstyrningen avser redan från byggstart en kärnteknisk anläggning. Under uppförandeskedet är det endast ett fåtal specifika krav (konstruktionsförutsättningar) på verksamheten som har bäring på säkerheten efter förslutning, medan uppförandet av deponeringsområden och tillredningen av deponeringshål under driftskedet styrs av en större mängd konstruktionsförutsättningar med bäring på säkerheten efter förslutning, se vidare avsnitt 3.2, bilaga samt kapitel 7.

Denna rapport ska inte föregripa den vidareutveckling av kvalitetsledningssystemet som pågår för tillämpning under slutförvarets uppförande och driftskede. En viktig del är dock att genomföra produktkartläggning och processkartläggning. Detta görs för att identifiera de egenskaper och relaterade designparametrar som har störst betydelse för säkerheten i slutförvaret och bestämma metoder för karakterisering, produktion och provning av dessa samt beslutspunkter i produktionslinjen. Vid process- och produktkartläggningen bestäms också behovet av kvalificering (testning och godkännande) samt om och när tredje part behöver anlitas för övervakning och kontroll.

Detaljundersökningar, projektering och utförande av bergarbeten kommer att vara en integrerad process för att åstadkomma slutförvarets bergutrymmen. Exempel på delprocesser är uppförande av schakt, ramp, berggrum i centralområde, tillredning och verifiering av deponeringsområde eller av deponeringshål. Detaljundersökningar av olika slag utgör delar av dessa processer. Vissa

detaljundersökningar har uppgiften att leverera data om berget för att uppföra bergutrymmen enligt givna konstruktionsförutsättningar. Andra detaljundersökningar görs för att ytterligare komplettera kunskapen och förståelsen av förvarsplatsen så att slutförvarets säkerhet efter förslutning kan analyseras och verifieras. Detaljundersökningarna bidrar därmed till säkerheten efter förslutning dels genom att med mätningar verifiera att konstruktionsförutsättningar blir uppfyllda, men också med underlag i form av data och platsmodeller som behövs för säkerhetsanalys.

Vid processkartläggningen av bergsystemet identifieras produktions- och detaljundersökningsmetoder, inklusive system och utrustningar, samt beslutspunkter som med kvalitetsklassningen som grund har störst betydelse för kvaliteten. Utifrån processkartläggningen kommer sedan metoder och verktyg att kunna identifieras som ska kvalificeras.

SKB har omfattande och långvarig kunskap och erfarenhet av undersökningar och modellering av geosfär och biosfär, inte minst från platsundersökningsskedet. En viktig komponent för kvalitets-säkringen av undersökningarnas utförande och resultat var de så kallade metodbeskrivningarna. Även om kvalitetsledningssystemet för Kärnbränsleförvarets uppförande och drift ännu inte är färdigutvecklat bedöms metodbeskrivningar få en motsvarande roll vid detaljundersökningarnas genomförande. De kommer att anpassas till kommande verksamhet, bland annat med avseende på anpassning till bergarbeten och utförande under jord, men också till förändrade krav på kvalitetskontroll och dokumentation. Motsvarande ämnesområdesvisa metodrapporter för modellering kommer att genomgå fullständig uppdatering.

4 Detaljundersökningar vid uppförande av tillfarter

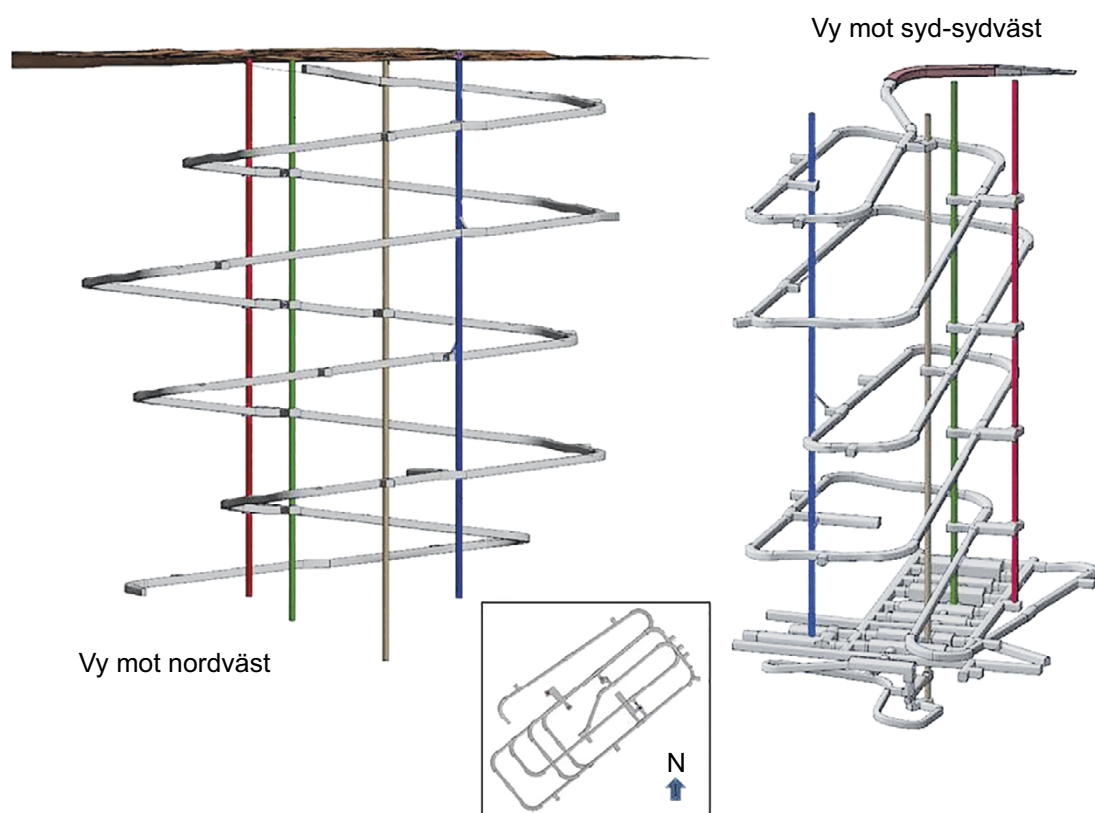
4.1 Anläggningsdelar

Tillfarterna består av en ramp och fyra schakt, se figur 4-1 och avsnitt 2.2.2. Planerad metod för utförande av rampen är borrhning/sprängning. Före start av bergarbetena utförs ridåinjektering för rampens planerade sträckning genom berggrundens övre vattenförande delar.

De fyra schakten, skip-, hiss- och två ventilationsschakt, är belägna inom driftområdet. Skipschaktet drivs som sänkschakt parallellt med drivningen av rampen. Övriga schakt drivs med stigortsborrhning, steg för steg mellan olika nivåer, i takt med att rampen passerar lägen för anslutningar mellan ramp och schakt. Före start av schaktdrivning utförs ridåinjektering.

4.2 Informationsbehov

För byggandet av schakt och ramp framhålls särskilt betydelsen av information om vattenförande sprickor i de övre, ca 50 m (sprickdomän FFM02), av berggrunden. Under denna nivå bedöms berggrunden ha en sådan kvalitet att det inte finns särskilda informationsbehov, mer än vad sonderingsborrning kan ge, som underlag för beslut om injektering. Både schakt och ramp kommer att drivas genom deformationszoner. Dessa bedöms inte medföra omfattande behov av förstärkningar men för några av dem kan information från pilotborrhål vara befogat.



Figur 4-1. Vy över tillfarter och centralområde.

Eftersom tillfarterna ligger åtskilda från förvarsområdet är det få konstruktionsförutsättningar som måste uppfyllas. Av intresse för säkerhetsanalys är den information som ger underlag för bedömning om återfyllnaden av schakt och ramp under ca 370 m (nedre gräns för toppförslutningen) kan fungera som avsett. Framst behövs information om förekomst och utbredning av sprängskadezon (EDZ) samt inflöden. På större djup än 370 m kommer tillfarterna att drivas i berggrund med liknande förhållanden som för förvarsområdet. Som beskrivs i kapitel 3 är det för säkerhetsanalys av intresse att förutom EDZ generellt öka kunskapen om förvarsberget avseende förekomsten och egenskaper hos sprickor och deformationszoner (bland annat för DFN-analys och identifiering av kritiska strukturer) samt om bergmekaniska (främst bergspänningar) och hydrogeokemiska förhållanden. Information från skipschaktet med föregående pilotborrhål utnyttjas för att fastställa och vid behov justera förvarsdjup.

Den övre delen av berggrunden är mer vattengenomsläpplig än den nedre delen. När bygget av tillfarter påbörjas är det därför viktigt att redan från början observera hur grundvattenytan påverkas. Annan viktig övervakning avser dränagevattnets kemiska sammansättning. Vid bedömning av miljöpåverkan och miljökontroll är även resultat från uppdatering av modeller av intresse. Program för monitorering kommer att uppdateras i samband med upprättande av operativt program för tillfarter.

4.3 Aktiviteter

Detaljundersökningarna i samband med förberedelser och genomförande av tillfarter omfattar aktiviteterna listade nedan. En sammanfattning av aktiviteterna och motiv till dessa finns i tabell 4-1. Efter tabellen följer en något mer detaljerad beskrivning av aktiviteterna. I anslutning till detaljprojektering kommer operativa program för detaljundersökningar att upprättas för detaljerad styrning av genomförandet.

- Geoteknisk undersökning av jordlager och berggrund.
- Pilotborrhål för skipschakt.
- Kontinuerliga undersökningar under drivning av skipschakt.
- Bergspänningsmätningar under drivning av skipschakt.
- Pilotborrhål under rampdrivning.
- Kontinuerliga undersökningar under drivning av ramp.
- Bergspänningsmätningar under drivning av ramp.
- Undersökningar av sprängskadezon, EDZ.
- Undersökningar i samband med drivning av ventilations- och hisschakt.
- Bergets transportegenskaper.
- Monitorering av inflöde, grundvattentryck, hydrogeokemi och hydrokemi.
- Seismisk monitorering.
- Modeller.

Därutöver behöver det finnas beredskap för andra detaljundersökningar om strukturer eller förhållanden påträffas som signifikant avviker från det förväntade. Detta kan innebära nya borrhål antingen från markytan eller från tillfarterna. Beslut om sådan borrhållning förutsätter nödvändig säkerhetsbedömning. Andra behov kan vara provning av detaljundersökningsmetoder för senare skeden och träning av personal, men även särskilda karakteriseringsinsatser om behov uppkommer.

Tabell 4-1. Geovetenskapliga undersökningar vid uppförande av tillfarter. Aktiviteterna presenteras huvudsakligen i sekventiell ordning. Vissa aktiviteter återkommer dock vid två eller flera tillfällen. Samtliga pilotborrhål utförs som kärnborrhål.

Aktivitet	Beskrivning	Motiv
Geoteknisk undersökning av jordlager och berggrund	Sonderingsborrhål och kärnborrhål i den övre berggrunden. Sonderingsborrning utförs enligt geoteknisk standard. Geologiska, geofysiska och hydrogeologiska undersökningar i kärnborrhål. Delar av detta liksom en 3-D seismisk undersökning har utförts.	Underlag för: – Detaljprojektering. – Läge för schakt och ramp. – Förekomst av vattenförande sprickor i den övre berggrunden. – Program för ridåinjektering av rampsträckning och schakt.
Pilotborrhål för skipschakt	Pilotborrhål i eller intill schaktläge från markytan ner till schaktbotten. Geologiska, geofysiska och hydrogeologiska borrhålsundersökningar. Vattenprovtagning av vattenförande sprickor där så kan motiveras. Pilotborrhålet har utförts och borrhålsundersökningar pågår.	Underlag för: – Detaljprojektering. – Injekterings- och förstärkningsbehov. – Verifiering av modellerade geovetenskapliga förhållanden och uppdatering av anläggningsdelmodell. – Eventuell justering av förvarsdjup. – SDM-SAR.
Kontinuerliga undersökningar under drivning av skipschakt	Geologisk/hydrogeologisk kartläggning av bergväggar. Data från sonderingsborrhål samt övrig byggrelaterad information.	Underlag för: – Injekterings- och förstärkningsbehov. – Verifiering av modellerade geovetenskapliga förhållanden och uppdatering av anläggningsdelmodell. – Eventuell justering av förvarsdjup. – SDM-SAR.
Bergspänningsmätningar under drivning av skipschakt	På några nivåer i skipschaktet görs överborringsmätningar (LVDT-metoden), med konvergensmätningar som komplement. Var mätningarna ska göras fastställs i det operativa programmet.	Underlag för: – Verifiering av modellerade geovetenskapliga förhållanden och uppdatering av anläggningsdelmodell. – SDM-SAR. – Eventuell justering av förvarsdjup. – Verifiering av deponeringstunnlars orientering och förstärkningsbehov.
Pilotborrhål under rampdrivning	Pilotborrhål genom deformationszoner som bedöms vara signifikant mer vattengenomsläppliga än omgivande berg eller kunna medföra ökat förstärkningsbehov. Pilotborrning under ca 370 m för att öka kunskapen om förvarsberget, inklusive utökad underlag för DFN-modellering. Omfattning fastställs i operativa program. Geologiska, geofysiska och hydrogeologiska borrhålsundersökningar. Vattenprovtagning.	Underlag för: – Injekterings- och förstärkningsbehov. – Verifiering av modellerade geovetenskapliga förhållanden och uppdatering av anläggningsdelmodell. – SDM-SAR.
Kontinuerliga undersökningar under drivning av ramp	Geologisk/hydrogeologisk kartläggning av bergväggar. Data från sonderingsborrhål samt övrig byggrelaterad information.	Underlag för: – Injekterings- och förstärkningsbehov. – Verifiering av modellerade geovetenskapliga förhållanden och uppdatering av anläggningsdelmodell. – SDM-SAR.
Bergspänningsmätningar under drivning av ramp	Som komplement till bergspänningsmätningarna i skipschaktet görs bergspänningsmätningar på några platser i rampen. Undersökningarna inkluderar överborringsmätningar (LVDT) och konvergensmätningar, samt mekaniska parametrar från tester på borrkärnor. Var mätningarna görs beskrivs i operativa program.	Underlag för: – Verifiering av modellerade bergmekaniska förhållanden och uppdatering av anläggningsdelmodell. – SDM-SAR. – Verifiering av deponeringstunnlars orientering.

Aktivitet	Beskrivning	Motiv
Undersökningar av sprängskadezon, EDZ	Verifierande undersökningar i nisch innan ramp nått 370 m (inklusive hydrauliska tester). Geofysiska och geologiska undersökningar i ramp under 370 m.	Underlag för: – Verifiering att sprängskadezonen EDZ uppfyller konstruktionsförutsättning för ramp under toppförslutningen.
Undersökningar i samband med drivning av ventilations- och hiss schakt	Stigortsbörning av schakt görs i steg och geologisk/hydrogeologisk kartläggning av väggar genomförs efter varje steg.	Underlag för: – Verifiering av modellerade geovetenskapliga förhållanden och uppdatering av anläggningsdelmodell. – SDM-SAR.
Bergets transportegenskaper	Provtagning och laboratorieförsök för bestämning av bergets diffusions- och sorptionsegenskaper.	Underlag för: – Verifiering av retardationsmodell. – SDM-SAR.
Monitering av inflöde, grundvattentryck, hydrogeokemi och hydrokemi	Det pågående monitoringsprogrammet fortsätter. Omfattningen revideras innan uppförandet påbörjas. Moniteringen kompletteras successivt med monitering av inflöden till ramp och schakt. Provtagning för kontroll av tillfört och utpumpat vatten (kemiska sammansättning och spårämne). Uppföljning av monitering kopplad till SFR.	Underlag för: – Miljökontroll. – Verifiering av modellerade geovetenskapliga förhållanden och uppdatering av anläggningsdelmodell. – SDM-SAR. – Förståelse av ömsesidig påverkan mellan SFR och Kärnbränsleförvaret.
Seismisk monitering	I god tid innan uppförandet av tillfarter kompletteras den seismiska moniteringen med ett lokalt mätsystem. Därmed kan seismiska händelser med lägre magnituder registreras i närområdet. GNSS-monitering inleds.	Underlag för: – Bedömning av påverkan av tunnlar/schakt på omgivande berggrund. – SDM-SAR.
Modellering	Kontinuerlig uppdatering av arbetsmodeller för tillfartsområdet, främst i anläggningsdelskala och i tunnelskala. Modellering för bergarbetenas behov. Modellering som förberedelse för uppdatering av platsmodellen till SDM-SAR. Modellering för utredning av specifika frågor.	Underlag för: – Eventuell justering av försvarsdjup och layout av centralområde och det första deponeringsområdet. – Kontinuerligt uppdaterat program avseende injekterings- och förstärkningsbehov. – Verifiering av modellerade geovetenskapliga förhållanden och uppdatering av anläggningsdelmodell. – SDM-SAR.

Geotekniska undersökningar av jordlager och den ytliga berggrunden

Byggförberedande undersökningar genomförs innan uppförandet av byggnader och tillfarter påbörjas. Geotekniska undersökningar behövs som underlag för den exakta placeringen av schakt och påfart till ramp, inklusive behov av schaktarbeten. De geotekniska undersökningarna omfattar jord-/bergsonderingar i påslagslägen för schakt och ramp med närmaste omgivningar för bestämning av jordlager och bergytans läge samt som underlag för grundläggnings- och schaktarbeten och underlag för masshantering och massbalans.

Kunskapen behöver även förbättras om förekomst av vattenförande sprickor i den övre berggrunden utefter den inledande rampsträckningen. Detta som underlag till den ridåinjektering som ska utföras från markytan före byggstart, samt den förinjektering som ska utföras under bygget av tunnelns övre delar. Underlag behövs även för ridåinjektering och injektering före respektive under uppförandet av skipschakt och andra schakt.

För att få ett preliminärt underlag till ovan nämnda frågeställningar har jord-/bergsonderingar och korta kärnborrhål redan utförts. En 3-D seismisk undersökning har utförts för att ge kompletterande information om berget längs den planerade rampen. Ytterligare geotekniska undersökningar kan komma att genomföras före och under detaljprojektering och byggstart.

Pilotborrhål för skipschakt

I de byggförberedande undersökningarna ingår även ett pilotborrhål vid planerat läge för skipschakt. Syftet med borrhålet är att få underlag till prognos av injekterings- och förstärkningsbehov vid sänkningen av skipschaktet. Av särskilt intresse för bedömning av injekteringsbehov är frekvens och fördelning av öppna vattenförande sprickor i sprickdomän FFM02.

Geologiska, geofysiska och hydrogeologiska undersökningar genomförs i kärnborrhålet. Vattenförande sprickor provtas för kemisk analys av grundvattnet.

För upprättande av anläggningsdelmodell och som underlag för SDM-SAR är verifiering av modellerade geologiska förhållanden generellt av intresse. Även om schaktet ligger vid sidan om förvarsområdet kommer borrhålet på djupet att tillföra kunskap om förhållanden på förvarsdjup. Av särskilt intresse för säkerhetsanalys är data om vattenförande sprickor och hydrogeokemi under ca 370 m djup (nedre gräns för toppförslutningen), liksom läge, orientering och egenskaper för deformationszoner, oberoende av observationsdjup.

Vid denna rapportens färdigställande har hålet borrats medan undersökningsprogram och modellering pågår.

Kontinuerliga undersökningar under drivning av skipschakt

Under drivningen av skipschaktet görs geologisk kartläggning av bergväggen i samband med att förstärkningsarbeten genomförs. Skipschaktet kommer att kläs med ”cementliner” utefter hela schaktet. Kartläggningen görs med RoCS-systemet som utvecklats och testats på Äspölaboratoriet. Med RoCS-systemet skapas på fotogrammetrisk väg ett geodetiskt korrekt kartunderlag på vilket de geologiska parametrarna läggs in. Tillämpningen av karteringsmetodiken kommer att anpassas så att den kan ske koordinerat med schaktsänkningen. Förutsättningar och förhållanden för kartering vid schaktsänkning medför troligen att karteringen till stor del får baseras på det fotogrammetriska underlaget.

Schaktsänkningen kommer att generera data från bergarbetena. Även om dessa inte är specifika detaljundersökningar kommer de att dokumenteras i databas som underlag för s.k. relationshandlingar. Exempel på sådana data är utflödesdata från sonderingsborrhål, mängd injekterat cementbruk, vattenförbrukning och utpumpat länsvatten för olika nivåer.

Bergspänningsmätningar under drivning av skipschakt

Som framhålls i SR-Site är ökad kunskap om bergspänningar och övriga bergmekaniska parametrar av intresse. På några nivåer i skipschaktet genomförs bergspänningsmätningar. I första hand används överborrningsmätningar med LVDT-metoden (Hakala et al. 2013) med konvergensmätningar som komplement. Dessa metoder har bäst förutsättningar att mäta från schakt, särskilt som det är data på horisontalspänningarna som behöver kompletteras. Vid konvergensmätningar borras mät-dubbar in i berget varefter förändringar i schaktets geometri orsakade av bergguttaget framför mätsektionen, och/eller tidsberoende deformationer, kan bestämmas genom att mäta in dubbarna mycket noggrant med laserteknik. Data från deformationsmätningen och uppgifter om deformationsegenskaper (E-modul) kan sedan användas för att bestämma huvudspänningarnas magnituder och orienteringar på den aktuella nivån.

Av särskilt intresse kommer data från den nedre delen av schaktet att vara eftersom de utgör underlag för fastställande eller justering av förvarsdjup och för justering av deponeringstunnlars orientering. På vilka nivåer mätningarna ska göras fastställs i det operativa programmet för tillfarer.

Pilotborrhål under rampdrivning

Den existerande kunskapen om förväntade bergförhållanden i den bergvolym som berörs av rampdrivningen bedöms som god. För bergarbetena är därför behovet av pilotborrhål främst begränsat till den övre sprickdomänen FFM02 där vattenförande sprickor är vanliga, samt därunder vid passage av deformationszoner som bedöms kunna medföra särskilda injekterings- och förstärkningsåtgärder. Var pilotborrning sker fastställs i operativt program och justeras därefter i samband med modellering och uppdatering av bergprognoser.

För säkerhetsanalysen finns det behov av att uppdatera DFN-modellen med mer högupplösta data från berget på förvarsnivå och däröver. Detta behov uppfylls med några pilotborrhål i den nedre delen av rampen, under ca 370 m djup. Data om vattenförande sprickor, bland annat för DFN-analyser och uppgifter om hydrogeokemiska förhållanden, är av särskild betydelse. Genom pilotborrhålens flacka lutning fås en god uppfattning om lateral variabilitet hos olika parametrar i förvarsberget. Framst är det förekomst, orientering och egenskaper av vattengenomsläppliga sprickor som är av intresse eftersom kvantitativ kunskap om sådana sprickor är svår att erhålla från den ordinarie tunnelkarteringen. Detta gäller även för grundvattenprovtagning. Även om den primära utgångspunkten är att erhålla ostörda vattenprover kan dock vattenprover som är störda av den pågående byggnationen av tillfarter vara till hjälp för att bättre förstå korttidsförändringar i hydrogeokemi och därmed även öka förståelsen av den hydrogeologiska situationen. Antalet pilotborrhål och omfattningen av borrhålsmätningar och grundvattenprovtagning fastställs i operativt program. För uppdatering av anläggningsdelmodell, se kapitel 8, och som underlag för SDM-SAR är läge, geometri och egenskaper av deformationszoner, oberoende av observationsdjup, av intresse.

Kontinuerliga undersökningar under drivning av ramp

Vid drivningen av rampen kommer data att registreras, såsom utflödesdata från sonderingsborrhål, mängd injekterat cementbruk, vattenförbrukning och utpumpat läsvatten. Vid behov kan flödes- och tryckuppbyggnadstester som möjliggör transient utvärdering utföras i sonderingshål. Berggrunden med dess sprickor och inflöden kommer att dokumenteras. Detta görs först genom översiktlig kartering vid aktuell tunnelfront främst för uppföljning av strukturer av betydelse för framdriftsprognoser samt uppmätning av tunnelkonturen. Detta följs av detaljerad kartering med RoCS-systemet på större avstånd bakom den aktiva drivningsfronten. Vid passage av deformationszoner kan förstärkning med sprutbetong medföra att karteringen delvis behöver baseras på fotografier.

Under denna rubrik sorterar även data från den kontinuerliga sonderingsborrning som kommer att genomföras med 4–5 sprängsalvors mellanrum, se figur 2-6, och som ger underlag för beslut om förinjektering, enligt i förväg fastlagda injekteringsklasser. Vid behov kan flödes- och tryckuppbyggnadstester utföras i sonderingshål.

Bergspänningsmätningar under drivning av ramp

På några ställen längs rampen kommer bergmekaniska undersökningar att genomföras för fastställande av bergspänningarnas magnituder och orienteringar, som komplement till mätningarna i skipschaktet. Undersökningarna inkluderar överborrningsmätningar (LVDT-metoden) och konvergensmätningar samt mekaniska parametrar från tester på borrhärnor. Mätprogrammets omfattning och var mätningarna utförs fastställs i operativt program.

Undersökningar av sprängskadezon, EDZ

Under 370 m djup finns konstruktionsförutsättningar avseende hydrauliska krav på eventuellt bildad och hydrauliskt konnekterad EDZ. Möjligheterna att uppfylla konstruktionsförutsättningarna för EDZ beror huvudsakligen på med vilken teknik berguttaget kommer att göras och att utförandet kvalitetskontrolleras. Metoder för kontroll av om någon hydrauliskt konnekterad EDZ förekommer har utvecklats och testats i Äspölaboratoriet (Ericsson et al. 2015).

Framst är det geofysiska metoder i kombination med geologisk dokumentation som planeras utefter rampen när metodik för berguttag trimmas för att klara det EDZ-krav som gäller från 370 m djup. Att sprängdesignen uppfyller hydrauliska krav på sprängskadezonen kommer att demonstreras och dokumenteras i en separat nisch i rampen innan man når 370 m djup. Härvid tillämpas en vidareutveckling av de karaktäriseringsmetoder, inklusive hydrauliska tester, som användes vid EDZ-försöket i Äspölaboratoriet. Vid behov justeras hur bergarbetena genomförs så att krav på EDZ uppfylls, varefter fortsatt uppföljning görs med geofysiska metoder och geologisk dokumentation i en omfattning som kommer att fastläggas i operativt program.

Undersökningar i samband med drivning av ventilations- och hisschakt

Ventilations- och hisschakten kommer att utföras genom stigortsborrning. Drivningen uppdelas i några steg och sker synkroniserat med rampbygget. Kunskapen om berggrunden när dessa schakt drivs kommer att vara hög och det informationsbehov som bergarbetena behöver bör uppfyllas av de pilotborrhål (ej kärnborrhål) som föregår den stegvisa stigortsborrningen. Efter avslutade drivningssteg kommer geologisk kartläggning av schaktvägg att ske från hiss-korg, alternativt från foton av bergväggar. Inflöden till schaktsegment mäts.

Vid behov kan ett pilotborrhål från markytan kärnborras vid schaktläget. Undersökningar i borrhålet genomförs på samma sätt som för pilotborrhål för skipschakt.

Bergets transportegenskaper

En beskrivning av bergets diffusions- och sorptionsegenskaper etablerades inom SDM-Site som utmynnade i en platsbeskrivande modell av transportegenskaperna med tillhörande retardationsmodell för Forsmark som sedan utnyttjades inom SR-Site. Inom ramen för detaljundersökningarna provtas berget, främst under 370 m, för verifierande laboratorieförsök. Resultatet av laboratorieförsöken utgör del av primärdata för upprättande av SDM-SAR och fortsatta analyser inför SAR.

Monitering av inflöde, grundvattentryck, hydrogeokemi och hydrokemi

Alltsedan platsundersökningen pågår omfattande monitering av meteorologiska, hydrologiska och hydrokemiska parametrar i Forsmarksområdets luft och ytvatten. Monitering sker även i ett stort antal borrhål avseende grundvattentryck, grundvattenflöde och hydrogeokemi (SKB 2007). Moniteringsprogrammet har utvärderats med avseende på behov av monitering under slutförvarets uppförande och drift (Berglund och Lindborg 2016). Dessa mätningar kommer i all väsentlighet att fortsätta under slutförvarets uppförande och drift. Vissa justeringar kan komma att göras, bland annat beroende på villkor avseende miljökontroll. Monitering pågår även vid Slutförvaret för kortlivat radioaktivt avfall (SFR). Denna monitering genomförs integrerat med moniteringen för Kärnbränsleförvaret.

Vid uppförandet av tillfarter kommer vattenförande delar av berggrunden att injekteras för att skapa goda förutsättningar för bergarbeten och drift. Det finns också en konstruktionsförutsättning som avser hur stort inflöde som kan accepteras till hela slutförvaret. Under hela slutförvarets uppförande och drift kommer mätningar av grundvatteninläckage att ske, dels på olika nivåer/anläggningsdelar och dels av det totalt utpumpade grundvattnet. Mätstationer börjar anläggas i tillfarterna och moniteringen byggs successivt ut i takt med anläggningens uppförande. Var mätstationer anläggs samt övriga specifikationer på mätningarna beskrivs i operativt program och inkluderas i moniteringsprogrammet som uppdateras allt eftersom nya moniteringsstationer/-borrhål upprättas. Även grundvattnets kemiska sammansättning kommer att analyseras. Eventuellt tillkommande underökningsborrhål kommer att moniteras.

Resultat från moniteringen används inom ramen för miljökontrollprogrammet samt utgör indata för modellering av grundvattenflöde och hydrogeokemi.

Allt industrivatten som tillförs anläggningen ska märkas med ett stabilt spårämne. Anledningen är att man då kan kontrollera om de vattenprover som tas i anläggningen för kemisk analys är opåverkat grundvatten eller om de är kontaminerade av tillfört vatten och i så fall i vilken omfattning. För att kontrollera kemin på det tillförda vattnet, och att andelen spårämne är konstant, tas regelbundet prover på detta vatten.

Seismisk monitering

En seismisk station upprättades i Forsmark under platsundersökningen och utgör nu en del av det svenska seismiska nätverket. I god tid innan uppförandet av tillfarter påbörjas, kompletteras denna med ett lokalt seismiskt nät med högre upplösning så att även seismiska händelser med lägre magnitud kan registreras (Berglund och Lindborg 2016). Mätningarna förväntas ge information om

deformation av bergmassan som respons av tunnel/schaktdrivning, vilket bidrar till ökad kunskap om var sådan deformation förekommer och utgör därmed underlag för hur stor påverkan tunnlar/schakt har på omgivande berggrund. Förväntan är att även deformation i strukturer (sprickor och deformationszoner) ska kunna påvisas, vilket planeras att användas för att förfina strukturmodellerna.

SKB har tidigare under en period genomfört GPS-mätningar på några mätpunkter för att identifiera relativa rörelser mellan bergblock. Ett nytt monitoringsprogram med GPS eller annat GNSS (Global Navigation Satellite System) som inkluderar ett tiotal mätpunkter utförs för att detektera eventuella rörelser över utvalda större deformationszoner i Forsmarksområdet. Information från seismisk monitoring och GNSS-monitoring används främst vid upprättande av beskrivande geologiska modeller.

Modellering

Innan uppförandet av tillfarter påbörjas innebär modelleringsarbetet framförallt framtagande av en anläggningsdelmodell för tillfartsområdet, se vidare kapitel 8. Modellen baseras på underlag från SDM-Site (data och modeller) och dess underlagsrapporter, kompletterat med data från de byggförberedande undersökningarna, inklusive de pilotborrhål för skipschakt och ramp som borrar från markytan. Även data från hydrogeologisk och hydrogeokemisk monitoring används. Under uppförandet uppdateras de geologiska och hydrogeologiska modellerna regelbundet medan modelleringar av hydrogeokemiska, bergmekaniska och termiska förhållanden samt bergets transportegenskaper görs mer sällan. Bergmekanisk modellering görs framför allt för att beskriva bergspänningssituationen och när nya mätdata föreligger.

Prioriterade uppgifter för modelleringen innan byggstart är att:

- Presentera en uppdaterad modell av deformationszoner i anläggningsdelskala av de bergvolymerna som berörs av tillfarterna.
- Längs ramp och schakt upprätta en detaljerad prognos för partier som kan vara behäftade med stabilitetsproblem och/eller stora inflöden. Särskilt för inflöden kommer prognosen att vara osäker även om värdefull information erhålls från ridåinjektering i den övre berggrunden. Drivningen av tunnel/schakt görs därför med systematisk sonderingsborrning från tunnel/schakt för att styra behov och omfattning på injekteringen.
- Ge underlag (prognoser) för bedömning av schakt- och rampdrivningens effekter på den omgivande miljön.

Som nämns tidigare är det för säkerhetsanalys av intresse att förutom EDZ generellt öka kunskapen om förvarsberget avseende förekomsten och egenskaper hos sprickor och deformationszoner (för DFN-analys och identifiering av kritiska strukturer) samt bergmekaniska (främst bergspänningar) och hydrogeokemiska förhållanden.

Prioriterade uppgifter för modelleringen under uppförandet av tillfarter är att:

- Beskriva bergspänningssituationen som tillsammans med förekomsten av subhorisontella zoner är underlag för fastställande av förvarsdjup.
- Ge underlag för eventuell justering av layout av centralområde och det första deponeringsområdet.
- Ge underlag till successivt uppdaterade prognoser av förstärkningsbehov och behov av pilotborrning.
- Ge underlag till eventuella särskilda åtgärder, t.ex. som stöd vid analyser av karakteriseringsinsatser av EDZ under bergarbetena för tillfarterna.
- Verifiera och detaljera förhållanden beskrivna i SDM-Site rörande förvarsbergets egenskaper med hjälp av data från de nedre delarna av tillfarterna.

Modelleringsarbetets innehåll och omfattning kommer att specificeras i operativa program med metodik som beskrivs i uppdaterade metodikrapporter (för ämnesvis och integrerad modellering) som underlag.

Den modellering som kommer att genomföras steg för steg under uppförandet innefattar enhålstolkning av pilotborrhål, uppdatering av arbetsmodeller i tunnelskala som beskriver delar av ramp och schakt med utgångspunkt från karteringsresultat och byggrelaterade data. Dessa resultat integreras därefter genom uppdatering av anläggningsdelmodellen. Integrationen av modeller i olika skalor, liksom mellan de olika tillfarterna, är strategisk för modelleringen av hela tillfartsvolymen och uppdateringen av prognoser under uppförandet. Givet att centralområdet börjar byggas innan tillfarterna är klara kommer anläggningsdelsmodellen att utökas för att även inkludera centralområdet.

Exempel på utredningar av specifika frågor är modellering av avsänkning av grundvattenytan i anslutning till känsliga miljöer på markytan samt analys av förekomst och utsträckning av episyenit (porös granit) och dess betydelse för grundvattenflöde.

En mer omfattande uppdatering av den platsbeskrivande modellen, från SDM-Site till SDM-SAR, kommer att göras mot slutet av uppförandeskedet, se kapitel 6. Denna uppdatering utgör underlag för den säkerhetsredovisning (SAR) som i sin tur kommer att utgöra underlag för ansökan om provdrift. Med en modelleringsprocess som redan från byggstart kontinuerligt inkluderar resultat från undersökningarna under uppförandet i arbetsmodeller kommer den platsmodellering som ingår i SDM-SAR att vara väl beredd, se kapitel 8.

5 Detaljundersökningar vid uppförande av centralområde

5.1 Anläggningsdelar

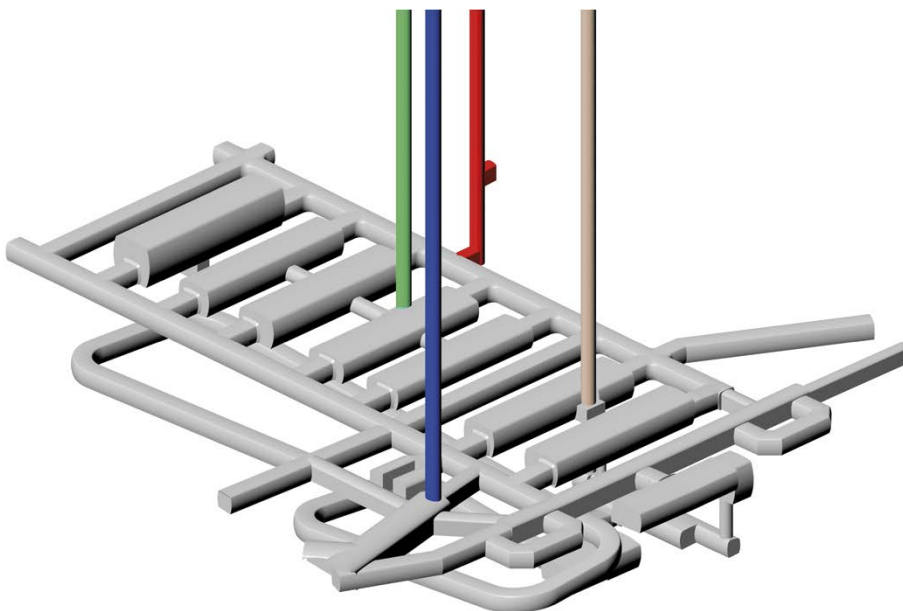
Centralområdet innehåller utrymmen för de funktioner och processer för drift och underhåll som behöver ligga nära förvarsområdet, se figur 5-1. Området är indelat i ett antal separata bergtrum, benämnda hallar, samt tunnelsystem under och ovanför hallarnas nivå avsedda för olika funktioner. De flesta hallarna är i princip likadant utformade med bredden ca 15 m, höjden ca 10 m och längden ca 65 m.

Tunnlar runt centralområdet förbinder hallarna med varandra och med förvarsområdet samt med rampen. Tunnlar mellan hallarna och schakt används för transport, kommunikation, tekniska system, utrymning mm. Vidare finns en tunnel som förbinder berglaststationens olika nivåer.

Utbyggnaden av centralområdet påbörjas när skipschaktet nått förvarsdjup och sker alltså inledningsvis samtidigt som bygget av rampens djupare delar pågår. Även tunneldrivningen mot det första deponeringsområdet och genomförandet av integrationstester sker parallellt med utbyggnaden av centralområdet. Hur framdriften av de tre anläggningsdelarna kommer att ske i detalj kommer att bestämmas vid detaljprojektering med beskrivning av detaljundersökningar i de operativa programmen.

5.2 Informationsbehov

Detaljundersökningar i centralområdet ska ge nödvändigt bergtekniskt underlag som stöd till uppförandet av centralområdet. Insamlade primärdata och upprättade modeller har inte någon direkt avgörande betydelse för infriande av konstruktionsförutsättningar vad avser säkerhet efter förslutning.



Figur 5-1. Vy över centralområdet med nedre delar av ramp och schakt. Blått representerar tilluftschakt, rött frånluftschakt, grönt hisschakt och brunt skipschakt.

Även om undersökningarna inte primärt är inriktade på att verifiera att konstruktionsförutsättningar är uppfyllda behöver de ge underlag för verifiering av förvarsbergets egenskaper och förhållanden eftersom centralområdet ligger i samma berggrund som närliggande förvarsdelar. De ska även ge underlag för uppdaterad platsmodell och detaljprojektering av närbelägna förvarsdelar. Underlagen används senare för uppdatering av den analys av säkerhet efter förslutning som ingår i den säkerhetsredovisning (SAR) som görs inför ansökan om provdrift, se kapitel 6. Viktiga undersökningar avser bergmekaniska egenskaper och förhållanden, förekomst av potentiella kritiska strukturer, övrig information om sprickors geometrier, förekomst av vattenförande sprickor samt grundvattnets kemiska sammansättning. Även information om uppträdande och heterogenitet hos berggrund med låg termisk ledningsförmåga (främst amfibolit) är betydelsefull, liksom eventuell förekomst av episyenit.

Centralområdet erbjuder också genom sin geometri möjligheter till provning av strategier och metoder för detaljundersökningar för deponeringsområden, inklusive identifiering och karakterisering av potentiella kritiska strukturer.

Detaljundersökningarna för centralområdet kommer att specificeras i ett operativt program. De aktiviteter som beskrivs nedan baseras på vad som är känt i dag och de informationsbehov som finns från projektering/bergarbeten samt säkerhetsanalys.

5.3 Aktiviteter

Detaljundersökningar i samband med uppförande av centralområdet omfattar nedanstående aktiviteter. En sammanfattning av aktiviteter och motiv till dessa finns i tabell 5-1. Efter tabellen följer en beskrivning av aktiviteterna. I anslutning till detaljprojektering kommer operativa program för detaljundersökningar att upprättas för detaljerad styrning av genomförandet.

- Pilotborrhål för hallar och tunnlar.
- Kontinuerliga undersökningar under drivning av hallar och tunnlar.
- Test av metodik för identifiering och karakterisering av kritiska strukturer för deponeringspositioner.
- Test av metodik avseende förekomst och rumslig utbredning av amfibolit.
- Geometrier och egenskaper hos deformationszoner.
- Bergmekaniska förhållanden.
- Bergets transportegenskaper.
- Monitering av inflöde, grundvattentryck, hydrogeokemi och hydrokemi.
- Seismisk monitering.
- Modellerings.

Utöver detta behöver det finnas beredskap för riktade detaljundersökningar om strukturer eller andra förhållanden påträffas som signifikant avviker från förväntat utfall.

Tabell 5-1. Geovetenskapliga undersökningar vid uppförande av centralområde. Aktiviteterna presenteras huvudsakligen i sekventiell ordning. Vissa aktiviteter återkommer dock vid två eller flera tillfällen. Samtliga pilotborrhål utförs som kärnborrhål.

Aktivitet	Beskrivning	Motiv
Pilotborrhål för hallar och tunnlar	<p>Pilotborrhål genom deformationszoner som bedöms vara signifikant mer vattengenomsläppliga än omgivande berg, eller kunna medföra ökat förstärkningsbehov.</p> <p>Pilotborrhål för vissa tunnlar och hallar för att öka kunskapen om förvarsberget, inklusive utökat underlag för DFN-modellering.</p> <p>Omfattning av pilotborrhål fastställs i operativt program.</p> <p>Geologiska, geofysiska och hydrogeologiska borrhålsundersökningar. Vattenprovtagning.</p>	<p>Underlag för:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Injekterings- och förstärkningsbehov. – Uttagssekvenser. – Verifiering av modellerade geovetenskapliga förhållanden och uppdatering av anläggningsdelmodell. – Test av metodik för identifiering av kritiska strukturer. – SDM-SAR.
Kontinuerliga undersökningar under drivning av hallar och tunnlar	<p>Geologisk/hydrogeologisk kartläggning av bergväggar. Data från sonderingsborrhål samt övrig byggrelaterad information.</p>	<p>Underlag för:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Injekterings- och förstärkningsbehov. – Verifiering av modellerade geovetenskapliga förhållanden och uppdatering av anläggningsdelmodell. – SDM-SAR. – Dokumentation av geometriska och geologiska förhållanden.
Test av metodik för identifiering och karakterisering av kritiska strukturer för deponeringspositioner	<p>Kartläggning av FPI:er (indikatorer för kritiska strukturer) som skär en eller flera tunnlar och hallar samt geofysisk och hydrologisk metodik för att bestämma deras utbredning i sidoberget. Kartläggningen ger inledande information för plats-specifik kunskapsuppbyggnad rörande förekomst av potentiella kritiska strukturer i förvarsberget.</p> <p>Centralområdets parallella berghallar, med orientering som liknar deponeringstunnlarna, erbjuder testmöjligheter, inför den verifiering av metodik som ska göras inom ramen för integrationstester (kap 6).</p>	<p>Test av metodik som ska användas i deponeringstunnlar vid val och godkännande av kapselpositioner. Underlag för:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Verifiering av modellerade geovetenskapliga förhållanden och uppdatering av anläggningsdelmodell. – SDM-SAR. – Prognos avseende bortfall av kapselpositioner för närliggande förvarsområden.
Test av metodik avseende förekomst och rumslig utbredning av amfibolit	<p>Kartläggning av förekomster av amfibolit och andra basiska bergarter med lägre termisk ledningsförmåga. Test av geologiska och geofysiska metoder för att bestämma deras rumsliga utbredning och fördelning.</p>	<p>Test av metodik för användning i deponeringstunnlar vid val och godkännande av kapselpositioner. Underlag för:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Verifiering av modellerade geovetenskapliga förhållanden och uppdatering av anläggningsdelmodell. – SDM-SAR. – Prognos avseende bortfall av kapselpositioner för närliggande förvarsområden.
Geometrier och egenskaper hos deformationszoner	<p>Kartläggning av deformationszoner i pilotborrhål, tunnlar och hallar. Borrhålsmätningar av hydrogeologiska och övriga egenskaper. Om vattenförande sprickor påträffas tas vattenprover. Vid pilotborrhålsborrning registreras tryckresponser i andra borrhål. Omfattning enligt operativt undersökningsprogram.</p>	<p>Underlag för:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Injekterings- och förstärkningsbehov. – Verifiering av modellerade geovetenskapliga förhållanden och uppdatering av anläggningsdelmodell. – Eventuell justering och successiv anpassning av centralområdets layout. – SDM-SAR.
Bergmekaniska förhållanden	<p>Borrhål/borrkärna, tunnlar och hallar inspekteras för observationer av spjälkning och annan instabilitet. Vid behov bestämning av bergmekaniska parametrar på borrhållar samt bergspänningsmätningar. Omfattning beskrivs i operativt program.</p>	<p>Underlag för:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Verifiering av modellerade bergmekaniska förhållanden och uppdatering av anläggningsdelmodell. – SDM-SAR.

Aktivitet	Beskrivning	Motiv
Bergets transportegenskaper	Provtagning och laboratorieförsök för bestämning av bergets diffusions- och sorptionsegenskaper	Underlag för: – Verifiering av retardationsmodell. – SDM-SAR.
Monitering av inflöde, grundvattentryck, hydrogeokemi och hydrokemi	Fortsatt monitering i borrhål från markytan och eventuellt tillkommande borrhål. Under uppförandet av centralområdet tillkommer nya monitoringspunkter för inflöden vid mätvallar i enskilda tunnlar och hallar samt total mängd utpumpat dränagevatten och dess kemiska sammansättning. Provtagning för kontroll av tillfört vatten (kemiska sammansättning och spårämne). Uppföljning av monitering kopplad till SFR.	Underlag för: – Miljökontroll. – Verifiering av modellerade geovetenskapliga förhållanden och uppdatering av anläggningsdelmodell. – SDM-SAR. – Förståelse av ömsesidig påverkan mellan SFR och Kärnbränsleförvaret.
Seismisk monitering	Fortsatt monitering av nationellt och lokalt seismiskt nät för registrering av seismiska händelser. GNSS-monitering fortsätter.	Underlag för: – Bedömning av påverkan av tunnlar/schakt på omgivande berggrund. – SDM-SAR.
Modellering	Kontinuerlig uppdatering av arbetsmodeller gemensamma för tillfarts- och centralområdet, främst i tunnelskala och i anläggningsdelskala. Modellering för bergarbetenas behov. Modellering som förberedelse för uppdatering av platsmodellen till SDM-SAR. Modellering för utredning av specifika frågor. Modelleringen integreras till stor del med modelleringen för tillfarter och inledande modellering av det första deponeringsområdet. Analys av ömsesidiga effekter mellan anläggningsdelar där samtidiga aktiviteter planeras ske och implikationer av dessa.	Underlag för: – Eventuell justering och successiv anpassning av centralområdets layout. – Kontinuerligt uppdaterat program avseende injekterings- och förstärkningsbehov. – Verifiering av modellerade geovetenskapliga förhållanden och uppdatering av anläggningsdelmodell. – SDM-SAR. – Stöd till undersökningar av kritiska strukturer.

Pilotborrhål för hallar och tunnlar

Drivningen av vissa tunnlar och hallar kommer att föregås av pilotborrhål. Omfattningen kommer att framgå av det operativa programmet vid vars upprättande det finns mer omfattande information från uppförandet av tillfarter som kommer att påverka såväl läge och omfattning av pilotborrhål. För projektering/bergarbeten och för verifiering och uppdatering av SDM kommer undersökningar av deformationszoner att vara viktiga.

Vissa deformationszoner kan utgöra potentiellt kritiska strukturer. Förutom möjligheten att i centralområdet testa metodik för identifiering och karaktärisering av sådana strukturer, kan uppgifter om deras förekomst användas till prognoser avseende bortfall av kapselpositioner för närliggande försvarsområden. Ur denna aspekt är data från pilotborrhål som kan användas till att identifiera potentiella kritiska strukturer av särskilt intresse. Därutöver används sprickdata, särskilt om vattenförande sprickor, vid uppdatering av DFN-modeller, se avsnitt 4.3. Från borrhåll tas prover för bestämning av geofysiska och bergmekaniska parametrar. Om vattenförande sprickor påträffas tas vattenprov för kemiska analyser, efter en bedömning av behov och relevans.

Kontinuerliga undersökningar under drivning av hallar och tunnlar

Som beskrivits tidigare kommer drivningen av tunnlar och hallar att generera data, t ex utflödesdata från sonderingsborrhål, mängd injikerat cementbruk, vattenförbrukning och utpumpat länsvatten, som löpande dokumenteras i databas. Vid behov kan flödes- och tryckupbyggnadstester som möjliggör transient utvärdering utföras i sonderingshåll. Berggrunden med dess huvudbergarter, liksom förekomst av viktiga underordnade bergarter, dokumenteras med RoCS-systemet, liksom sprickor

och inflöden. Karteringens omfattning och detaljeringsgrad för olika hallar och tunnlar beskrivs i operativt program.

Test av metodik för identifiering och karakterisering av kritiska strukturer för deponeringspositioner

Centralområdets tunnlar och hallarna kan ge möjlighet att testa metodiken för identifiering och klassning av kritiska strukturer enligt beskrivningen i avsnitt 3.2. I centralområdet kan metodiken provas i förvarsberg, för att sedan kunna verifieras under integrationstesterna i det första deponeringsområdet. Oavsett vad metodstudierna leder fram till bedöms den viktigaste aspekten gällande de kritiska strukturerna vara den platsspecifika kunskap som successivt byggs upp under slutförvarets driftskede och som successivt integreras i ökad platsförståelse och modeller i olika skalor.

Den deterministiska kunskapen (databasen) om kritiska strukturer kan inledningsvis byggas upp genom systematisk kartering av FPI:er som indikatorer för kritiska strukturer i centralområdets tunnlar och hallar, inklusive tolkning av sådana som kan sammanbindas och därmed ge indikation om utbredning. Till detta bidrar geologisk och hydraulisk information från pilotborrhål. Centralområdet har en gynnsam geometri i relation till deponeringstunnlarna i förvarsområdet. Kunskapen om strukturernas verkliga storlek ger kompletterande platsspecifik kunskap. För skjuvning längs en kritisk struktur är det inte bara den geometriska storleken som är avgörande utan undersökningarna behöver också ge information om strukturernas ytegenskaper (friktion) och dess orientering i relation till bergspänningarna. Data om ytegenskaper ingår i datainsamlingen om dessa strukturer medan bergspänningarna är tillräckligt kända för detta avseende, men kommer av andra skäl att mätas ytterligare.

Detaljerad sprickkartering av hallarna med sina större dimensioner än deponeringstunnlarna ger ett gott underlag för bestämning av sprickstorleksfördelningen vid uppdateringen av DFN-modeller, som utgör underlag för prognoser om kritiska strukturers förekomst i kommande deponeringsområden. Samtidigt byggs successivt en empirisk databas upp liksom en ökad förståelse om kritiska strukturers förekomst, attribut och egenskaper, samt vilka undersökningsmetoder som är utslagsgivande.

Test av metodik avseende förekomst och rumslig utbredning av amfibolit

Amfibolit och andra basiska inneslutningar har lägre termisk ledningsförmåga än den kvartsrika metagranit som utgör huvudbergart i förvaret. Skulle större inneslutningar av amfibolit förekomma kan detta påverka avståndet mellan kapslar och därmed leda till bortfall av kapselpositioner.

I SDM-Site har förekomsten av amfibolit beskrivits statistiskt. Geologisk och geofysisk kartläggning i centralområdet med sina hallar och tunnlar över och under hallarna kommer därför att användas för att belysa förekommande amfibolitkroppars storleksfördelning och rumslig utbredning. Resultatet används för prognoser av amfibolitförekomster i närbelägna förvarsområden och därmed som underlag för bedömning av bortfall av kapselpositioner samt mer generellt vid uppdatering av SDM-Site.

Geometrier och egenskaper hos deformationszoner

Deformationszoner som förekommer i centralområdet undersöks med avseende på geometri (läge, orientering, tjocklek och utbredning) och egenskaper som underlag för injekterings- och förstärkningsåtgärder under uppförande av centralområdet samt för identifiering av potentiella kritiska strukturer och för uppdatering av SDM-Site. Innan centralområdet byggs förväntas undersökningar i tillfarterna att ytterligare ha preciserat geometrier hos vissa av de aktuella deformationszonerna.

De undersökningar som kontinuerligt genomförs under uppförandet av centralområdet, kombinerat med pilotborrhål genom förväntade deformationszoner, förväntas ge det underlag som behövs. Vid borring av pilotborrhål registreras tryckresponser i andra borrhål, inklusive närliggande parallella instrumenterade pilotborrhål. Om någon eller några av deformationszonerna är vattenförande kan hydrauliska interferenstester, förutom för verifiering av hydrauliska samband och utsträckning av deformationszoner mellan borrhål, även ge detaljerad kunskap om deras hydrauliska materialegenskaper. Vattenprover tas för kemiska analyser. Behovet och de faktiska möjligheterna i relation till centralområdets uppförande styr omfattningen av sådana undersökningar, vilket kommer att framgå av det operativa undersökningsprogrammet.

Bergmekaniska förhållanden

Under utsprängningen av hallar och tunnlar kommer bergväggar att inspekteras och förstärkningar görs där instabilitet, i form av spjälkning, observeras eller kan förväntas. Sådana observationer dokumenteras och kan komma att styra var ytterligare bergmekaniska studier genomförs. Detta kan innebära provtagning av borrhämlor för bestämning av bergmekaniska parametrar samt kompletterande bergspänningsmätningar.

Bergets transportegenskaper

Berget provtas för verifierande laboratorieförsök där resultatet av laboratorieförsöken utgör indata till upprättande av SDM-SAR och fortsatta analyser inom SAR.

Monitering av inflöde, grundvattentryck, hydrogeokemi och hydrokemi

Under uppförandet av centralområdet fortsätter moniteringen på samma sätt som under uppförandet av tillfarter, se avsnitt 4.3. och kan eventuellt kompletteras med monitering i tillkommande (temporära) undersökningsborrhål under jord.

Förutom hydrogeologisk och hydrogeokemisk monitering i existerande borrhål från platsundersökningen tillkommer monitering i mätvallar för dokumentation av inläckande grundvatten till olika hallar och tunnelavsnitt. Mätvallarna byggs ut successivt och kommer att beskrivas i det operativa programmet. Mängd utpumpat länsvattnet mäts kontinuerligt och regelbundet tas vattenprover för kemiska analyser. Även det tillförda vattnet till anläggningen analyseras och kontrolleras med avseende på konstant koncentration av spårämne.

Seismisk monitering

Under uppförandet av centralområdet fortsätter den seismiska moniteringen, såväl med det nationella seismiska nätet som med det lokala seismiska nätet. Det lokala seismiska nätet byggs successivt ut med nya mätstationer. GNSS-monitering fortsätter för att detektera eventuella rörelser över utvalda större deformationszonerna i Forsmarksområdet. Informationen används främst vid upprättande av beskrivande geologiska modeller.

Den seismiska moniteringen kan även ge information om deformation av bergmassan som en följd av tunneldrivning. Detta bidrar till ökad kunskap om var sådan deformation förekommer och därmed underlag för hur stor påverkan tunneldrivningen har på omgivande berggrund. Möjligen kan även deformation i strukturer (sprickor och deformationszoner) påvisas.

Modellering

Under uppförandet av tillfarter har undersökningarna resulterat i arbetsmodeller av främst geologiska och hydrogeologiska förhållanden i tunnel- och anläggningsdelskala. Modellering av centralområdet sker delvis integrerat med modellering av tillfarterna och det första deponeringsområdet i en samlad anläggningsdelmodell, givet att dessa delvis byggs parallellt. En sådan integrerad modell ger även möjlighet att analysera effekter av samtidigt pågående aktiviteter i de olika förvarsdelarna. Modelleringsresultatet ligger bland annat till grund för eventuell justering och anpassning av layouten på centralområdets olika delar.

Vissa aktiviteter kan komma att kräva särskilda insatser från modellering, speciellt i tränings- syfte inför det första deponeringsområdet samt för utveckling och test av undersöknings- och modelleringsmetodik för deponeringstunnlar. Det gäller främst förekomst och rumslig utbredning av amfibolit, DFN-modellering, metodik för identifiering, karakterisering och klassning av kritiska strukturer samt geometrier och egenskaper hos deformationszoner. Vid förekomst av episyenit kan det finnas behov av modellering avseende dess utbredning och betydelse för grundvattenflöde.

I och med att bergarbetena nu bedrivs på förvarsdjup kommer även modellering av hydrogeokemiska, bergmekaniska och termiska förhållanden samt av bergets transportegenskaper att genomföras, delvis som förberedelse till uppdateringen av platsmodellen till SDM-SAR, se kapitel 6.

6 Detaljundersökningar vid integrationstester och samfunktionsprovning samt avgränsning av första deponeringsområdet

Detta kapitel beskriver de detaljundersökningar som genomförs i det första deponeringsområdet innan deponering av använt kärnbränsle inleds. Dessa detaljundersökningar är huvudsakligen relaterade till två tunnlar för integrationstester och samfunktionsprovning som utformas på samma sätt som kommande deponeringstunnlar. Utförandet beskrivs i avsnitt 6.3.1. Innan driftskedet inleds byggs också den första tunnelslingan färdigt varvid detaljundersökningar också genomförs för att avgränsa det första deponeringsområdet, se beskrivning i avsnitt 6.3.2. Det bör observeras att utförandet av dessa delar delvis sker samtidigt som utförandet av centralområdet ännu pågår.

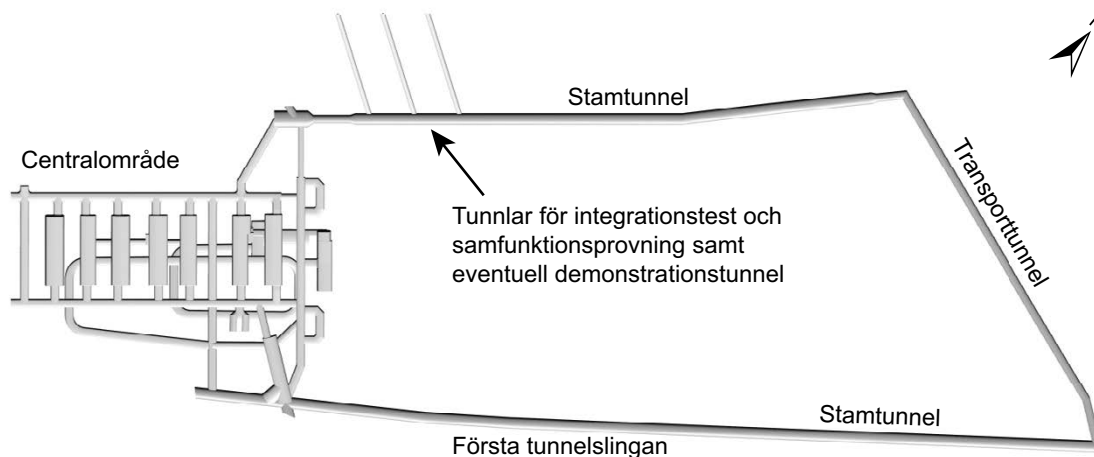
Syftet med integrationstester och samfunktionsprovning är att verifiera att processerna för berguttag och deponering i Forsmarks förvarsberg kan genomföras så att säkerhet efter förslutning kommer att uppfyllas. Integrationstesterna består egentligen av två delar, integrationstest för utbyggnad och integrationstest för deponering. Provning görs av alla aktiviteter som ska tillämpas vid utbyggnad av bergutrymmen respektive deponering av kapslar med använt kärnbränsle. För eventuella behov av mer långsiktig demonstration av processer av betydelse för säkerhet efter förslutning kan en tredje tunnel komma att uppföras. Behovet av denna utreds för närvarande, inklusive vilka demonstrationsförsök som i så fall skall genomföras. I denna rapport antas att en sådan tunnel byggs.

Vid integrationstest för utbyggnad provas och godkänns de strategier och metoder för detaljundersökningar som ska användas vid val av lägen för deponeringstunnlar och deponeringshål samt vid verifiering av att konstruktionsförutsättningarna är uppfyllda. Vid integrationstesten för utbyggnad innebär det att de färdiga deponeringshålen kan användas vid integrationstest för deponering respektive för samfunktionsprovning. Vid integrationstest för deponering verifieras på motsvarande sätt deponeringsprocessen med användande av dummy-kapslar (inget radioaktivt avfall), buffert samt återfyllning och plugning av deponeringstunnel. Vid samfunktionsprovning upprepas detta, men nu är all infrastruktur och funktioner för deponeringsverksamheten på plats så att hela deponeringsprocessen kan verifieras. Tunnelarna för integrationstester och samfunktionsprovning kan även senare komma att utnyttjas för olika demonstrationsförsök med syfte att platsspecifikt studera barriärernas utveckling efter genomförd deponering. Vid sådana försök kan även kapslar med inbyggda värmare komma att användas för att kunna skapa en miljö som liknar den som uppstår kring en kapsel med använt bränsle.

Efter samfunktionsprovningen begärs medgivande om tillstånd att påbörja provdrift. I ansökan kommer bland annat en uppdaterad platsbeskrivande modell att redovisas, benämnd SDM-SAR, som är ett av flera underlag för den säkerhetsanalys (SAR) som ingår i ansökan. En planeringsförutsättning för rapporten är att endast resultat från detaljundersökningarna i och mellan pilotborrhålen för deponeringstunnlarna för integrationstest och samfunktionsprovning ingår i underlaget för SDM-SAR. Resultaten från övriga detaljundersökningar i tunnelarna fram till verifiering av konstruktionsförutsättningar för deponeringshål är uppfyllda utgör ett kompletterande underlag till ansökan om provdrift.

6.1 Anläggningsdelar

Integrationstester och samfunktionsprovning genomförs i tunnlar som drivs från den första (norra) stamtunneln som ska användas för utbyggnaden av det första deponeringsområdet. Dessa tunnlar utformas som korta deponeringstunnlar och används för verifiering av metodik. De utgår från en stamtunnel som tillsammans med den yttre transporttunneln och en andra stamtunnel utgör den första slingan, se figur 6-1. Utbyggnad av den första slingan utgår från centralområdet. I detta läge pågår fortfarande bergarbeten och installationer i centralområdet.



Figur 6-1. Planerade lägen i början av den första tunnelslingan för två tunnlar för integrationstester och samfunksprovning samt en eventuell tredje tunnel för demonstration av processer av betydelse för säkerhet efter förslutning. Centralområdet och den första tunnelslingans läge i relation till förvarsområdet framgår av figur 2-3.

Tunnelbygget för första slingan fortsätter under tiden som integrationstest för utbyggnad pågår. Möjligheten att realisera detta utan ömsesidiga störningar analyseras med hjälp av den integrerade anläggningsdelmodellen som innefattar berörda anläggningsdelar. Eftersom integrationstest för utbyggnad omfattar ett par deponeringstunnlar i förvarsberg kan lärdomar om undersökningar och byggande från den första tunneln användas vid genomförandet av nästa tunnel. De samlade erfarenheterna från integrationstest för utbyggnad avseende de moment som är kopplade till förhållanden i berggrunden kommer att utvärderas. Detta ska leda till att metodik och rutiner för placering, drivning och detaljundersökningar inför och under utbyggnaden av deponeringsområden som är av betydelse för förvarets säkerhet kan kvalificeras.

6.2 Informationsbehov

Drivningen av de stam- och transporttunnlar som ingår i första slingan behöver information för bedömning av injekterings- och förstärkningsbehov. Beroende på det kunskapsläge som då är etablerat kan ytterligare kärnborrhål behövas för avgränsning av första deponeringsområdet. Information för beslut om uppförande, utförande och godkännande av deponeringstunnlar och deponeringshål beskrivs i kapitel 7 men verifieras inom integrationstest för utbyggnad som beskrivs i detta kapitel.

Integrationstest för utbyggnad avser aktiviteter som ska tillämpas i deponeringsområden under driftskedet. Aktiviteterna omfattar därmed alla undersökningar och modelleringar som krävs, från beslut om placering och längd av deponeringstunnel till beslut om godkännande av deponeringshål. Drivningstekniken för bergguttaget behöver verifieras så att den uppfyller konstruktionsförutsättningar för EDZ.

Under integrationstesterna tillämpas systematiskt undersöknings- och modelleringsmetodik för deponeringstunnlar och deponeringshål för första gången i deponeringstunnlar i Forsmark. Det medför att det behöver finnas tid för finslipning/justering av metodiken, träning av personal och fastställande av rutiner för alla moment.

6.3 Aktiviteter

I avsnitt 6.3.1 beskrivs undersökningar i samband med integrationstest för utbyggnad för verifiering av metodik för anpassning av deponeringstunnlar till lokala bergförhållanden och uppfyllelse av konstruktionsförutsättningar för deponeringstunnel och deponeringshål. I avsnitt 6.3.2 beskrivs undersökningar för avgränsning av det första deponeringsområdet.

6.3.1 Integrationstest för utbyggnad

En sammanfattning av detaljundersökningsaktiviteter vid integrationstest för utbyggnad, med motiveringar, finns i tabell 6-1. Efter tabellen beskrivs aktiviteterna mer utförligt. Observera att pilotborrning med undersökningar görs först för samtliga tre tunnlar. Därefter byggs den första tunneln och deponeringshål tillreds varvid verifierande tester av detaljundersökningsmetoder utförs. Därefter görs utvärdering och eventuell förbättring av teknik och metodik innan en uppdaterad bygg- och tillredningsprocess, inklusive undersökningar, tillämpas i nästa tunnel.

Detaljundersökningarna bidrar med underlag vid verifiering av följande moment och beslut:

- Val av lägen för deponeringstunnlar och deponeringshål.
- Drivning av deponeringstunnel och borrning av deponeringshål.
- Godkännande att deponeringstunnel och deponeringshål uppfyller konstruktionsförutsättningar.

De undersökningsaktiviteter som genomförs vid dessa moment är:

- Pilotborrhål för stam- och transporttunnel.
- Kontinuerliga undersökningar under drivning av stam- och transporttunnel.
- Pilotborrhål för deponeringstunnlar.
- Hydrauliska interferenstester och geofysiska mellanhålsmätningar.
- Kontinuerliga undersökningar under drivning av deponeringstunnel.
- Pilotborrhål för deponeringshål vid deponeringspositioner.
- Undersökningar avseende konstruktionsförutsättningen för kritiska strukturer i deponeringshål.
- Kartläggning och mätningar av deponeringshål.
- Bergspänningsmätningar och kontroll av mekanisk stabilitet.
- Undersökningar av sprängskadepzon, EDZ.
- Bergets transportegenskaper.
- Monitering av deponeringstunnel och deponeringshål.
- Monitering av inflöde, grundvattentryck, hydrogeokemi och hydrokemi.
- Seismisk monitering.
- Modellerings.

Tabell 6-1. Geovetenskapliga undersökningar vid utbyggnad av den första tunnelslingan och vid integrationstest för utbyggnad. Aktiviteterna presenteras huvudsakligen i sekventiell ordning. Vissa aktiviteter återkommer dock vid två eller flera tillfällen. Samtliga pilotborrhål utförs som kärnborrhål.

Aktivitet	Beskrivning	Motiv
Pilotborrhål för stam- och transporttunnel	Kontinuerlig pilotborrning tillämpas i stam- och transporttunnlar. För undersökningar i pilotborrhål i deponeringsområden kommer en standard för geologiska, geofysiska, hydrogeologiska och hydrogeokemiska borrhålsundersökningar att tillämpas, för fastläggande till driftskedet.	Tillämpning, verifiering och vidareutveckling av metodik för detaljundersökningar avseende: – Kontroll av konstruktionsförutsättnings uppfyllelse. – Preliminära val av lägen för deponeringstunnlar. Underlag för: – Injekterings- och förstärkningsbehov. – Verifiering av modellerade geovetenskapliga förhållanden och uppdatering av anläggningsdelmodell. – SDM-SAR.
Kontinuerliga undersökningar under drivning av stam- och transporttunnel	Data från sonderingsborrhål samt övrig byggrelaterad information. Geologisk/hydrogeologisk kartläggning av bergväggar. Geometrisk dokumentation av tunnel.	Tillämpning, verifiering och vidareutveckling av metodik för detaljundersökningar avseende: – Kontroll av konstruktionsförutsättnings uppfyllelse. – Val av lägen för deponeringstunnlar. Underlag för: – Injektering och bergförstärkning. – Verifiering av modellerade geovetenskapliga förhållanden och uppdatering av anläggningsdelmodell. – SDM-SAR.
Pilotborrhål för deponeringstunnlar (Beslut om lägen och riktning baseras på uppdaterad arbetsmodell med underlag från pilotborrhål och undersökningar i stamtunnel, inklusive bergspänningsdata och termiska egenskaper.)	Pilotborrhål för de tre tunnlar utförs i sekvens. Färdiga pilotborrhål instrumenteras för monitorering av tryckresponser vid borring av tillkommande pilotborrhål. Ett undersökningsprogram genomförs i och mellan pilotborrhålen.	Tillämpning, verifiering och vidareutveckling av metodik för detaljundersökningar avseende: – Kontroll av konstruktionsförutsättnings uppfyllelse. – Beslut om uppförande av deponeringstunnel samt preliminärt val av kapselpositioner. Underlag för: – Injekterings- och förstärkningsbehov. – Verifiering av modellerade geovetenskapliga förhållanden och uppdatering av anläggningsdelmodell. – SDM-SAR.
Hydrauliska interferenstester och geofysiska mellanhålsmätningar	Om vattenförande sprickor påträffas i pilotborrhål för deponeringstunnlar, och om borringen ger upphov till tryckresponser mellan borrhål, görs hydrauliska interferenstester och geofysiska (främst elektriska) mellanhålsmätningar för att kartlägga hydrauliska och fysikaliska samband som kan indikera förekomst av potentiella kritiska strukturer i kommande deponeringshålspositioner. Även fördjupad karakterisering av undersökta strukturers hydrauliska materialegenskaper.	Tillämpning, verifiering och vidareutveckling av metodik för detaljundersökningar avseende: – Kontroll av konstruktionsförutsättnings uppfyllelse. – Val av deponeringspositioner. Underlag för: – Verifiering av modellerade geovetenskapliga förhållanden och uppdatering av anläggningsdelmodell. – SDM-SAR.

Aktivitet	Beskrivning	Motiv
Kontinuerliga undersökningar under drivning av deponeringstunnel	Data från sonderingsborrhål samt övrig byggrelaterad information. Geologisk/hydrogeologisk kartläggning av bergvägar samt tunnelgolvet. Geometrisk dokumentation av tunnel.	Tillämpning, verifiering och vidareutveckling av metodik för detaljundersökningar avseende: – Kontroll av konstruktionsförutsättningars uppfyllelse. – Val av deponeringspositioner, inkl underlag för termisk optimering av avstånd mellan deponeringshål. Underlag för: – Injektering och bergförstärkning. – Verifiering av modellerade geovetenskapliga förhållanden och uppdatering av anläggningsdelmodell. Kompletterande underlag till ansökan om provdrift.
Pilotborrhål för deponeringshål vid deponeringspositioner (Beslut om lägen för pilotborrning baseras på uppdaterad arbetsmodell i tunnelskala med underlag från pilotborrhål, undersökningar i stam- och deponeringstunnlar, genomförd injektering, inklusive termiska egenskaper.)	Pilotborrning på valda lägen för deponeringspositioner. Fortsatt test och utveckling av karakteriseringsmetodik för pilotborrhål för deponeringshål. Kartering av borrhåll och hydrauliska mätningar.	Tillämpning, verifiering och vidareutveckling av metodik för detaljundersökningar avseende: – Identifiering av potentiella kritiska strukturer i pilothål för deponeringshål. – Beslut om borrning av deponeringshål. Underlag för: – Verifiering av modellerade geovetenskapliga förhållanden och uppdatering av anläggningsdelmodell. – Verifiering av metodik för godkännande av deponeringshål. Kompletterande underlag till ansökan om provdrift.
Undersökningar avseende konstruktionsförutsättningen kritiska strukturer i deponeringshål (se avsnitt 3.2)	Kartläggning och modellering (i flera steg) av mindre deformationszoner och uthålliga enskilda sprickor i och mellan stamtunnel, pilotborrhål, deponeringstunnlar och deponeringshål. Borrhålls- och tunnelmätningar av geologiska, geofysiska och hydrogeologiska och övriga egenskaper. I stam- och deponeringstunnlar är kartläggningen av FPI:er som indikatorer för kritiska strukturer en basinsats.	Tillämpning, verifiering och vidareutveckling av metodik för detaljundersökningar avseende: – Identifiering av kritiska strukturer i deponeringshål. – Val av deponeringspositioner samt prövning av metodik för godkännande av deponeringshål. Underlag för: – Verifiering av modellerade geovetenskapliga förhållanden och uppdatering av anläggningsdelmodell. – Verifiering av metodik för godkännande av deponeringshål. Kompletterande underlag till ansökan om provdrift.

Aktivitet	Beskrivning	Motiv
<i>Efter borring av deponeringshål:</i> Kartläggning och mätningar i deponeringshål.	Geologisk och bergmekanisk kartläggning. Hydrauliska mätningar. Geometrisk dokumentation.	Tillämpning, verifiering och vidareutveckling av metodik för detaljundersökningar avseende: – Identifiering av kritiska strukturer i deponeringshål, enligt kombinerad bedömning av tillämpliga konstruktionsförutsättningar (risk för skjuvning och hydrauliska egenskaper). – Kontroll att deponeringshål uppfyller geometriska krav. – Val och godkännande av deponeringshål. Underlag för: – Verifiering av modellerade geovetenskapliga förhållanden och uppdatering av anläggningsdelmodell. – Verifiering av metodik för godkännande av deponeringshål. Kompletterande underlag till ansökan om provdrift.
Bergspänningsmätningar – Stamtunnel – Deponeringstunnlar Kontroll av mekanisk stabilitet	I stamtunnel görs mätningar med LVDT-metoden, eventuellt kompletterat med konvergensmätningar, för orientering av huvudspänningar. I deponeringstunnel görs verifierande mätningar med slitsmetoden i ett urval av deponeringspositioner. Pilotborrhål/borrkärna, deponeringstunnlar, deponeringsborrhål och stam- och transporttunnlar inspekteras för observationer av spjälkning och annan instabilitet. Mekaniska parametrar erhålls från tester på borrkärnor från pilotborrhål.	Tillämpning, verifiering och vidareutveckling av metodik för detaljundersökningar avseende: – Fastställande och beslut om deponeringstunnlars orientering. Underlag för: – Verifiering av modellerade geovetenskapliga förhållanden och uppdatering av anläggningsdelmodell. – Verifiering av metodik för godkännande av deponeringshål. – SDM-SAR (mätningar i stamtunnel). Kompletterande underlag till ansökan om provdrift.
Undersökningar av sprängskadezon, EDZ	Geofysiska och geologiska undersökningar i stam-, transport- och deponeringstunnlar, där de olika tunnlar har olika krav. För deponeringstunnlar finns en föreslagen metodik för hydrogeologisk karakterisering av EDZ med nyttjande av data från hydrauliska mätningar i pilotborrhål för deponeringshål.	Tillämpning, verifiering och vidareutveckling av metodik för detaljundersökningar avseende: – Verifiering att sprängskadezonen EDZ uppfyller konstruktionsförutsättningarna för tunnlar i deponeringsområde. – Eventuell justering av teknik för berguttag. – SDM-SAR (mätningar i transport- och stamtunnel). Kompletterande underlag till ansökan om provdrift.
Bergets transportegenskaper	Provtagning och laboratorieförsök för bestämning av bergets diffusions- och sorptionsegenskaper.	Underlag för: – Verifiering av retardationsmodell SDM-Site. – SDM-SAR (pilotborrhål för deponeringstunnlarna).

Aktivitet	Beskrivning	Motiv
Monitering av deponeringstunnel och deponeringshål	Mätningar av inflöde i deponeringstunnel och preliminärt godkända deponeringshål.	Tillämpning, verifiering och vidareutveckling av metodik för detaljundersökningar avseende: – Kontroll av konstruktionsförutsättnings uppfyllelse. Underlag för: – Verifiering av modellerade geovetenskapliga förhållanden och uppdatering av anläggningsdelmodell. – Verifiering av metodik för godkännande av deponeringshål. Kompletterande underlag till ansökan om provdrift.
Monitering av inflöde, grundvattentryck, hydrogeokemi och hydrokemi	Fortsatt monitering av grundvattentryck, flöde och kemi i borrhål från markytan och i underjordsanläggningen. Under uppförandet av första tunnelslingan (transport- och stamtunnlar) tillkommer nya moniteringspunkter för inflöden vid mätvallar i enskilda tunnlar. Provtagning för kontroll av tillfört och inflödande vatten (kemisk sammansättning och spårämne). Uppföljning av monitering kopplad till SFR.	Underlag för: – Miljökontroll. – Verifiering av modellerade geovetenskapliga förhållanden och uppdatering av anläggningsdelmodell. – Förståelse av ömsesidig påverkan mellan olika delar av Kärnbränsleförvaret. – Förståelse av ömsesidig påverkan mellan SFR och Kärnbränsleförvaret. – SDM-SAR. Kompletterande underlag till ansökan om provdrift.
Seismisk monitering	Fortsatt moniteringen av nationellt och lokalt seismiskt nät för registrering av seismiska händelser. GNSS-monitering fortsätter.	Underlag för: – Bedömning av påverkan av tunnlar/schakt på omgivande berggrund. – SDM-SAR. Kompletterande underlag till ansökan om provdrift.
Modellering	Kontinuerlig uppdatering av arbetsmodeller främst i tunnelskala och integrerat i anläggningsdelskala, omfattande tillfarts- och centralområdet, den första slingan samt området för integrationstester och samfunktionsprovning. Modellering för analys av ömsesidig påverkan mellan centralområde, utbyggnad av första slingan och området för integrationstester och samfunktionsprovning. Integrerad analys som stöd för kontroll av konstruktionsförutsättningar. Modellering för beslut om placering, uppförande och godkännande av deponeringstunnlar, deponeringshål och plugg som berörs av integrationstest och samfunktionsprovning. Modellering för bergarbetenas behov. Uppdatering av platsmodell för SDM-SAR.	Verifiering av metodik för beslut om uppförande och godkännande av deponeringstunnel och deponeringshål. Underlag för kontinuerligt uppdaterat program avseende injekterings- och förstärkningsbehov. Underlag för verifiering av modellerade geovetenskapliga förhållanden och uppdatering av platsmodell till SDM-SAR, som underlag till säkerhetsanalysen SAR. Underlag för fortsatt uppdatering av SDM som underlag till detaljprojektering av fortsatt utbyggnad och återkommande helhetsbedömning av säkerhet efter förslutning, minst vart 10:e år.

Pilotborrhål för stam- och transporttunnel

Drivning av samtliga stam- och transporttunnlar kommer att föregås av kärnborrade pilothål. Undersökningar i dessa borrhål ger tillsammans med kartläggning av den första stamtunneln underlag för anpassning av läge för tunnlar för integrationstester och samfunktionsprovning till lokala förhållanden i berggrunden. Främst är det genom undersökningar av de hydrauliska egenskaperna hos deformationszoner och bergets övriga hydrauliska egenskaper som pilotborrhålet bedöms kunna tillföra kunskap av värde för beslut om placering och uppförande av tunnlar.

I pilotborrhålen genomförs hydrauliska tester och geofysiska mätningar. Om vattenförande sprickor påträffas görs en bedömning om vattenprov ska tas för kemiska analyser. Borrkärnan karteras och geofysiska och bergmekaniska parametrar bestäms på borrprover. Omfattningen av borrhålsundersökningarna fastställs i operativt program.

Kontinuerliga undersökningar under drivning av stam- och transporttunnel

Stamtunneln, från vilken tunnlar för integrationstester och samfunktionsprovning utgår, undersöks som planerats för övriga stam- och transporttunnlar. Drivningen av tunneln kommer att generera utflödesdata från sonderingsborrhål, mängd injekterat cementbruk, vattenförbrukning och mängd utpumpat länsvatten och andra data från bergguttaget. Vid behov kan flödes- och tryckupbyggnadstester med möjlighet till transient utvärdering utföras i sonderingshål. Berggrunden med dess bergarter, sprickor och inflöden kommer att dokumenteras med RoCS-systemet. Var mätvallar placeras beskrivs i operativt program. Alla data dokumenteras löpande i databas.

Pilotborrhål för deponeringstunnlar

Drivningen av tunnlar inom integrationstest utbyggnad kommer att föregås av tre pilotborrhål som borras inom konturen för de blivande tunnlar. Pilothålerna borras i direkt sekvens för att därefter undersökas i en samlad insats. För att verifiera detaljundersökningsmetodik för karakterisering av bergvolymen kring deponeringstunnlar som senare ska tillämpas i deponeringsområden (kapitel 7) görs bedömningen att tre pilotborrhål är tillfyllest, även om undersökningarna vanligtvis kommer att omfatta fem pilotborrhål i deponeringsområdena. Pilotborrhålen förses efterhand med manschettsystem för registrering av tryckresponser under borring som ger underlag för en preliminär tolkning av hydrauliskt sammanhängande strukturer och för planering av mer kvalificerade hydrauliska och geofysiska (främst elektriska) mellanhålmätningar.

Pilotborrhålen ger även underlag för förstärkningsprognos och bedömning av behov av förinjektering av någon specifik deformationszon eller vattenförande parti. Under integrationstest för utbyggnad verifieras metodiken för modellering och val av preliminära lägen av kapselpositioner baserat på pilotborrhålets information. Indikationer på potentiella kritiska strukturer är av särskilt intresse, liksom förekomst av underordnade bergarter av vikt (amfibolit och episyenit). Om bergart med lägre termisk konduktivitet förekommer i tillräckligt stor omfattning används metodik för termisk optimering av avstånd mellan deponeringshål. I pilotborrhålen genomförs geologiska, geofysiska och hydrogeologiska borrhålsundersökningar, inkluderande bestämning av geofysiska, termiska och bergmekaniska parametrar på borrvor. Om vattenförande sprickor påträffas görs en bedömning om vattenprov ska tas för kemiska analyser.

Hydrauliska interferenstester och geofysiska mellanhålmätningar

Om pilotborrhålen för deponeringstunnlar påvisar hydrauliskt ledande strukturer eller indikation på kritiska strukturer genomförs hydrauliska interferenstester och geofysiska mellanhålmätningar. Främst är det den elektriska metoden benämnd *mise-a-la-masse* som kan användas mellan borrhål och tunnlar eller mellan tunnlar, men även andra geofysiska metoder kan bli aktuella. Syftet är att visa på eventuella hydrauliska och fysikaliska samband som kan visa på möjlig förekomst av kritiska strukturer samt deras (hydrauliska) materialegenskaper. På liknande sätt kan mellanhålmätningar användas för undersökning av episyenit om sådan påträffas.

Kontinuerliga undersökningar under drivning av deponeringstunnel

Drivningen av deponeringstunnlar kommer att generera byggrelaterade data, som utflödesdata från sonderingsborrhål, mängd injekterat cementbruk i mindre deformationszoner, vattenförbrukning och utpumpat länsvatten samt andra data från bergguttaget. Vid behov kan flödes- och tryckupbyggnadstester med möjlighet till transient utvärdering utföras i sonderingshål. Berggrunden med dess bergarter, sprickor och inflöden kommer att karteras med RoCS-systemet. Av särskilt intresse är utbredning av bergarter med låg termisk konduktivitet, såsom amfibolit, som underlag för beslut om avstånd mellan deponeringspositioner. Metodiken verifieras och rutiner justeras vid behov. Alla data dokumenteras löpande i databas.

Pilotborrhål för deponeringshål vid deponeringspositioner

Under integrationstest för utbyggnad verifieras metodiken för val av lägen för deponeringshål. Valen baseras på uppdaterad arbetsmodell i tunnelskala med underlag från pilotborrhål och undersökningar i deponeringstunneln, inklusive termiska egenskaper. För valda deponeringspositioner verifieras

metodik för pilotborrning och tillhörande undersökningar. Vid borrning tillämpas successiv manschettering av färdigställda borrhål och registrering av tryckresponser från tillkommande pilotborrhål som indikator på hydraulisk konnektivitet längs deponeringstunneln mellan potentiella lägen för deponeringshål. Borrkärnor från pilotborrhål vid föreslagna deponeringspositioner karteras. Vid behov bestäms termiska egenskaper på borrkärnan. Vatteninflöde till borrhålet mäts. Denna procedur genomförs tills samtliga pilotborrhål är borrade.

Strategier och metoder verifieras inom integrationstest för utbyggnad. I pilotborrhålen verifieras t.ex. metodik för bestämning av inflöde till pilotborrhål liksom bestämning av dess transmissivitet som därefter utnyttjas för verifiering av hydrauliska konstruktionsförutsättningar för acceptans av deponeringshålet (inflöde och transmissivitet) uppfyllts. I samarbete med Posiva har strategier för hydrauliska tester i pilotborrhål testats (Hjerne et al. 2016). Modellering till stöd för val av hydrauliska acceptanskriterier där nyss nämnda pilothålsdata utnyttjas pågår (Baxter et al. 2017). Hydrauliska tester i pilotborrhålen utgör även ett underlag till kontroll av sprängskadezonens (EDZ) egenskaper och axiella utsträckning, se nedan.

Undersökningar avseende konstruktionsförutsättningen kritiska strukturer i deponeringshål

I deponeringstunnlar för integrationstester verifieras metoder för identifiering, undersökning och modellering av kombinerade konstruktionsförutsättningar för kritiska strukturer samt för klassning enligt beskrivning i avsnitt 3.2. Dels tillämpas de grundläggande FPI-kriterierna, men dessutom verifieras om man med detaljundersökningar bättre kan bestämma eller avgränsa strukturernas verkliga storlek samt bestämma andra väsentliga egenskaper för bedömning av risken för skjuvning (ytegenskaper och orientering i förhållande till bergspänningsfältet) och hydrauliska egenskaper (konnektivitet och transmissivitet). Identifiering och karakterisering av kritiska strukturer görs stegvis under ett deponeringsområdes utbyggnad genom pilotborrning, kartering, hydrauliska och geofysiska mätningar med tillhörande modellering. På så sätt kan man t.ex. undvika onödig borrning av deponeringshål i positioner där sådana kritiska strukturer har identifierats. Samtidigt byggs successivt en empirisk databas upp liksom en ökad förståelse om kritiska strukturers förekomst, attribut och egenskaper och vilka undersökningsmetoder som är tillämpbara på dessa.

Underlag för identifiering av kritiska strukturers geometrier och egenskaper fås från undersökningar i pilotborrhål och från den kartläggning som görs i tunnarna och senare i deponeringshålen, varvid modellering ingår som instrument. Vid tunnelkarteringen läggs särskild vikt på att identifiera FPI:er, som indikator på kritisk struktur av klass 3. Karteringen kompletteras med information insamlad under borrning och ovan nämnda hydrauliska interferenstester och geofysiska mellanhålmätningar. Beroende på vilka strukturer som påträffas kan även andra geofysiska mätningar, främst markradar (GPR), bli aktuella för identifiering av kritiska strukturer i närområdet till deponeringstunnlar, särskilt under tunnelgolvet, och bestämma deras utsträckning. Tunnelgolvet avplanering förväntas ge förbättrade förutsättningar för markradarmätningen. För alla färdigställda deponeringshål ska slutlig kontroll med avseende på kritiska strukturer göras innan de godkänns för deponering.

I kapitel 5 beskrivs tester i centralområdet av karakteriseringsmetodik och platsspecifik kunskapsuppbyggnad gällande förvarsberget i Forsmark. Lärdomar från dessa tester används vid den verifiering och vidareutveckling som görs inom ramen för integrationstester för utbyggnad, liksom i den fortsatta kunskapsuppbyggnaden (databasen) om förekomst av tolkade FPI:er, och associerade ytegenskaper och hydrauliska egenskaper gällande för förvarsberget i Forsmark.

Kartläggning och mätningar i deponeringshål

Bedöms pilotborrhålet indikera att konstruktionsförutsättningarna kommer att uppfyllas, borras deponeringshålet till sin fulla diameter. Därefter verifieras metodiken för kartering av vägg och botten av deponeringsborrhålet med RoCS-metoden. Indikationer på större sprickor och vattenförande sprickor är av särskilt intresse, liksom förekomst av amfibolit samt indikationer på spjälkning.

Deponeringshålets geometri är specificerad med höga toleranskrav för inplacering av kapslar och för att bufferten ska fungera enligt given konstruktionsförutsättning. Inmätning av deponeringshålets geometri förutses göras med laserteknik eller fotogrammetri, och kommer att verifieras under integrationstest för utbyggnad, för fastställande av teknik för driftskedet.

Metodik för kontroll av hydraulisk konstruktionsförutsättning i deponeringshål (inflöde/buffererosion) verifieras med inflödesmätningar. Om deponeringshålen visar sig uppfylla ställda krav kommer metodik för slutlig verifiering av inflödeskriteriet kopplat till bufferstabilitet att testas genom monitoring av inflöden under perioden fram till deponering. (I det här beskrivna fallet gäller det perioden fram till integrationstest för deponering och samfunktionsprovning.)

Bergspänningsmätningar och kontroll av mekanisk stabilitet

Tunnlarna kommer att inspekteras och förstärkningar görs där instabilitet, som spjälkning, observeras eller kan förväntas. Sådana observationer och åtgärder dokumenteras. Även i deponeringsborrhål dokumenteras förekomst av spjälkning.

Som ett kompletterande underlag för fastställande av deponeringstunnlars optimala orientering i relation till bergspänningssituationen genomförs bergspänningsmätningar i stamtunneln. Mätningarna görs främst med överborrningsmetoden LVDT, vid behov kompletterat med konvergensmätningar.

I deponeringstunnlarna används slitsmetoden för verifierande mätningar i ett urval av deponeringspositioner. Vid slitsmetodens tillämpning i en deponeringsposition borrar ett kort borrhål innan deponeringshålet fullböras. En värmare installeras i hålet och under ett par veckor ger uppvärmningen en tillskottsbelastning som leder till spjälkning. Eftersom bergspänningssituationen styr hur spjälkningens utbildas i hålet ger metoden verifierande data om den största huvudspänningens orientering. Då det korta mät hålet placeras inom deponeringspositionen elimineras detta när deponeringshålet fullböras. Slitsmetoden som beskrivs i Hakami (2011) bedöms ha en potential för denna typ av verifierande mätningar. Efter genomfört bergspänningsprogram i tunnlar för integrationstest och samfunktionsprovning ska metodiken fastställas för tillämpning vid kommande deponering av kapslar med använt kärnbränsle.

Undersökningar av sprängskadezon, EDZ

Provning av metodik för verifiering av konstruktionsförutsättningarna för sprängskadezonen EDZ genomförs i deponerings-, stam- och transporttunnlar. Främst är det geofysiska metoder i kombination med geologisk dokumentation som planeras att utnyttjas för kontroll av att förutsättningar finns (dvs begränsade sprängskador) för att den hydrauliska konstruktionsförutsättningen ska kunna uppfyllas. Att sprängdesignen uppfyller hydrauliska krav på EDZ har tidigare testats och demonstrerats i en separat nisch i rampen, se kapitel 4.

Metodiken tillämpas och vidareutvecklas för godkännande i deponeringstunnlarna för integrationstester och samfunktionsprovning. Förutom geologisk och geofysisk karakterisering inkluderas hydrauliska undersökningar i och mellan pilothål för deponeringshål på samma sätt som planeras för deponeringsområden (dvs bestämning av EDZ:s transmissivitet och karakterisering av dess hydrauliska kontinuitet). De samlade resultaten utnyttjas dels för kontroll att ingen hydrauliskt konnekterad EDZ utbildats längs sulan på de aktuella deponeringstunnlarna, dels för att etablera nödvändig relation/-er mellan geologisk/geofysiska och hydrauliska signaturer av EDZ. Dessa relationer kan sedan utnyttjas för bedömning av uppfyllelse av konstruktionsförutsättning EDZ i stam- och transporttunnlar, där endast geologiska och geofysiska detaljundersökningar är aktuella.

Möjligheter att förändra procedur/sprängplan för berguttaget för efterföljande deponeringstunnel finns i den händelse kravet inte befinns vara uppfyllt för den första deponeringstunneln.

Bergets transportegenskaper

Berget provtas för verifierande laboratorieförsök där resultatet av laboratorieförsöken utgör indata till upprättande av SDM-SAR och fortsatta analyser inom SAR.

Monitoring av deponeringstunnel och deponeringshål

Beträffande kontroll av konstruktionsförutsättningar uppfyllelse avseende maximalt tillåtet inflöde till deponeringstunnel och deponeringshål gäller följande. Inflöde till deponeringshål mäts först i samband med hålets karakterisering, detta för preliminär verifiering att hydraulisk

konstruktionsförutsättning uppfylls, enligt beskrivning ovan. För slutligt godkännande behöver accepterade deponeringshål därefter monteras under hela tiden fram till deponering av kapsel. Metodiken verifieras inom ramen för integrationstest för utbyggnad.

Inflöde till deponeringstunnlar mäts vid mätvall i nära anslutning till stamtunnel. Även denna metodik verifieras inom ramen för integrationstesten.

Monitering av inflöde, grundvattentryck, hydrogeokemi och hydrokemi

Under uppförandet av den första slingan och tunnlar för integrationstester och samfunktionsprovning fortsätter moniteringen på samma sätt som under uppförandet av tillfarter och centralområde, se avsnitt 4.3, och kan eventuellt kompletteras med monitering i tillkommande (temporära) undersökningsborrhål under jord. Antalet moniteringspunkter byggs ut successivt. Var detta görs beskrivs i operativt program. Uppföljning görs av ömsesidig påverkan mellan samtidigt pågående aktiviteter i förvarets olika delar.

Mängd utpumpat länsvattnet mäts kontinuerligt och vattenprover tas regelbundet för kemiska analyser. Även det tillförda vattnet till anläggningen analyseras och kontrolleras med avseende på koncentration av spårämne.

Seismisk monitering

Under integrationstester och samfunktionsprovning fortsätter den seismiska moniteringen, såväl med det nationella seismiska nätet som med det lokala seismiska nätet. GNSS-monitering fortsätter för att detektera eventuella rörelser över utvalda större deformationszonerna i Forsmarksområdet. Informationen används främst vid upprättande av beskrivande geologiska modeller.

Den seismiska moniteringen kan även ge information om deformation av bergmassan som en följd av tunneldrivning, vilket bidrar till ökad kunskap om var sådan deformation förekommer och därmed underlag för hur stor påverkan tunneldrivningen har på omgivande berggrund. Möjligen kan även deformation i strukturer (sprickor och deformationszoner) påvisas.

Modellering

Som underlag för placering av deponeringstunnlar och deponeringshål samt som test av verifiering av konstruktionsförutsättningar genomförs detaljerad modellering, främst geologisk och hydrogeologisk modellering i tunnelskala. Modellering görs även för att analysera ömsesidig påverkan mellan förvarets olika delar, här främst mellan området för integrationstester och samfunktionsprovning och samtidigt pågående utbyggnad av första slingan och av centralområdet. Detta för att säkerställa att experimentell verksamhet i området för integrationstester och samfunktionsprovning inte riskerar att påverkas negativt.

Under integrationstest för utbyggnad verifieras modelleringsmetodiken och vilken ambitionsnivå och omfattning av modellering som behövs. Fokus kommer att vara på modellering av berggrundens bergartstyper, sammansättning och termiska egenskaper, spänningssituation, deterministisk beskrivning av deformationszoner och kritiska strukturer samt statistisk beskrivning bergmassans mekaniska stabilitet och hydrauliska egenskaper med utgångspunkt från beskrivning av diskreta spricknätverk (DFN). Hydrauliskt konnekterade strukturers (sprickor och deformationszoner) förekomst och deras egenskaper är därför av särskilt intresse, liksom hydrauliska förhållanden generellt i berggrunden i nära anslutning till deponeringstunnlarna och deponeringshålen (inklusive analys av kontinuitet och egenskaper hos eventuell EDZ).

Den föreslagna modelleringsmetodiken och strategier för dess tillämpning i deponeringstunnlar med föregående pilotborrhål verifieras och rutiner fastställs avseende vilka underlag, modeller, modellresultat och övrig dokumentation som behövs för beslut om uppförande, utförande och godkännande av deponeringstunnlar och deponeringshål.

Utnyttjandet av undersöknings- och modelleringsresultat från området för integrationstester och samfunktionsprovning vid framställningen av SDM-SAR beskrivs i avsnitt 6.3.2.

6.3.2 Avgränsning av första deponeringsområdet

Den nu aktuella anläggningsutformningen för det första deponeringsområdet med lägen för stam-, transport- och deponeringstunnlar är baserad på SDM-Site. Under uppförandet av tillfarter och centralområdet kan utformningen ha justerats baserat på underlag av modelleringsresultat från detaljundersökningar.

När den första tunnelslingan drivs tillkommer ny kunskap för avgränsning av deponeringsområdet, särskilt relativt den tektoniska linsens randområde i nordost, men även mot nordväst. Detta underlag består av information från pilotborrning och undersökningar i stamtunnlarna samt eventuella kompletterande undersökningsborrningar. På detta underlag fastställs också läget för mellanliggande transporttunnel, se figur 6-1. För att utnyttja utrymmet i förvarsberggrunden optimalt kan transporttunneln komma att förläggas till randområdet. Information från undersökningar i pilotborrhål för tunnlar för integrationstester och samfunktionsprovning utgör kompletterande underlag för avgränsningen. Beslutsprocess för fastställande av lägen för deponeringstunnlarna beskrivs i kapitel 7.

Undersökningarna i randområdet utgör även underlag för den uppdaterade platsbeskrivningen SDM-SAR.

En sammanfattning av aktiviteter och motiv vid avgränsning av första deponeringsområdet presenteras i tabell 6-2. De undersökningar som görs under drivning av stam- och transporttunnlar vid utbyggnad av deponeringsområdet beskrivs i avsnitt 6.3.1 och i kapitel 7. Efter tabellen följer en utförligare beskrivning av aktiviteterna.

Tabell 6-2. Geovetenskapliga undersökningar vid avgränsning av första deponeringsområdet. Samtliga pilotborrhål utförs som kärnborrhål.

Aktivitet	Beskrivning	Motiv
Förhållanden vid randområdet och avgränsning av det första deponeringsområdet	Undersökningar av randområdet till den tektoniska linsen mot nordost samt avgränsning av det första deponeringsområdet mot nordost och nordväst. Pilotborrhål under drivning av stamtunnlar samt eventuella undersökningsborrhål från dessa. Eventuell förlängning av något pilotborrhål för tunnel för integrationstest. Pilotborrhål under drivning av transporttunnlar. Geologiska, geofysiska och hydrogeologiska borrhålsundersökningar. Vattenprovtagning. Geologiska och geofysiska undersökningar i/från tunnlar. Beroende på förhållanden i randområdet kan bergspänningsmätningar bli aktuella om transporttunnel förläggs dit.	Underlag för: – Injektering- och förstärkningsbehov. – Verifiering av modellerade geovetenskapliga förhållanden och uppdatering av anläggningsdelmodell. – Avgränsning av deponeringsområdet. – Läge för transporttunnel. – SDM-SAR. Bergspänningsmätningarna ger underlag till den bergmekaniska platspecifika modellen.
Modellering	Uppdatering av anläggningsdelmodell och modell i anläggnings skala (anläggningsmodell). Slutförande av SDM-SAR.	Underlag för avgränsning av deponeringsområde och eventuell justering/ anpassning av första deponeringsområdets layout Verifiering av modellerade geovetenskapliga förhållanden och uppdatering av anläggningsdelmodell. Verifiering av modellerade geovetenskapliga förhållanden och uppdatering av platsmodell till SDM-SAR, som underlag till säkerhetsanalysen SAR. Därefter, fortsatt uppdatering av SDM som underlag till detaljprojektering av fortsatt utbyggnad och återkommande helhetsbedömning av säkerhet efter förslutning, minst vart 10:e år.

Förhållanden vid randområden och avgränsning av det första deponeringsområdet

Den tektoniska linsens yttre avgränsning är inte skarpt definierad gentemot den omgivande berggrunden. Mer detaljerad information kan komma att behövas om randområdets egenskaper och förhållanden för att avgöra var möjligheterna att uppfylla konstruktionsförutsättningarna minskar, som därmed definierar avgränsning av deponeringsområdet. Beroende på deponeringsområdets avgränsning kan transporttunneln komma att förläggas i randområdet, vilket medför behov av undersökningar för bedömning av injekterings- och förstärkningsbehov.

För att öka kunskapen om förhållanden och egenskaper i randområdet, inklusive förekomst av större deformationszoner, kommer pilotborrning av stamtunnlar och kontinuerliga undersökningar att genomföras vid tunneldrivning. Det kan även bli aktuellt med särskilda undersökningsborrhål. Beslut om sådan borrning förutsätter nödvändig säkerhetsbedömning. Beroende på den kunskap som då finns kan även geofysiska undersökningar i tunnlar kombinerat med kärnborrhål som undersöker randområdenas egenskaper från stamtunnlar bli aktuella. Detta gäller även bergspänningsmätningar om transporttunnel förläggs dit.

För att få ett ytterligare underlag för avgränsning av det första deponeringsområdet mot nordväst kan det bli aktuellt att förlänga ett av de pilotborrhål som görs för tunnlar för integrationstester och samfunktionsprovning. Behovet av undersökningar utreds i det löpande modelleringsarbetet och beskrivs i operativa program.

Modellering

Anläggningsdelmodellen utvidgas till att omfatta även det första deponeringsområdet. Modellerna uppdateras regelbundet, inklusive analys av ömsesidig hydraulisk påverkan mellan Kärnbränsleförvarets olika delar samt visavi SFR, se kapitel 8. Under uppförandet av den första slingan används information från pilotborrhål i stamtunnlar och transporttunnlar samt eventuella borrhål som undersöker deponeringsområdets avgränsningar. Beroende på vad som då är känt om förhållanden i randområdet mot nordost och den tektoniska linsens fortsättning mot nordväst kan modelleringen identifiera och analysera osäkerheter som har betydelse för det första deponeringsområdets avgränsning och layout och därmed var transporttunneln ska placeras.

Modelleringen under detta skede resulterar i modellversion SDM-SAR. Underlaget för SDM-SAR utgörs av SDM-Site med tillhörande underlag, undersökningar och modeller upprättade under uppförandet av tillfarter och centralområde (se kapitel 4 och 5), undersökningsresultat från pilotborrhålen för tunnlar för integrationstester och samfunktionsprovning (se avsnitt 6.3.1) samt det samlade underlaget kopplat till utbyggnaden av första tunnelslingan och avgränsningen av det första deponeringsområdet som beskrivs i detta avsnitt (6.3.2). De fortsatta detaljundersökningarna i tunnlar fram till verifiering att konstruktionsförutsättningar för deponeringshål är uppfyllda utgör ett kompletterande underlag till ansökan om provdrift. Resultat från dessa undersökningar med tillhörande modellering kommer att stämmas av mot beskrivningar i SDM-SAR. De ingår därefter i underlaget för kommande SDM under driftperioden.

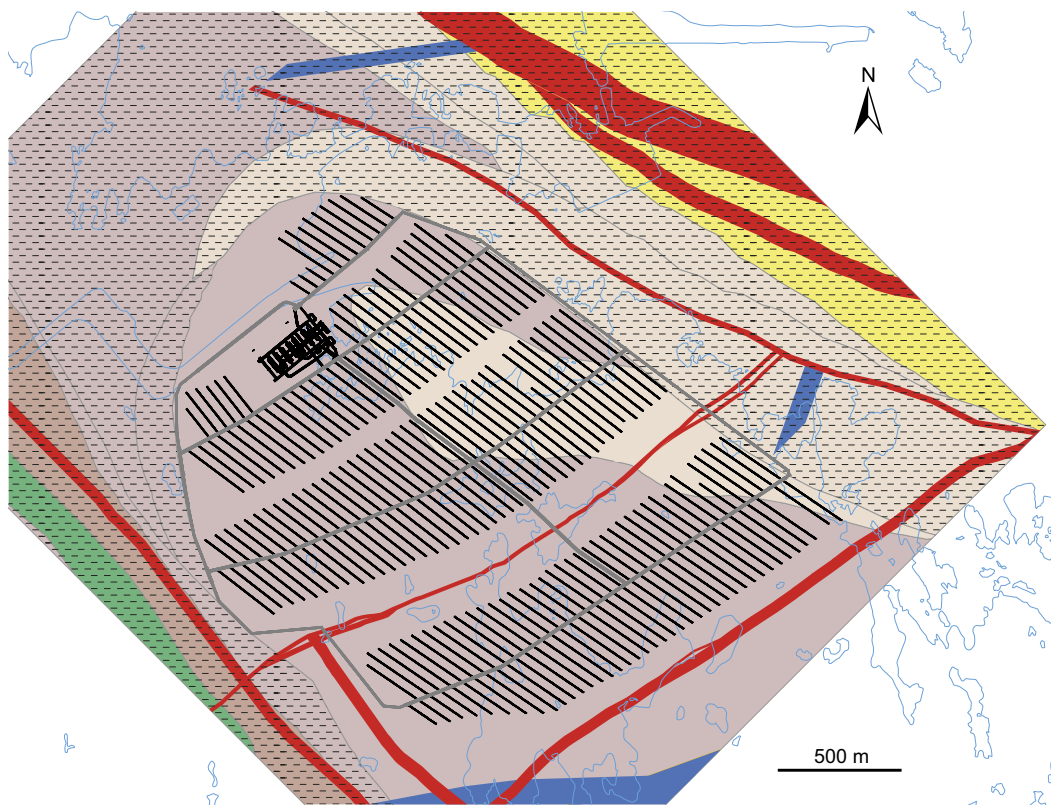
Modeller i tunnelskala och anläggningsdelskala för det första deponeringsområdet uppdateras därefter underhand med information från kartering och övriga undersökningar och försök i tunnlar för integrationstester och samfunktionsprovning som beskrivs i avsnitt 6.3.1.

7 Detaljundersökningar vid utbyggnad av deponeringsområden

Till skillnad från föregående kapitel, som beskriver hur metodik för detaljundersökningarna verifieras vid integrationstest för utbyggnad, beskrivs i detta kapitel tillämpningen av fastställd metodik och undersökningsmetoder vid utbyggnaden av deponeringsområden. Beskrivningen av enskilda aktiviteter är därför likartad med föregående kapitel. Vad som skiljer är den övergripande undersökningsstrategin som tillämpas vid utbyggnad av ett nytt deponeringsområde, inklusive de specifika underlag som detaljundersökningarna behöver leverera som underlag för olika beslut.

7.1 Anläggningsdelar

Utbyggnaden av försvarsområdet sker sekventiellt, deponeringsområde för deponeringsområde. För varje deponeringsområde färdigställs först en tunnelslinga utgående från den centrala transporttunneln, se figur 2-3. Vanligen ingår det föregående deponeringsområdets stamtunnel i denna slinga varför utbyggnadens första steg innefattar en ny stamtunnel. Med samma undersökningar som beskrivs i kapitel 6 för det första deponeringsområdet avgörs deponeringsområdets storlek och därmed längden av stamtunnlarna och läget för den yttre transporttunneln. En generell förutsättning är att all tunneldrivning i försvarsområdet föregås av pilotborrning. Utbyggnaden kommer att för varje enskilt deponeringsområde ske i ett antal byggsteg, där varje steg omfattar ett antal deponeringstunnlar, typiskt 4 till 5 tunnlar på årsbasis. Modellering sker inledningsvis i tunnelskala och integreras successivt i en anläggningsdelmodell för det aktuella deponeringsområdet. Anläggningsdelmodellen integreras därefter i en övergripande anläggningsmodell. Figur 7-1 visar ett fullt utbyggt förvar baserat på dagens kunskap om bergförhållanden och behov av deponeringstunnlar.



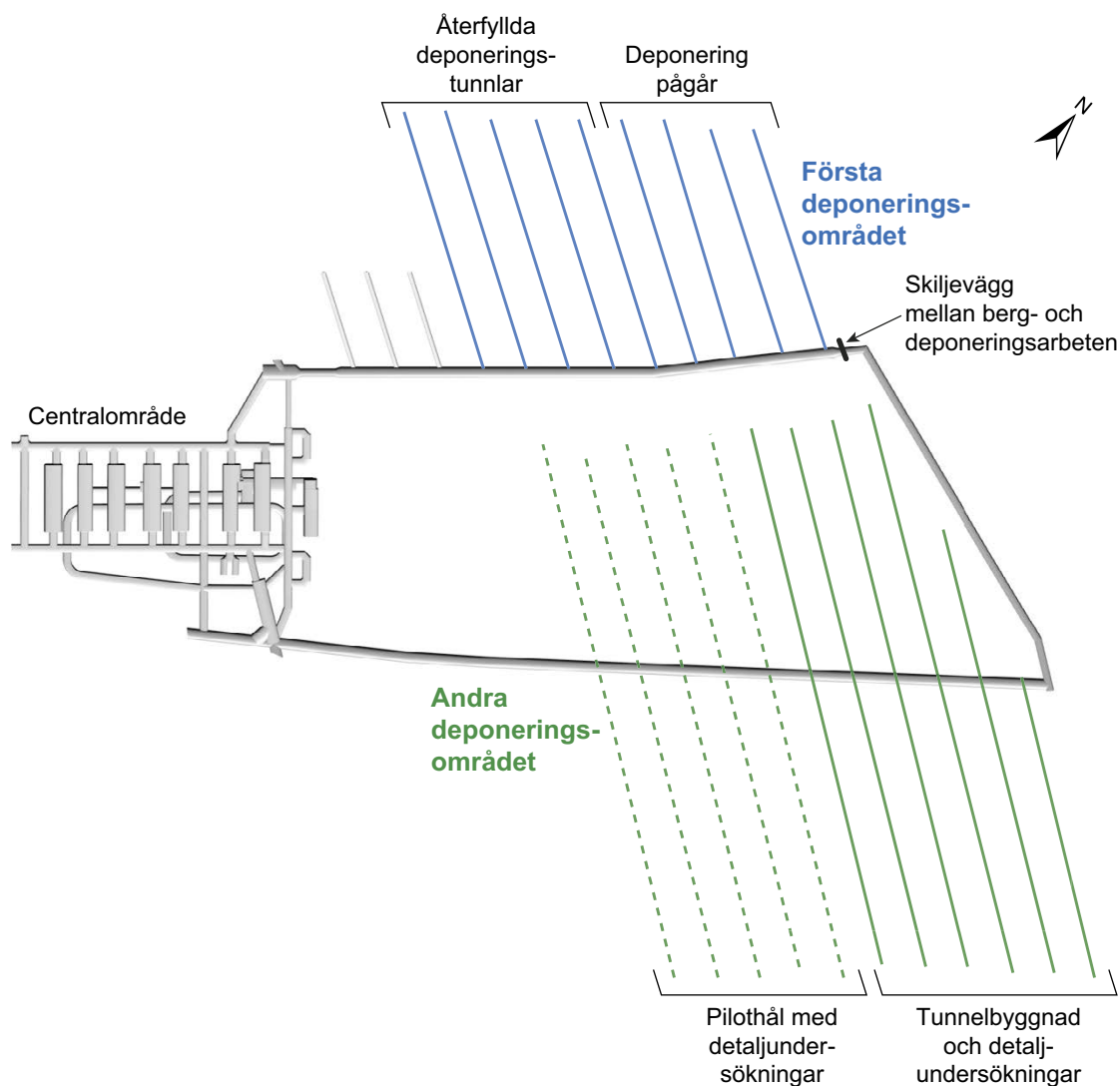
Figur 7-1. Föreslagen layout av Kärnbränsleförvaret på försvarsdjup, med geologi som underlag enligt SDM-Site (SKB 2008). Deponeringsområdena är utplacerade inom den tektoniska linsen i bergdomänerna RFM029 och RFM045. Övriga bergdomäner är rasterade. Layouten påverkas av de större deformationszonerna (röda).

Kravet på fysisk åtskillnad mellan bergbyggnadsarbeten och deponeringsarbeten uppfylls genom att en skiljevägg installeras i stamtunneln, vilket förhindrar kontakt mellan de två arbetsområdena. Den ovan nämnda transport- och stamtunnelslingan är då en förutsättning för att transporter ska kunna utföras till respektive arbetsområde.

Figur 7-2 illustrerar ett läge för anläggningen under utbyggnad av det andra deponeringsområdet. Samma sekvens med utbyggnad av tunnelsinga följt av utbyggnad av deponeringstunnlar kommer att tillämpas för övriga deponeringsområden.

7.2 Informationsbehov

Vid utbyggnad av deponeringsområden är anpassning av deponeringstunnlar och deponeringshål till lokala förhållanden i berggrunden i fokus. Detaljundersökningarna skall ge det underlag som detta kräver, samt bidra med underlag för verifiering att denna anpassning resulterar i deponeringstunnlar och deponeringshål som uppfyller uppställda krav. Kraven är formulerade som konstruktionsförutsättningar. Dessa beskrivs översiktligt i avsnitt 3.2 och mer utförligt i bilaga.



Figur 7-2. Illustration av verksamheter under utbyggnad av det andra deponeringsområdet medan deponering pågår i det första.

Konstruktionsförutsättningarna innebär att detaljundersökningarna behöver leverera följande information för godkännande av deponeringshål samt godkännande av övriga bergutrymmen:

- Geometrisk information. För krav avseende funktion av buffert och återfyllning i deponeringshål, deponeringstunnlar och andra bergutrymmen.
- Kemiska analyser av vattenprover. För kontroll av kemiskt gynnsamt grundvatten.
- Rumslig utbredning av bergarter med olika termiska egenskaper. För beräkningar av maximal temperatur i bufferten vid olika avstånd mellan deponeringshål (och/eller avstånd mellan deponeringstunnlar).
- Bergspänningars orientering och magnitud. För orientering av deponeringstunnlar.
- Förekomst av kritiska strukturer av klass 2 (se avsnitt 3.2) som kan accepteras mellan deponeringsområden men inte i deponeringstunnlar. Inga kritiska strukturer av klass 1 får förekomma inom förvarets hela utbredning.
- Förekomst av kritiska strukturer av klass 3 som inte kan accepteras i deponeringshål. De kan vara sprickor med potential för skjuvning och/eller med höga transmissiviteter.
- Inflöden till deponeringshål, deponeringstunnel och andra bergutrymmen. För uppfyllelse av krav på maximala inflöden.
- Hydraulisk transmissivitet för pilotborrhål till deponeringshål. Transmissiviteten uppmätt i ett pilotborrhål för ett deponeringshål skall vara mindre än ett givet tröskelvärde. (Utveckling och test av metodik för fastställande av tröskelvärde pågår.)
- Omfattning/utsträckning av EDZ (sprängskadezon) i deponeringstunnel och andra bergutrymmen. För uppfyllelse av krav på maximal specifik kapacitet.
- Underlag för placering av plugg vid deponeringstunnelns mynning mot stamtunnel. Krav finns att dessa inte ska placeras inom kritiska volymer av klass 1, 2 och 3 och att avståndet mellan plugg och stamtunnel skall vara större än ett visst avstånd för att undvika mekaniska störningar på pluggen.
- Underlag för att bestämma avstånd mellan befintliga undersökningsborrhål från markytan till olika typer av underjordiska öppningar.

För tillkommande borrhål utanför tunnelkontur, med olika syften, gäller att dessa skall vara motiverade och säkerhetsbedömda och att borrhålsplatser begränsas till tunnlar som inte används för deponering och att borrhålen försluts efter avslutad användning.

Förutom ovan nämnda informationsbehov har tunneldrivningen behov av data för att upprätta prognoser av injekterings- och förstärkningsbehov. Detaljundersökningarna ska även leverera underlag för verifiering av modellerade geovetenskapliga förhållanden och uppdatering av anläggningsdelmodell.

En tillkommande uppgift för detaljundersökningarna är att dokumentera anläggningen och dess initialtillstånd. Initialtillståndet är inte enbart beroende av berggrundens materialegenskaper och bergets tillståndsvariabler (t ex grundvattentryck och bergspänningar), utan också hur dessa förändrats genom berguttaget och förändras över tid.

7.3 Beslutssekvens vid utbyggnad av deponeringsområde

Behov av anpassning av deponeringstunnlar och deponeringshål samt verifiering av konstruktionsförutsättningar gör att detaljundersökningarna behöver generera underlag för beslut vid utbyggnad av ett deponeringsområde. Beslutssekvensen inkluderar den initiala avgränsningen av deponeringsområdet, transport- och stamtunnlars sträckning, deponeringstunnlarnas placering och längd samt deponeringshålens placering. Undersökningarna behöver också ge underlag för godkännande av deponeringstunnel och deponeringshål. Ett översiktligt processchema för uppförande av ett deponeringsområde ges i figur 7-3. I tabell 7-1 ges en översikt över när konstruktionsförutsättningarna hanteras vid de olika undersökningsstegen.

Beslut om avgränsning av ett deponeringsområde

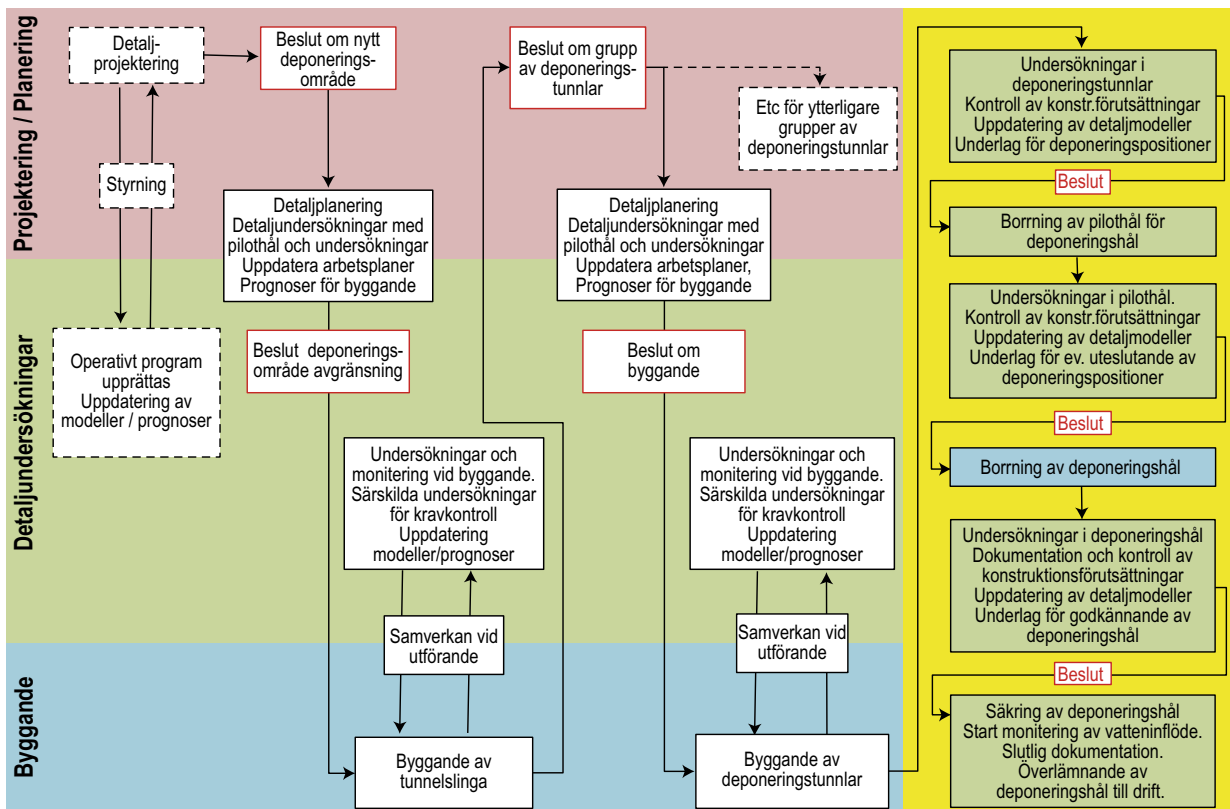
Detaljundersökningarna behöver leverera underlag som visar på lämplig avgränsning av deponeringsområdet. Undersökningarna görs vid drivning av stam- och transporttunnlar. Vid behov kan det utöver pilotborrhål för tunnlar även krävas kompletterande undersökningsborrhål från dessa tunnlar.

Figur 7-1 visar en uppdelning av förvarsområdet i ett antal deponeringsområden baserat på SDM-Site. Huvudsakligen bestämmande för dessa områdens yttre avgränsning i sydväst och nordost är den tektoniska linsens utbredning med de tillhörande bergdomänerna RFM029 och RFM045. Bestämmande för avgränsningar av deponeringsområden inom slutförvaret är förutom tekniska hanteringsmässiga skäl, kritiska strukturer av klass 2 och deras kritiska volymer. För den precisa avgränsningen avseende sådana strukturer krävs detaljerade undersökningar i och från tunnlar.

Beslut om placering och uppförande av deponeringstunnlar

Enligt aktuell layout är deponeringstunnlar placerade med c/c avstånd 40 m och orienterade i nordvästlig riktning. Den aktuella layouten ska bekräftas eller justeras beroende på bergets egenskaper. Tunnlarnas orientering ska bekräftas för hela deponeringsområdet. Beslut om placering av enskilda deponeringstunnlar (ca fem som ingår i ett byggsteg) inbegriper i ett första steg val av lägen för pilotborrhål för deponeringstunnlar. Underlaget för detta val är resultat från pilotborrhål som föregår uppförande av stamtunnel, tunnelkartering och bergspänningsmätningar i stamtunnel samt geologisk, strukturgeologisk, hydrogeologisk, termisk och bergmekanisk modellering.

Resultat från undersökningarna i pilotborrhålen för deponeringstunnlarna, inklusive modellering, är underlag för beslut om uppförande av deponeringstunnlar. Undersökningar inkluderar pilotborrhål för hela byggsteget i en samlad sekvens för att kunna karakterisera bergvolymerna mellan deponeringstunnlarna, främst avseende förekomst av kritiska strukturer. Undersökningsresultaten kan påverka beslutet om deponeringstunnelns längd.



Figur 7-3. Översiktligt schema för beslut och uppförande av deponeringsområde, deponeringstunnlar och deponeringshål.

Tabell 7-1. Detaljundersökningsinsatser för kontroll av kravuppfyllelse vid olika steg i undersöknings- och beslutsprocessen.

	Detaljundersökningar vid uppförande av tillfarter och centralområde	Undersökningar från stam- och transporttunnlar inkl föregående pilothål. Underlag för beslut om avgränsning och utbyggnad av ett deponeringsområde	Underlag för beslut om deponeringstunnels uppförande.	Undersökningar i och mellan pilothål för deponeringstunnlar. Underlag för beslut om deponeringspositioner i deponeringstunnlar.	Undersökningar i deponeringstunnlar under och efter uppförande. Underlag för beslut om deponeringspositioner i deponeringstunnlar.	Undersökningar i och mellan pilothål för deponeringshål. Underlag för beslut om utförande av deponeringshål.	Undersökningar i deponeringshål. Underlag för beslut om godkännande av deponeringshål för deponering av kapsel.
Konstruktionsförutsättning (med referens till bilaga)							
Förvarsdjup	(X)	-	-	-	-	-	-
Deponeringsområden – kritiska strukturer klass 1	X	X	-	-	-	-	-
Deponeringsområden – kemiska förhållanden	X	X	X	-	-	-	-
Deponeringstunnlar – kritiska strukturer klass 2	(X)	X	X	(X)	-	-	-
Deponeringstunnlar – Inflöde	-	-	(X)	X	-	-	-
Deponeringstunnlar – orientering	(X)	X	X	-	-	-	-
Deponeringstunnlar – avstånd ur mekanisk synvinkel	-	(X)	X	X	-	-	-
Deponeringstunnlar – geometri	-	-	-	X	-	-	-
Deponeringstunnlar – plugg (kritiska strukturer)	-	-	(X)	X	-	-	-
Deponeringstunnlar – plugg (bergmekanik)	-	-	X	X	-	-	-
Deponeringshål – kritiska strukturer klass 3	(X)	X	X	X	X	X	X
Deponeringshål – transmissivitet	-	-	(X)	(X)	X	(X)	(X)
Deponeringshål – inflöde	-	-	(X)	(X)	X	X	X
Deponeringshål – avstånd ur mekanisk synvinkel	-	(X)	(X)	(X)	X	X	X
Deponeringshål – avstånd ur termisk synvinkel	-	(X)	(X)	(X)	X	X	X
Deponeringshål – geometri	-	-	-	-	-	-	X
Deponeringshål – placering i relation till kvarlämnade konstruktionsmaterial	-	-	(X)	X	X	X	X
Hela förvaret – Inflöde	X	X	-	X	-	-	-
EDZ – andra utrymmen än deponeringstunnel och deponeringshål	X	X	-	(X)	(X)	(X)	-
EDZ – deponeringstunnel	(X)	-	-	X	-	-	-
Avstånd mellan befintliga undersökningsborrhål och tunnlar/schakt	X	X	X	X	-	-	-
Avstånd mellan deponeringstunnlar och andra bergutrymmen	-	-	(X)	X	-	-	-
Avstånd mellan deponeringstunnlar och lokaler där bergbyggnad pågår	-	-	(X)	X	-	-	-

X = Information för anpassning av utformning eller verifiering av kravuppfyllelse

(X) = Indikativ/stödande information

Pilotborrhålet och undersökningsdata från deponeringstunneln används senare vid modellering inför beslut om placering av plugg vid deponeringstunnelns mynning mot stamtunnel.

Beslut om deponeringspositioner i deponeringstunnlar

Underlag för beslut om utplacering av preliminära deponeringspositioner är undersökningar från det pilotborrhål som föregick uppförandet av deponeringstunneln, undersökningar i den uppförda tunneln samt geologisk och hydrogeologisk modellering av dessa undersökningar. Bestämmande är förekomst av kritiska strukturer av klass 3 (avseende mekanisk stabilitet och grundvattenflöde). Vidare kan förekomst av amfibolit och andra termiskt lågkonduktiva bergarter utesluta eller påverka avståndet mellan deponeringshål som enligt nuvarande layout är 6.0 eller 6.8 m för de två bergdomänerna i förvarsområdet.

Efter utbyggnad av deponeringstunnel skall beslut om pilotborrning och undersökningar för deponeringspositioner tas för hela deponeringstunneln. Vidare bör undersökningarna i pilotborrhålen genomföras i hela deponeringstunneln innan borrning av deponeringshål påbörjas.

Beslut om utförande av deponeringshål

Beslut om vilka deponeringspositioner som ska resultera i deponeringshål baseras på undersökningsresultat från pilotborrhålen och uppdaterad modellering, med avstämning mot konstruktionsförutsättningar. Identifiering av eventuella subhorisontella kritiska strukturer av klass 3 belägna under tunnelgolvet är en väsentlig uppgift, liksom eventuell förekomst av viktiga underordnade bergarter.

Beslut om godkännande av deponeringshål för deponering av kapsel

Beslut om godkännande av deponeringshål rör både rent geometriska krav samt geologiska och hydrogeologiska krav förknippade med buffertens stabilitet och säkerhet efter förslutning. Besluten baseras på verifierande geologiska, hydrogeologiska och bergmekaniska undersökningar samt geometriska mätningar i deponeringshålet.

För deponeringshål som uppfyller kriterierna görs uppföljande observationer och monitorering av inflöden fram till dess att deponering av kapsel ska utföras (inom 5 år från tillredningen). De avslutande mätningarna ger slutligt underlag för beslut om godkännande av ett enskilt deponeringshål.

7.4 Aktiviteter

Nedan beskrivs undersökningar i samband med utbyggnad av deponeringsområden. Utformning och omfattning av undersökningarna kan komma att justeras baserat på erfarenheter från integrations-tester och samfunktionsprovning, osäkerheter redovisade i SDM-SAR samt erfarenheter från utbyggnaden av föregående deponeringsområden. Även resultat från analysen av säkerhet efter förslutning som ingår i SAR inför provdrift, förändrade konstruktionsförutsättningar och villkor förknippade med tillstånd till provdrift och rutinmässig drift av slutförvaret, kan påverka utformning och omfattning av detaljundersökningarna.

En sammanfattning av aktiviteter och motiv till dessa presenteras i tabell 7-2. Efter tabellen följer en utförligare beskrivning av aktiviteterna. I anslutning till detaljprojektering av deponeringsområden kommer operativa detaljundersökningsprogram att upprättas för detaljerad styrning av genomförandet.

- Pilotborrhål under drivning av stamtunnel.
- Pilotborrhål under drivning av transporttunnel.
- Kontinuerliga undersökningar under drivning av stam- och transporttunnlar.
- Förhållanden vid randområden.
- Geometrier och egenskaper hos större deformationszoner.

- Pilotborrhål för deponeringstunnlar.
- Hydrauliska interferenstester och geofysiska mellanhålmätningar.
- Kontinuerliga undersökningar under drivning av deponeringstunnlar.
- Pilotborrhål för deponeringshål vid deponeringspositioner.
- Undersökningar avseende kritiska strukturer i deponeringshål.
- Kartläggning och mätningar av deponeringshål.
- Bergspänningsmätningar och kontroll av mekanisk stabilitet.
- Undersökningar av sprängskadezon, EDZ.
- Bergets transportegenskaper.
- Monitering av inflöde, grundvattentryck, hydrogeokemi och hydrokemi.
- Seismisk monitering.
- Modellering.

Utöver detta behöver det finnas beredskap för detaljundersökningar om strukturer eller förhållanden påträffas som signifikant avviker från förväntat utfall, men även särskilda karakteriseringsinsatser om tillkommande behov uppkommer.

Tabell 7-2. Geovetenskapliga undersökningar vid utbyggnad av deponeringsområden. Aktiviteterna presenteras huvudsakligen i sekventiell ordning. Vissa aktiviteter återkommer dock vid två eller flera tillfällen. Samtliga pilotborrhål utförs som kärnborrhål.

Aktivitet	Beskrivning	Motiv
Pilotborrhål under drivning av stamtunnel	Kontinuerlig pilotborrning. Borrhålsundersökningar med vattenprovtagning	Underlag för: – Kontroll av konstruktionsförutsättnings uppfyllelse. – Injekterings- och förstärkningsbehov. – Verifiering av modellerade geovetenskapliga förhållanden och uppdatering av anläggningsdelmodell. – Avgränsning av deponeringsområdet. – Läge för transporttunnel. Preliminära val av lägen för deponeringstunnlar. – Förnyad säkerhetsanalys minst var 10:e år.
Pilotborrhål under drivning av transporttunnel	Kontinuerlig pilotborrning. Borrhålsundersökningar med vattenprovtagning.	Underlag för: – Kontroll av konstruktionsförutsättnings uppfyllelse. – Injekterings- och förstärkningsbehov. – Verifiering av modellerade geovetenskapliga förhållanden och uppdatering av modeller i tunnel- och anläggningsdelskala. – Förnyad säkerhetsanalys minst var 10:e år.
Kontinuerliga undersökningar under drivning av stam- och transporttunnel	Data från sonderingsborrhål samt övrig byggrelaterad information. Geologisk/hydrogeologisk kartläggning av bergväggar. Geometrisk dokumentation av tunnel.	Underlag för: – Kontroll av konstruktionsförutsättnings uppfyllelse. – Val av lägen för deponeringstunnlar. – Injektering och bergförstärkning. – Verifiering av modellerade geovetenskapliga förhållanden och uppdatering av modeller i tunnel- och anläggningsdelskala. – Förnyad säkerhetsanalys minst var 10:e år.

Aktivitet	Beskrivning	Motiv
Förhållanden vid randområden	<p>Undersökningar av randområden till den tektoniska linsen för avgränsning av deponeringsområde. Pilotborrhål med undersökningar enligt ovan kompletteras vid behov med undersökningsborrhål från stam- eller transporttunnlar.</p> <p>Borrhålsmätningar och geologiska-geofysiska undersökningar från tunnlar fastställs i operativt undersökningsprogram. Bergspänningsmätningar.</p> <p>Undersökningsborrhål utanför deponeringsområdet används lämpligen för hydrogeologisk och hydrogeokemisk monitorering.</p>	<p>Underlag för:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Avgränsning av deponeringsområdet. – Injektering- och förstärkningsbehov. – Verifiering av modellerade geovetenskapliga förhållanden och uppdatering av modeller i tunnel- och anläggningsdelskala. – Förnyad säkerhetsanalys minst var 10:e år. <p>Bergspänningsmätningarna ger underlag till den bergmekaniska platsspecifika modellen.</p>
Geometrier och egenskaper hos större deformationszoner	<p>Kartläggning av deformationszoner i pilotborrhål och tunnlar. Borrhålsmätningar av hydrogeologiska och övriga egenskaper. Provtagning för bestämning av geofysiska och bergmekaniska parametrar. Om vattenförande sprickor påträffas tas vattenprover för kemiska analyser. Vid behov genomförs hydrauliska interferenstester samt geofysiska mätningar mellan pilotborrhål och tunnlar. Klassificering med avseende på kritiska strukturer klass 1 och 2 samt deras kritiska volymer.</p>	<p>Underlag för:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Kontroll av konstruktionsförutsättnings uppfyllelse. – Injektering och bergförstärkning. – Verifiering av modellerade geovetenskapliga förhållanden och uppdatering av modeller i tunnel- och anläggningsdelskala. – Avgränsning av tillgängligt utrymme för deponeringsområde och deponeringstunnlar. – Förnyad säkerhetsanalys minst var 10:e år.
Pilotborrhål för deponeringstunnlar	<p>Pilotborrhål för deponeringstunnlar borras i grupper om ca fem och sekventiellt. I färdiga manschetterade pilotborrhål moniteras tryckresponser vid borring av nya hål som underlag för förståelse av hydraulisk konnektivitet. Undersökningar i borrhålen görs enligt standard för pilotborrhål i deponeringsområden som utarbetas under integrationstester och presenteras i operativt undersökningsprogram. Identifiering av bergarter med reducerad termisk ledningsförmåga. Successiv manschettering av borrhål.</p>	<p>Underlag för:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Detaljplanering av eventuella hydrauliska interferenstester och geofysiska mellanålsmätningar. – Kontroll av konstruktionsförutsättnings uppfyllelse. – Beslut om uppförande av deponeringstunnel samt preliminärt val av kapselpositioner. – Läge för plugg vid tunnelmyning. – Injekterings- och förstärkningsbehov. – Verifiering av modellerade geovetenskapliga förhållanden och uppdatering av modeller i tunnel- och anläggningsdelskala. – Förnyad säkerhetsanalys minst var 10:e år.
Hydrauliska interferenstester och geofysiska mellanålsmätningar	<p>Om vattenförande sprickor påträffas i pilotborrhål för deponeringstunnlar, och om borringen ger upphov till tryckresponser mellan borrhål, görs hydrauliska interferenstester och geofysiska (främst elektriska) mellanålsmätningar för att kartlägga hydrauliska och fysikaliska samband som kan indikera förekomst av potentiella kritiska strukturer i kommande deponeringshålspositioner. Även fördjupad karakterisering av undersökta strukturers hydrauliska materialegenskaper.</p>	<p>Underlag för:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Kontroll av konstruktionsförutsättnings uppfyllelse. – Val av deponeringspositioner. – Injekterings- och förstärkningsbehov. – Verifiering av modellerade geovetenskapliga förhållanden och uppdatering av modeller i tunnel- och anläggningsdelskala. – Förnyad säkerhetsanalys minst var 10:e år.

Aktivitet	Beskrivning	Motiv
Kontinuerliga undersökningar under drivning av deponeringstunnlar	Data från sonderingsborrhål samt övrig byggrelaterad information. Geologisk/hydrogeologisk kartläggning av bergvägar samt tunnelgolv. Uppföljning av bergarter med reducerad termisk ledningsförmåga. Geometrisk dokumentation av tunnel.	Underlag för: – Kontroll av konstruktionsförutsättningars uppfyllelse. – Val av deponeringspositioner, inkl underlag för termisk optimering av avstånd mellan deponeringshål. – Injekterings- och förstärkningsbehov. – Läge för plugg vid tunnelmynning. – Verifiering av modellerade geovetenskapliga förhållanden och uppdatering av modeller i tunnel- och anläggningsdelskala. – Förnyad säkerhetsanalys minst var 10:e år.
Pilotborrhål för deponeringshål vid deponeringspositioner (Beslut om lägen för pilotborrning baseras på uppdaterad arbetsmodell i tunnelskala med underlag från pilotborrhål och undersökningar i deponeringstunneln, inklusive hänsyn till termiska egenskaper.)	Pilotborrning vid valda lägen för deponeringspositioner. Tryckregistrering i manschetterade pilotborrhål under borrning, omfattande 5–10 borrhål. Kartering av borrhärna. Hydrauliska mätningar. Identifiering av bergarter med reducerad termisk ledningsförmåga.	Underlag för: – Identifiering av potentiella kritiska strukturer i pilothål för deponeringshål. – Beslut om borrning av deponeringshål. – Verifiering av modellerade geovetenskapliga förhållanden och uppdatering av modeller i tunnel- och anläggningsdelskala. – Förnyad säkerhetsanalys minst var 10:e år.
Undersökningar avseende kritiska strukturer i deponeringshål	Kartläggning (inkluderande tryckresponser mellan borrhål) av mindre deformationszoner och uthålliga enskilda sprickor i och mellan pilotborrhål, deponeringstunnlar och deponeringshål. Mätningar av geologiska, geofysiska och hydrogeologiska och övriga egenskaper i borrhål och tunnel. I deponeringstunneln kartläggs FPI:er (indikator för kritiska strukturer av klass 3).	Underlag för: – Identifiering av kritiska strukturer av klass 3 i deponeringshål. – Val av deponeringspositioner och godkännande av deponeringshål. – Verifiering av modellerade geovetenskapliga förhållanden och uppdatering av modeller i tunnel- och anläggningsdelskala. – Förnyad säkerhetsanalys minst var 10:e år.
<i>Efter borrning av deponeringshål:</i> Kartläggning och mätningar av deponeringshål	Geologisk och bergmekanisk kartläggning. Hydrauliska mätningar. Geometrisk dokumentation.	Underlag för kontroll av konstruktionsförutsättningars uppfyllelse: – Kritiska strukturer i deponeringshål. – Inflöde till deponeringshål. – Geometrisk krav på deponeringshål. Underlag för: – Val och godkännande av deponeringshål. – Verifiering av modellerade geovetenskapliga förhållanden och uppdatering av modeller i tunnel- och anläggningsdelskala. – Förnyad säkerhetsanalys minst var 10:e år.
Bergspänningsmätningar Kontroll av mekanisk stabilitet	I stamtunnel mätningar med LVDT-metoden, eventuellt kompletterat med konvergensmätningar, för orientering av huvudspänningar. I deponeringstunnel verifierande mätningar med slitsmetoden i ett urval av deponeringspositioner. Pilotborrhål/borrhärna, deponeringstunnlar, deponeringsborrhål samt stam- och transporttunnlar inspekteras med avseende på spjälkning och annan instabilitet. Mekaniska parameterer erhålls från tester på borrhärnor från pilotborrhål.	Underlag för: – Fastställande deponeringstunnlars riktning. – Bedömning av förstärkningsbehov. – Verifiering av modellerade bergmekaniska förhållanden och uppdatering av anläggningsdelmodell. – Kontroll av deponeringshåls geometri. – Förnyad säkerhetsanalys minst var 10:e år.

Aktivitet	Beskrivning	Motiv
Undersökningar av sprängskadezon, EDZ	Geofysiska och geologiska undersökningar i deponeringstunnlar, stam- och transporttunnlar. Därutöver hydrogeologiska undersökningar i deponeringstunnlar för bestämning av EDZ:s transmissivitet och hydrauliska kontinuitet.	Underlag för: – Verifiering att sprängskadezonen EDZ uppfyller konstruktionsförutsättningarna för tunnlar i deponeringsområde. – Förnyad säkerhetsanalys minst var 10:e år.
Bergets transportegenskaper	Laboratorieförsök för bestämning av bergets diffusions- och sorptionsegenskaper	Underlag för: – Verifiering av retardationsmodell SDM-SAR. – Förnyad säkerhetsanalys minst var 10:e år.
Monitering av inflöde, grundvattentryck, hydrogeokemi och hydrokemi	Fortsatt monitering av grundvattentryck, -flöde och -kemi i borrhål från markytan och i underjordsanläggningen. Nya moniteringspunkter för inflöde tillkommer successivt i deponeringsområden vid mätvallar i enskilda tunnlar. Monitering av inflöde till deponeringstunnel och preliminärt godkända deponeringshål. Hydrogeologisk monitering vid pluggen i deponeringstunnlarna. Provtagning för kontroll av tillfört och inflödande vatten (kemiska sammansättning och spårämne). Uppföljning av monitering kopplad till SFR.	Underlag för: – Miljökontroll. – Kontroll av konstruktionsförutsättningars uppfyllelse. – Beslut om godkännande av deponeringshål. – Verifiering av modellerade geovetenskapliga förhållanden och uppdatering av anläggningsdelmodell. – Förnyad säkerhetsanalys minst var 10:e år. – Förståelse av ömsesidig påverkan mellan SFR och Kärnbränsleförvaret.
Seismisk monitering	Fortsatt monitering med nationellt och lokalt seismiskt nät för registrering av seismiska händelser. GNSS-monitering fortsätter.	Underlag för: – Bedömning av påverkan av tunnlar/schakt på omgivande berggrund. – Förnyad säkerhetsanalys minst var 10:e år.
Modellering	Kontinuerlig uppdatering av arbetsmodeller för deponeringsområden (och delar därav) främst i tunnelskala och anläggningsdelskala. Modellering av termisk ledningsförmåga (underliggande stokastiskt baserad modell av litologisk heterogenitet). Modellering som stöd för kontroll av konstruktionsförutsättningar. Modellering för beslut om placering och uppförande av deponeringstunnel, deponeringshål och plugg vid deponeringstunnelns mynning mot stamtunnel, bl a genom tillämpning av termisk optimering. Modellering som underlag till beslut om godkännande av deponeringstunnel, deponeringshål och plugg. Modellering för bergarbetenas behov.	Underlag för uppdatering av program avseende injekterings- och förstärkningsbehov. Underlag för verifiering av modellerade geovetenskapliga förhållanden och förnyade säkerhetsanalyser. Underlag för placering av deponeringstunnlar, deponeringshål och plugg med lokal anpassning av deponeringshålspositioner Underlag för beslut om: – Avgränsning av ett deponeringsområde, – utförande av stamtunnel, – utförande av transporttunnel. – Placering och uppförande av deponeringstunnlar. – Deponeringspositioner och utförande av deponeringshål i deponeringstunnlar. – Godkännande av deponeringshål för deponering av kapsel. Underlag till uppdatering av SDM, minst var 10:e år för förnyade säkerhetsanalyser, se kapitel 8.

Pilotborrhål under drivning av stamtunnel

Kunskapen om bergförhållanden i tillkommande deponeringsområden bedöms generellt som god. Information från uppförandet av tillfarter, centralområde, första tunnelslingan, med tillhörande undersökningar kommer att finnas analyserad och beskriven i SDM-SAR som underlag för ansökan om provdrift. Inför utbyggnaden av varje nytt deponeringsområde sammanställs och analyseras all tillgänglig information.

Utbyggnaden inleds med en stamtunnel med kontinuerlig pilotborrning. Undersökningar i pilotborrhålen, tillsammans med kartläggningen av stamtunneln, utgör underlag för anpassning av läge för deponeringstunnlar till lokala förhållanden i berggrunden. Främst är det genom undersökningar av de hydrauliska egenskaperna hos deformationszoner (potentiella kritiska strukturer) och genom underlag för uppdatering av den lokala DFN-modellens hydrogeologiska egenskaper, som pilotborrhålet tillför kunskap för beslut om placering av deponeringstunnlar.

I pilotborrhålen genomförs hydrauliska tester och geofysiska mätningar. Borrkärnan karteras och geofysiska och bergmekaniska parametrar bestäms på borrprover. Om vattenförande sprickor påträffas gör bedömning om vattenprov för kemiska analyser ska tas. För undersökningar kommer en standard för pilotborrhål i deponeringsområden att utarbetas under integrationstesterna och presenteras i operativa undersökningsprogram.

Pilotborrhål under drivning av transporttunnel

Baserat på underlag från stamtunnlar har läget för den yttre transporttunneln fastställts. Vid uppförandet tillämpas kontinuerlig pilotborrning. Undersökningar är i allt väsentligt lika som i stamtunnlarnas pilotborrhål.

Kontinuerliga undersökningar under drivning stam- och transporttunnlar

Som beskrivits tidigare kommer drivningen av tunnlar att generera data, som utflödesdata från sonderingsborrhål, mängd injekterat cementbruk, vattenförbrukning och utpumpat länsvatten och andra data från bergguttaget. Vid behov kan flödes- och tryckkuppbyggnadstester med möjlighet till transient utvärdering utföras i sonderingshål. Alla data dokumenteras löpande i databas. Berggrunden med dess bergarter, sprickor och inflöden kommer att dokumenteras med RoCS-systemet. Av särskilt intresse är utbredning av bergarter med låg termisk konduktivitet, såsom amfibolit, som underlag för slutligt beslut om avstånd mellan deponeringstunnlar.

Mätvallar installeras med mätsystem för monitorering av vatteninflöden. Strategi och undersökningar för att bestämma var dessa placeras beskrivs i operativa program.

Förhållanden vid randområden

Den tektoniska linsens yttre avgränsning är inte skarpt definierad gentemot den omgivande berggrunden. För att kunna tillgodogöra sig bergdomänernas goda egenskaper på ett optimalt sätt behöver dessas individuella avgränsningar successivt fastställas i takt med att deponeringsområdena byggs ut. Transporttunnlar kan komma att förläggas i omgivande berggrund (dvs utanför den tektoniska linsens översiktliga avgränsning, men i dess närområde) om de geologiska förhållandena medger detta. För att öka kunskapen om förhållanden och egenskaper i randområden, inklusive förekomst av större deformationszoner, kan förutom pilotborrning och kontinuerliga undersökningarna i tunnlar, även kärnborrhål som undersöker randområdenas egenskaper från stam- eller transporttunnlar bli aktuella. Hydrogeologiska och geofysiska undersökningar i och mellan borrhål och tunnlar, liksom provtagning och kemiska analys av grundvatten, ger indikation om förhållanden ute i bergvolymen. Behovet av undersökningar utreds i det löpande modelleringsarbetet och beskrivs i operativa program. Detta gäller även behovet av bergspänningsmätningar om transporttunnel förläggs dit, se aktiviteten bergspänningsmätningar nedan. Eventuella undersökningshål som inte är pilotborrhål för tunnlar kan vid behov användas för hydrogeologisk och hydrogeokemisk monitorering under en kortare eller längre period. Vid avslutad användning ska borrhålen förslutas.

Geometrier och egenskaper hos större deformationszoner

Beroende på geometrier och egenskaper begränsar större deformationszoner deponeringsområdets och deponeringstunnlars utsträckning (kritiska strukturer och deras volymer, se kapitel 3). Förutom den kartläggning som görs vid pilotborrning och under kontinuerliga undersökningar i tunnlar kan osäkerheter i existens, läge och egenskaper hos dessa zoner medföra ytterligare undersökningar. Detta kan vara geofysiska undersökningar i och mellan tunnlar och borrhål, eventuellt kombinerat med kärnborrhål från stam- eller transporttunnel enligt ovan.

För att bestämma deformationszoners utbredning och egenskaper kan även geologisk kartläggning och geofysiska undersökningar från mark- eller bergytan samt borrhning från markytan bli aktuell. Sådana undersökningar kan även behöva genomföras om tidigare okända deformationszoner påträffas under utbyggnaden och som potentiellt kan utgöra kritiska strukturer eller är av annan betydelse för projektering/bergarbeten och/eller säkerhetsanalys. För att avgöra om en deformationszon (kan även vara annan geologisk struktur som exempelvis bergartskontakt) ska klassificeras som en kritisk struktur krävs modellering. Behovet av undersökningar utreds i det modelleringsarbete som sker löpande under uppförandet och beskrivs i operativa program.

Pilotborrhål för deponeringstunnlar

Drivningen av deponeringstunnlar kommer att föregås av ca fem pilotborrhål (för lika många potentiella lägen för deponeringstunnlar) som borraras inom konturen för de blivande tunnlar. Pilothålen borraras i direkt sekvens för att därefter undersökas samlat. Borrhålen förses successivt med manschettering för registrering av tryckresponser som ger underlag för preliminär tolkning av hydrauliskt sammanhängande strukturer och för planering av mer kvalificerade hydrauliska och geofysiska mellanhålsmätningar (interferenstester). Pilotborrhålen ger även underlag för förstärkningsprognos och om förinjektering behövs av någon specifik deformationszon eller vattenförande parti. De ger också underlag för preliminära deponeringspositioner. Indikationer på kritiska strukturer samt förekomst av amfibolit och episyenit är av särskilt intresse. Pilotborrhålen undersöks enligt standard för pilotborrhål som kommer att fastläggas under integrationstester, inkluderande hydrauliska tester och bestämning av geofysiska, termiska och bergmekaniska parametrar på borrhprover. Om vattenförande sprickor påträffas görs en bedömning av om vattenprov ska tas för kemiska analyser.

Hydrauliska interferenstester och geofysiska mellanhålsmätningar

Om pilotborrhål för deponeringstunnlar påträffar hydrauliskt ledande strukturer kan dessa och andra monitorerade borrhål användas för fördjupad karakterisering med hydrauliska interferenstester. Detta gäller även episyenit om sådan bergart påträffas och har signifikant utsträckning. Undersökningarnas omfattning baseras på erfarenheter från integrationstesterna för utbyggnad och kan även inkludera geofysiska, främst elektriska, mellanhålsmätningar. Den senare metoden kan användas mellan borrhål och tunnlar eller mellan tunnlar. Det övergripande syftet är att visa på eventuella hydrauliska och fysikaliska samband som kan indikera förekomst av kritiska strukturer. Dessa kan påverka val av deponeringspositioner samt ge fördjupad beskrivning av undersökta strukturers (hydrauliska) materialegenskaper.

Kontinuerliga undersökningar under drivning av deponeringstunnlar

Som beskrivits tidigare kommer drivningen av deponeringstunnlar att generera byggrelaterade data, som utflödesdata från sonderingsborrhål, mängd injekterat cementbruk i mindre deformationszoner, vattenförbrukning och utpumpat länsvatten samt andra data från bergguttaget. Vid behov kan flödes- och tryckupbyggnadstester med möjlighet till transient utvärdering utföras i sonderingshål. Alla data dokumenteras löpande i databas. Berggrunden med dess bergarter, sprickor och inflöden kommer att dokumenteras med RoCS-systemet. Av särskilt intresse är utbredning av bergarter med låg termisk konduktivitet, såsom amfibolit, som underlag för beslut om avstånd mellan deponeringspositioner.

Mätvallar installeras med mätsystem för monitorering. Deras utformning och var dessa placeras beskrivs i operativa program.

Pilotborrhål för deponeringshål vid deponeringspositioner

Vid valda deponeringspositioner kärnborras ett pilotborrhål inom konturen för det blivande deponeringshålet. (Detta pilotborrhål är ett undersökningsborrhål som inte används för styrning av fullborrningen av deponeringshålet.) Valen baseras på uppdaterad arbetsmodell i tunnelskala med underlag från pilotborrhålet för deponeringstunneln och undersökningar i deponeringstunneln, inklusive termiska egenskaper. Vid signifikant inflöde vid borrhning av pilothålet för deponeringshålet manschetteras borrhålet för registrering av tryckresponser när andra pilotborrhål för deponeringshål borraras. Borrhningen görs i kampanjer.

Borrkärnan från pilotborrhålet för deponeringshålet karteras och hydrauliska undersökningar genomförs. Vid behov bestäms termiska egenskaper på borrkärnan. Resultat från inflödesmätningar ger underlag för indirekt kontroll av den hydrauliska konstruktionsförutsättningen om inflöde till deponeringshål (avseende buffererosion). Med hydrauliska tester i pilotborrhålet bestäms transmissiviteten vilket enligt konstruktionsförutsättningens kravformulering om transmissivitet möjliggör kontroll av kravuppfyllelse, se bilaga. De hydrauliska testerna utgör även ett underlag för bestämning av sprängskadezonens (EDZ) egenskaper och hydrauliska kontinuitet utefter deponeringstunnelns golv. Strategier för utvärdering, inklusive tillhörande modellering, och för prognos om de hydrauliska konstruktionsförutsättningarna kommer att uppfyllas utvecklas i samarbete med Posiva. Dessa strategier kommer även att verifieras inom ramen för integrationstesterna, för fastställande av metodik för driftskedet.

Undersökningar avseende kritiska strukturer i deponeringshål

Kritiska strukturer får inte skära deponeringshål. Identifiering av möjliga kritiska strukturer sker i flera steg och med olika metoder, i pilotborrhål för tunnlar och deponeringshål liksom i de utbrutna tunnarna och deponeringshålen. Strategier och metodik kommer att uppdateras efter att undersöknings- och modelleringsmetoder för detta testats inom integrationstesterna för utbyggnad, se avsnitt 6.3.1. Om kritiska strukturer kan verifieras i ett tidigt skede kan man undvika onödig borring av pilotborrhål för deponeringshål i positioner där sådana strukturer har identifierats.

Underlag för identifiering och klassning av kritiska strukturers geometrier och egenskaper fås från undersökningar i pilotborrhål och från den kartläggning som görs i tunnlar och senare i deponeringshålen, varvid modellering ingår som ett integrerande instrument, se även avsnitt 3.2. Vid tunnelkarteringen läggs särskild vikt på att identifiera FPI:er, som indikatorer på potentiellt kritiska strukturer. Karteringen kompletteras med tidigare nämnda hydrauliska interferenstester och geofysiska, främst elektriska, mellanhålmätningar. Beroende på vilka strukturer som påträffas kan även andra geofysiska mätningar, främst markradar, bli aktuella för identifiering av EFPC-strukturer i närområdet till deponeringstunnlar, särskilt under tunnelgolvet, och för bestämning av deras utsträckning. Tunnelgolvet avplaning förväntas ge förbättrade förutsättningar för markradarmätningar. För alla färdigställda deponeringshål ska slutlig kontroll av förekomst av kritiska strukturer göras innan de godkänns för deponering.

Med den metodik för klassning av kritiska strukturer som beskrivs i avsnitt 3.2 finns potential att utnyttja ett större antal deponeringspositioner än vad FPI-kriterierna tillåter. Detta förutsätter att man kan bestämma eller avgränsa den maximala storleken för de potentiellt kritiska strukturerna samt bestämma andra väsentliga egenskaper för bedömning av risken för skjuvning (ytegenskaper och orientering i förhållande till bergspänningsfältet). Detta kommer dock troligen inte att vara fallet under driftskedets inledning, men allt eftersom metodik, kunskapsdatabas och koncept om de potentiella kritiska strukturernas uppträdande och egenskaper i förvarsområdet byggs upp finns möjligheten att man i större utsträckning kan identifiera vissa strukturer som varande icke kritiska.

Kartläggning och mätningar av deponeringshål

Verifiering av uppfyllelse av konstruktionsförutsättningar görs enligt följande:

- Krav på inflöde till deponeringshål verifieras genom inflödesmätningar och uppföljande monitorering.
- Geometriska krav på deponeringshålet verifieras genom geodetiska mätningar.
- För kritiska strukturer i deponeringshål framgår detta av aktiviteten ” Undersökningar avseende kritiska strukturer i deponeringshål” enligt ovan.

Verifiering av uppfyllelse av kravet på maximal transmissivitet görs i enlighet med konstruktionsförutsättningens formulering i pilotborrhål för deponeringshål, se ovan.

För pilotborrhål där undersökningarna indikerar att konstruktionsförutsättningarna kommer att uppfyllas, borrar ett deponeringshål till sin fulla diameter. Väggen och botten av deponeringsborrhålet karteras med RoCS-metoden. Indikationer på större sprickor och vattenförande sprickor är av särskilt intresse, liksom förekomst av amfibolit och episyenit samt indikationer på spjälkning.

Deponeringshålets geometrier är specificerade med höga toleranskrav för att möjliggöra inplacering av kapslar och för att bufferten ska fungera enligt given konstruktionsförutsättning. Inmätning av deponeringshålets geometri förutses göras med metodik som fastläggs efter genomförda integrationstester.

Metodik för inflödesmätningar och behov av eventuell uppföljande kontroll av kravet på maximal transmissivitet i deponeringshål kommer att fastläggas efter genomförda integrationstester.

Bergspänningsmätningar och kontroll av mekanisk stabilitet

Som underlag för beslut om eventuell justering av deponeringstunnlarnas riktning i ett deponeringsområde genomförs på några ställen i stamtunnlar bergmekaniska undersökningar för fastställande av huvudspänningarnas orienteringar. Om en transporttunnel förläggs till den tektoniska linsens randområden genomförs bergspänningsmätningar även där eftersom förhållandena kan avvika från förhållandena inom linsen. Undersökningarna inkluderar överborrningsmätningar (LVDT-metoden) och konvergensmätningar. I deponeringstunnlar görs vid behov verifierande mätningar med slitsmetoden. Bergspänningsprogrammets utformning kommer att läggas fast efter det att strategier och metoder testats i tunnlar för integrationstest och samfunktionsprovning (avsnitt 6.3.1) och därvid verifierats som tillämpliga för sitt syfte. Mekaniska parametrar erhålls från tester på borrhåll. Var undersökningarna genomförs samt deras omfattning beskrivs i operativa program.

I ovan nämnda tunnlar, liksom i deponeringstunnlar, kommer bergväggar att inspekteras och förstärkningar görs där instabilitet, som spjälkning, observeras eller kan förväntas. Sådana observationer dokumenteras och kan komma att styra var ytterligare bergmekaniska studier genomförs. Även i deponeringsborrhål dokumenteras förekomst av spjälkning och dess dynamik.

Undersökningar av sprängskadezon, EDZ

Kontroll av att hydrauliska konstruktionsförutsättningar avseende EDZ uppfylls i tunnlar genomförs med den metodik som har testats i rampen och i tunnlar för integrationstester, se kapitel 6. Efter godkännande för tillämpning används den i förvaransområdets tunnlar. Om kravet inte uppfylls ger undersökningarna underlag till justering av drivningsteknik.

Bergets transportegenskaper

Borrhåll från pilotborrhål för tunnlar i deponeringsområden (främst deponeringstunnlar) och från pilotborrhål för deponeringshål provtas för laboratorieförsök. Resultaten utgör underlag för verifiering av retardationsmodell SDM-SAR som utgör indata till SDM-uppdateringar inför förnyade SAR. Omfattningen av dessa laboratorieundersökningar är beroende av tilltron till existerande modell och graden av homogenitet i matrisbergets litologi och sprickmineralogi hos berörda berg- och sprickdomäner.

Monitering av inflöde, grundvattentryck, hydrogeokemi och hydrokemi

Under hela driftskedet fortsätter moniteringen av meteorologiska, hydrologiska och hydrokemiska parametrar i Forsmarksområdets luft och ytvatten. Även den hydrogeologiska och hydrogeokemiska moniteringen fortsätter i borrhål från markytan och i eventuellt tillkommande (temporära) undersökningsborrhål under jord. Detsamma gäller för den monitering som pågår i underjordsanläggningen vid mätvallar för kvantifiering av inläckande grundvatten till olika anläggningsdelar och tunnelavsnitt.

Nya moniteringspunkter tillkommer successivt i deponeringsområden i takt med den stegvisa utbyggnaden. Här avses främst monitering av inflöden till deponeringstunnlar och deponeringshål, för kontroll av konstruktionsförutsättningar. Kontrollerna avser att inflöden till deponeringstunnel och deponeringshål kan accepteras med avseende på installationsmetoder för buffert och återfyllnad. Inflödet till deponeringshål mäts först i samband med hålets karakterisering för preliminär verifiering av hydraulisk konstruktionsförutsättning. För slutligt godkännande behöver accepterade deponeringshål därefter moniteras under hela tiden fram till deponering av kapsel. Moniteringen av deponeringstunnel avslutas då deponeringstunnlar återfylls och pluggas.

Mängden utpumpat länsvatten mäts kontinuerligt och vattenprover tas regelbundet för kemiska analyser. Även det tillförda vattnet till anläggningen analyseras och kontrolleras med avseende på konstant koncentration av spårämne.

Seismisk monitorering

Under hela driftskedet fortsätter den seismiska monitoreringen, såväl med det nationella seismiska nätet som med det lokala seismiska nätet. Antalet mätpunkter för det lokala nätet kommer vid behov att ökas. Även GNSS-monitoreringen fortsätter för att detektera eventuella rörelser över utvalda större deformationszoner i Forsmarksområdet. Informationen används främst vid upprättande av beskrivande geologiska modeller.

Den seismiska monitoreringen kan även ge information om deformation av bergmassan som en följd av tunneldrivning, vilket bidrar till ökad kunskap om var sådan deformation förekommer och ger därmed underlag för bedömning av hur stor påverkan tunneldrivningen har på omgivande berggrund. Möjligen kan även deformation i enskilda sprickor och deformationszoner påvisas.

Modellering

Arbetet fortsätter med att uppdatera arbetsmodeller i olika skalor (främst i tunnel- och anläggningsdelskala för deponeringsområden, och integrerat i större skala för hela förvarsområdet i anläggningskala). Detta inbegriper resultat från undersökningar i samband med utbyggnad av stam-, transport- och deponeringstunnlar samt i och mellan pilotborrhål för deponeringstunnlar och eventuella tillkommande kärnborrhål. För deponeringstunnlar (eller grupper av dessa) upprättas modeller i detaljerad skala (främst tunnelskala) av faktorer viktiga för att visa på uppfyllande av konstruktionsförutsättningar, t ex bergspänningssituation, mekanisk stabilitet och termiska egenskaper. Den geologiska och hydrogeologiska modelleringen, genom statistisk beskrivning av diskreta spricknätverk och deterministisk beskrivning av deformationszoner och enskilda sprickor, har som speciellt mål att identifiera och kvantifiera möjliga kritiska strukturer, se även tabell 7-2. Modelleringen ska även beakta bergarbetenas behov av prognoser för injekterings- och förstärkningsbehov. Arbetsmodellerna integreras successivt i anläggningsdelskala och utgör senare underlag för uppdatering av en fullständig platsbeskrivande modell, som i sin tur utgör underlag för de återkommande helhetsbedömningar och säkerhetsanalyser som ska göras minst var 10:e år, se avsnitt 8.4.

Vissa aktiviteter kommer att kräva särskilda modelleringsinsatser. T.ex. kan förekomst av episyenit kräva särskilda insatser i den händelse denna underordnade bergart påträffas i sådan omfattning att förekomst, utsträckning och egenskaper har betydelse för beskrivning och kvantifiering av grundvattenflöde och transport av lösta ämnen.

Integrerad uppdatering av geologiska och hydrogeologiska delmodeller sker kontinuerligt medan uppdatering av andra ämnesvisa modeller sker vid behov.

8 Modellering

Den platsbeskrivande modellen från platsundersökningen, SDM-Site, inklusive resultaten från de kompletterande undersökningar som gjorts före byggstart, utgör det väsentliga underlaget för det fortsatta modelleringsarbetet under slutförvarets uppförande och drift. Medan platsundersökningen huvudsakligen upprättade platsbeskrivande modeller i lokal och regional skala kommer modeller för olika syften och i andra mer detaljerade skalor att upprättas. Arbetsmodeller av olika slag, volymsomfattning och skalor kommer att vara de mest påtagliga nya elementen i modelleringsarbetet. Inför ansökan om provdrift kommer en uppdaterad platsbeskrivning (SDM-SAR) att upprättas. Det kan i sammanhanget noteras att kärntekniklagen ställer krav på återkommande helhetsbedömning av säkerhet och strålskydd var 10:e år för anläggningar i drift med därtill kopplad uppdatering av SDM.

Modeller används för olika syften, t.ex. för beskrivning, upprättande av prognoser eller kvantifierande analyser, eller en kombination av dessa. Typiskt för modellering är den ömsesidiga kopplingen mellan de olika modellvolymerna/-skalorna, se avsnitt 8.1. Om exempelvis osäkerheter i en prognos (förväntningsmodell) i större skala framkallar behov av detaljerade undersökningar (såsom pilotborrhål) används arbetsmodeller i tunnelskala för att tolka mätresultaten vilket i sin tur ger återkoppling till prognosen upprättad i den större modellskalan. I detta kapitel ges en översiktlig beskrivning av de olika modelleringskomponenterna och modelleringsproceduren under anläggningens uppförande, i samband med deponering samt för den platsbeskrivande modelleringen för SDM-SAR. Kortfattade beskrivningar av modelleringens tillämpningar återfinns även under de olika uppförande- och driftstegen som redovisas i kapitel 4 till 7.

Arbetsmodellernas huvudsakliga skalor är tunnelskala och anläggningsdelskala. Tunnelskalan beskriver enskilda underjordsöppningar (tunnlar, schakt och hallar) eller modeller baserade på föregående pilotborrhål. För kontinuerlig uppföljning behöver resultat från dessa detaljerade modeller integreras i modeller som beskriver förhållanden i större bergvolym och som omfattar den eller de anläggningsdelar som är under uppförande. Anläggningsdelmodeller behöver därför kunna hantera både deterministisk och stokastisk information från tunnlar och borrhål samtidigt som de ska vara praktiskt hanterbara i aktuella datasystem. Aktuell arbetsmodell behöver därför begränsas till den bergvolym som omfattas av den eller de anläggningsdelar där aktiviteter pågår och/eller där kontinuerlig uppföljning för tillfället behövs.

Den första anläggningsdelmodellen omfattar den bergvolym som berörs under uppförandet av anläggningens tillfarter, efterhand utökad till att även inkludera centralområdet och det första deponeringsområdet. Under slutförvarets drift kommer anläggningsdelmodeller att omfatta enskilda deponeringsområden.

Modeller behövs även för andra skalor. Dels mer detaljerade för enskilda underjordsöppningar, såsom deponeringstunnlar med tillhörande deponeringshål där underlag för verifiering av uppfyllande av konstruktionsförutsättningar är i fokus, och mer översiktliga anläggningsmodeller i anläggningskala för hela slutförvaret samt mer storskaliga modeller för att beskriva processer som kan påverka förvaret på lång sikt, exempelvis effekter av en framtida glaciation.

Modelleringsmetodik kommer att beskrivas i uppdaterade ämnesspecifika metodikrapporter för platsbeskrivande modellering. Uppdateringen sker med utgångspunkt från de metodikrapporter som upprättades inför Platsundersökningen och innebär inget paradigmskifte, de grundläggande elementen i den då etablerade modelleringsmetodiken står fast. Nya element är information från företrädesvis nära horisontella borrhål, möjlighet till koppling mellan karterade tunnlar och föregående pilotborrhål samt en exponering av större bergytter på relevanta djup. Därutöver har hänsyn tagits till erfarenheterna från platsmodelleringen i Forsmark och Laxemar. Vidare har erfarenheter från Äspölaboratoriet och Posivas arbeten i Olkiluoto inkorporerats. Uppdaterade metodikrapporter för detaljundersökningar (under framtagande) framgår av tabell 8-1, se även figur 8-3.

Tabell 8-1. Pågående vidareutveckling av metodik för platsbeskrivande modellering.

Ämnesområde	Översiktlig titel (Metodik för)
Geologi	platsbeskrivande geologisk modellering
Bergmekanik/Termiska egenskaper	platsbeskrivande bergmekanisk och termisk modellering
Hydrogeologi (inkl. flöden i ytsystemet)	platsbeskrivande hydrogeologisk modellering
Hydrogeokemi	platsbeskrivande hydrogeokemisk modellering
Bergets transportegenskaper	platsbeskrivande transportmodellering
Integrerad modellering	integrerad platsbeskrivande modellering

8.1 Modelleringsskalor och modelleringsprocesser

Modellskala inbegriper i detta sammanhang en kombination av den fysiska storleken på bergvolymen som modellen representerar och upplösningen av objekten beskrivna i denna, under antagande om fullständig fyllnad av den aktuella volymen. Med upplösning förstås den minsta storlek av ett geovetenskapligt objekt på den aktuella modellskalen. Med utgångspunkt från erfarenheter från platsundersökningen (SKB 2008 och SKB 2011), inkluderande grundläggande arbete av Munier et al. (2003) planeras olika modellskalor att tillämpas under uppförande och drift av Kärnbränsleförvaret i enlighet med figur 8-1.

Stokastiska DFN-modeller upprättas företrädesvis i anläggningsdelskala och anläggningskala med underlag insamlat från borrhål och tunnlar. I detta arbete utnyttjas metodik utvecklad i samarbete med Posiva för konditionering på sprick- och hydraulisk information. För kvantifierande hydrogeologiska modeller överförs randvillkor från modeller i större skala till inbäddade mer detaljerade och högupplösta modeller i mindre skala. I det följande detaljeras beskrivningen av modelleringen.

Modellering i tunnelskala

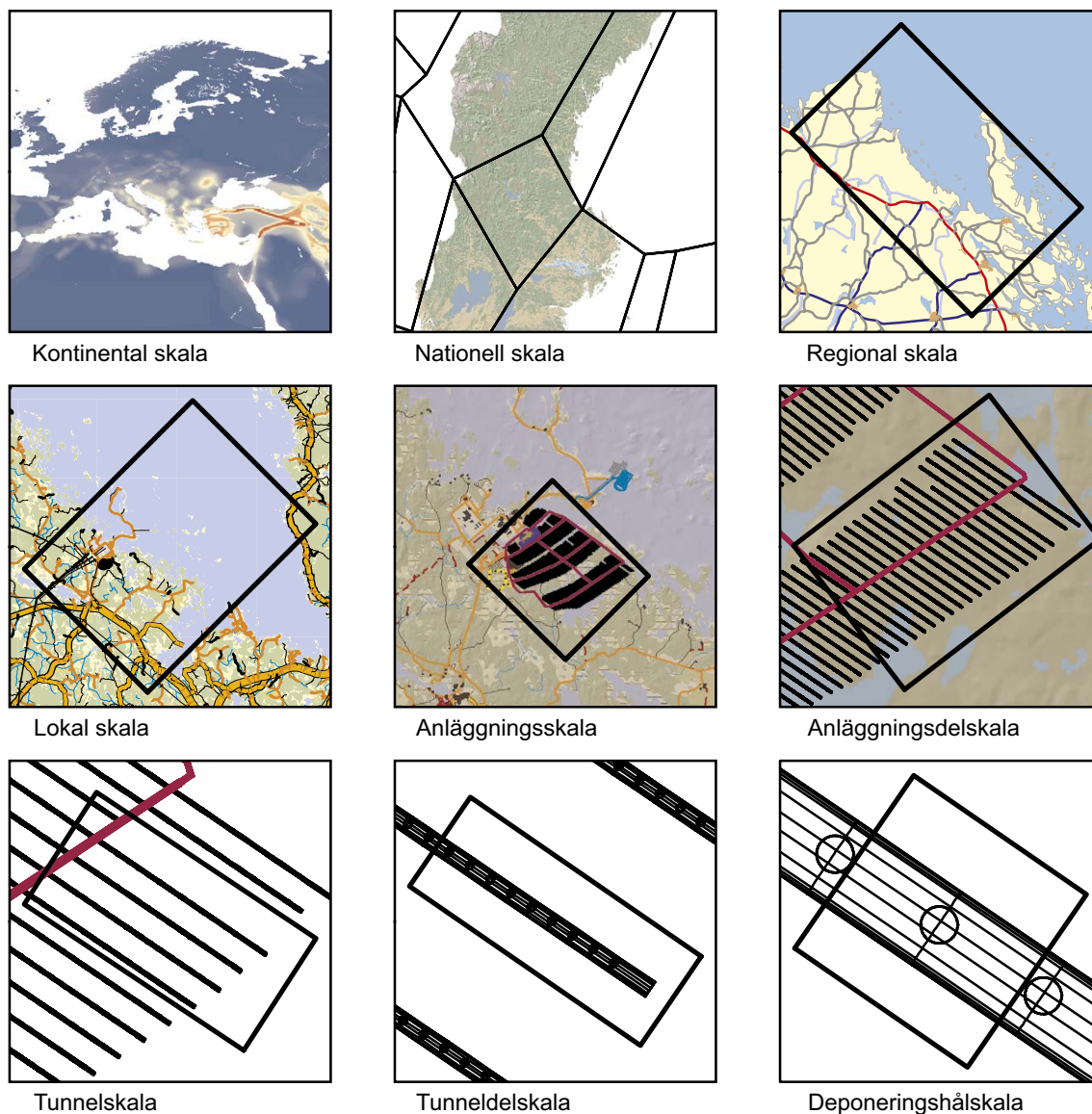
Modellering i tunnelskala inkorporerar i ett första steg undersökningsdata från pilotborrhål och i ett andra steg tillförs data från den färdigställda tunneln. Därutöver utnyttjas all tillgänglig tolkning och modeller, inte bara i anläggningsdelskala, utan också integration utförd i större skala (anläggningskala och lokalskala). Typ och omfattning av detaljundersökningsmetoder och tillhörande data för olika uppförande- och driftskeden presenteras i kapitel 4 till 7.

Hydraulisk information från borrhålen av pilotborrhål för en tunnelsektion samt en översiktlig geologisk kartering av borrhålen ligger till grund för en första översiktlig uppdatering av modellen (med tillhörande prognos) över motsvarande tunnelavsnitt baserad på en förenklad enhålstolkning. Modellen tar, där så är möjligt, även hänsyn till information från motstående/närliggande rampben/schakt eller närliggande tunnlar. Det understryks att för de grundläggande modelleringsinsatserna i tunnelskala är en nära samverkan mellan undersökningsteamet och modelleringsteamet väsentlig. Idealt involveras därför medlemmar av undersökningsteamet i modelleringprocessen. Omvänt är det betydelsefullt att modelleringsteamet involveras i planeringen av fortsatta undersökningsinsatser.

De fortsatta undersökningarna i pilotborrhålet och efterföljande enhålstolkning (*single hole interpretation*, SHI) samt karteringen av bergarter, sprickor, deformationszoner samt vatteninflöden i tunneln, är underlag till entunneltolkning (*single tunnel interpretation*, STI). Den senare identifierar bergdomäner och förädlar beskrivningen av deformationszoner och diskreta sprickor som sedan utgör underlag för 3D modellering i anläggningsdelskala. Tunnelskalan används även vid integration av information från ett antal deponeringstunnlar baserad på de byggsteg av ca fem deponeringstunnlar som förväntas beredas på årsbasis och dessförinnan baserad på de föregående motsvarande pilotborrhålen.

Modellering i anläggningsdelskala

I denna skala integreras successivt den lokala 3D-informationen modellerad i tunnelskala med tillämpning av nödvändig uppskalning av modellerade komponenter och utgör därför den huvudsakliga integrationsskalan för beskrivande/konceptuell och integrerade modellering. Exempel på en sådan tillämpning av integration med uppskalning är beskrivningen av bergarter med låg termisk värmeledningsförmåga (t ex amfibolit), ursprungligen etablerad i tunnelskala.



Figur 8-1. Illustration av modellskalor som kan användas under uppförande och drift av slutförvaret samt under framtagande av SDM. Notera att benämningar av följande skalor skiljer sig från SDM-Site: Anläggnings skala (area ~ 7 km², djup 1,2 km) är i SDM-Site benämnd "Local scale", Lokalskala (area ~ 165 km², djup 2,1 km) är i SDM-Site benämnd "Regional scale" och Regional skala (area ~ 1 500 km², djup 2,1 km) är i SDM-Site benämnd "Super-regional scale". Storleken på modeller i anläggningsdels skala varierar beroende på anläggningsdel som behandlas. Tunneldels skala och Deponeringshåls skala har definierats för möjlig framtida användning. De senare skalorna täcks för närvarande in av modeller i "tunnelskala".

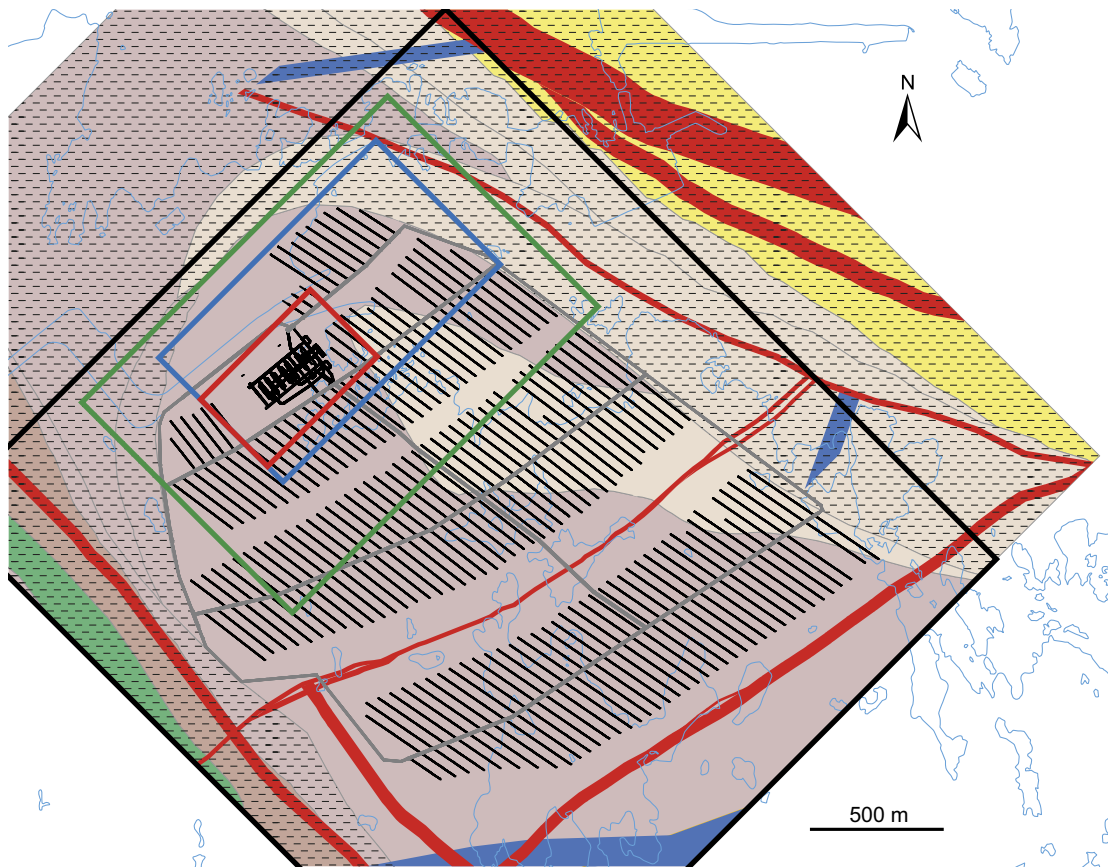
Den första modellen i anläggningsdels skala omfattar inledningsvis tillfarter och centralområde för att senare utvidgas eller kompletteras med området för den första slingan och delar av den tektoniska linsens randområde (för avgränsning av det första deponeringsområdet), se figur 8-2. Denna modell kan även användas som underlag för att analysera och kvantifiera möjliga effekter av samtidigt pågående aktiviteter i de aktuella anläggningsdelarna, t ex påverkan av utbyggnad av centralområdet på utförandet av integrationstester.

Innan uppförandet påbörjas baseras anläggningsdelsmodellens geovetenskapliga förhållanden på SDM-Site och dess underlag från platsundersökningen samt data från byggförberedande undersökningar. Anläggningsdelmodellen visar exempelvis var deformationszoner och större vatteninflöden förväntas förekomma i tillfarter och andra anläggningsdelar samt vilka andra förhållanden som förväntas under uppförandet. Vid uppförandet sker återkommande uppdatering av denna modell med

resultat från detaljundersökningar i tunnelskala. För de geologiska och hydrogeologiska modellerna (och i kombination) sker detta regelbundet och väl integrerat. Det sker mer sällan för de bergmekaniska, termiska och hydrogeokemiska modellerna.

Modellering i anläggningsskala

Modeller i denna skala innefattar samtliga förvarsdelar inkluderade bergvolymen från markytan ner till en nivå väl under förvarsnivå. Geometriska strukturer som bergartsgränser och deformationszoner uppskalas från grundläggande beskrivning i anläggningsdelmodeller. Modelleringen i anläggningsskala innefattar huvudsakligen geologisk modellering (av bergdomäner/sprickdomäner och deformationszoner) samt tillhörande beskrivande hydrogeologiska och hydrogeokemiska modeller samt kvantifierande hydrogeologiska modeller. De senare kan t.ex. användas för kvantifiering av effekter av den successiva utbyggnaden av tillfarterna inom ramen för bedömning av miljöpåverkan och omgivningskontroll, eventuellt inbäddad i modellen i lokal skala, med möjlighet till full inkludering och beskrivning av ytsystemets hydrogeologi och hydrologi. För speciella behov kan en modell av förvarsområdet och centralområdet (dvs anläggningens samtliga delar med en mer utpräglad 2D-utbredning på förvarsdjup) etableras.



Figur 8-2. Möjliga exempel på delmodellens utsträckning, på underlag från figur 7-1. Den stora svarta rutan avser anläggningsmodellen. Röd ruta avser den första anläggningsdelmodell som tillämpas under uppförandet av tillfarter och centralområde. Blå ruta avser den anläggningsdelmodell som tillämpas när integrationstester genomförs och även när det första deponeringsområdet byggs ut, medan grön ruta exemplifierar ett möjligt modellområde i ett senare utbyggnadsskede. Modellområdenas utsträckningar är preliminära och ska fastställas i operativa program.

Modellering i lokal skala

Denna skala används huvudsakligen för kvantifierande analys av de hydrogeologiska beskrivande modeller som beskrivs ovan men även för kvantifiering av hydrologiskt/hydrogeologiskt samspel mellan ytsystemet och berget på större djup, samt för eventuella kompletterande palaeoanalyser av den hydrogeokemiska utvecklingen. I det senare fallet kan nya möjligheter att även inkludera effekter av kemiska reaktioner längs flödesvägarna utnyttjas. Modeller upprättade i denna skala utnyttjas, tillsammans med understödjande modellering i mer detaljerad skala, för redovisningen av platsbeskrivande modellering (SDM) vid specifikt valda tillfällen. Det lokala modellområdet inkluderar även SFR-anläggningen. Kvantifierande flödesmodeller i denna skala utnyttjas även för att analysera ömsesidig påverkan mellan SFR och Kärnbränsleförvaret.

Modellering i regional skala

Denna skala utnyttjas huvudsakligen för hydrogeologiska/yteologiska analyser som innefattar ett eller flera avrinningsområden samt för analyser av hydrogeokemisk utveckling.

Modellering i nationell och kontinental skala

Exempel på modellering i nationell skala är seismisk zonerings som ger underlag för bedömning av seismisk risk för ovanjordsanläggningar. Även utvärdering av seismisk risk kopplad till tunnlar, berg- rum och utnyttjade deponeringspositioner kan bli aktuell. Exempel på modellering i kontinental skala är analyser av effekter av inlandsisars utbredning som ingår i utvärderingen av förvarets säkerhet efter förslutning. Därutöver ger storskaliga modeller vid behov randvillkor till modeller i mindre skala.

8.2 Modellering under uppförandet

Uppförandet omfattar tillfarter och schakt, centralområdet, tunnlar för integrationstester och samfunktionsprovning samt tillhörande transport- och stamtunnlar. Baserat på aktuell planering kommer skipschaktet ner till förvarsområdet före rampen. Från skipschaktet börjar man bygga ut centralområdet. Samtidigt som centralområdet byggs påbörjas också tunneldrivning till det första deponeringsområdet, se kapitel 6. Därmed erhålls löpande information ungefär samtidigt från olika djup och parallellt aktiva brytningsfronter.

För enskilda tunnlar, hallar och schakt kommer modellering i tunnelskala att ske kontinuerligt under uppförandet, inklusive upprättande av byggrelaterade prognoser för projektering/berguttag. Uppdatering av anläggningsdelmodellen sker regelbundet och väl integrerat för ämnesområdena geologi och hydrogeologi. Vid några tydliga milstolpar är det lämpligt med en mer samlad redovisning där alla ämnesområden (möjligen med undantag för transportegenskaper) modelleras och rapporteras. Dessa milstolpar fastställs i operativt program innan uppförandet inleds. Förslagsvis kan milstolparna infalla dels när första rampslingan byggts (då har alla kända vertikala deformationszoner passerats), när skipschaktet är nere på förvarsdjup och när centralområdet är fullt utsprängt och undersökt. Den samlade redovisningen kan lämpligen vara strukturerad på liknande sätt som för SDM-SAR (se avsnitt 8.4), om än inte med motsvarande omfattning.

Under uppförandet förväntas ingen tillkommande information om förhållanden i berggrunden utanför den bergvolym som berörs av de uppförda anläggningsdelarna. Ett undantag är seismiska, hydrogeologiska och hydrogeokemiska data från monitorering i borrhål eller på markytan. Under uppförandet är det främst data rörande avsänkning av grundvattenytan (grundvattentryck) och inflöde som utgör grundval för kalibrering (och konditionering) av hydrogeologiska modeller med avseende på fördelningen av hydrauliska materialegenskaper. Vidare kan effekter av grundvattenavsänkning på ytsystemet analyseras, liksom effekter av förebyggande åtgärder för att säkerställa att effekterna inte blir oacceptabla för miljön. Den insamlade informationen från tillfarter (främst från skipschaktet med tillhörande pilotborrhål) och inledande underjordsarbeten på förvarsnivå utnyttjas för att verifiera valt förvarsdjup och vid behov justera detta.

Förutom den regelbundna uppdateringen av ämnesvisa modeller i anläggningsdelskala som görs under uppförandet kan annan modellering bli aktuell. Modellering i tunnelskala kommer att behövas för att utreda vissa frågeställningar, exempelvis rumslig utbredning av förekommande amfibolit-kroppar (termisk ledningsförmåga), förekomst av kritiska strukturer, förekomst av episyenit samt inledande DFN-modellering på förvarsnivå. Mer detaljerad modellering kan även bli aktuell om uppförandet visar på andra förhållanden än vad anläggningsdelmodellen förutsäger.

8.3 Modellering under utbyggnad av deponeringsområden

Under utbyggnaden av deponeringsområden sker modellering kontinuerligt i tunnel- och anläggningsdelskala för att successivt integrera resultat från detaljundersökningar vid utbyggnad av deponeringsområden. Modelleringen beaktar den successiva utbyggnaden och görs för enskilda deponeringsområden. Förutom fortsatt modellering för bergarbetenas successiva prognoser, som underlag för bedömning av injekterings- och förstärkningsbehov, kommer modelleringen främst att vara inriktad på att ge underlag för de beslut som beskrivs i avsnitt 7.3. Inledningsvis kommer fokus vara på layoutstyrande strukturer (kritiska strukturer av klass 1 och 2 med tillhörande kritiska volymer, se avsnitt 3.2) som, där de förekommer, ger underlag för avgränsning av förvarsområdet och tillhörande deponeringsområden. Därefter följer modellering som underlag för anpassning av deponeringstunnlars läge och orientering i relation till lokala förhållandena i berggrunden, inkl. bergspänningar, för att avslutas med modellering för att påvisa uppfyllelse av konstruktionsförutsättningar för val av läge och godkännande av deponeringshål för deponering.

Avgränsning, anpassning och uppfyllande av konstruktionsförutsättningar gör att modelleringen behöver beakta varierande krav på upplösning, geometrier och parametrar för olika frågeställningar och beslut. De som avser utbyggnad av ett deponeringsområde hanteras främst i anläggningsdelskala. De som avser enskilda deponeringstunnlar eller grupper av deponeringstunnlar hanteras främst i tunnelskala. De som ska visa på uppfyllande av konstruktionsförutsättningar för deponeringshål behandlas, förutom i tunnelskala, vid behov även i mer detaljerade skalor, se Figur 8-1.

8.4 Modellering för SDM-SAR

Vid vissa tillfällen under förvarets uppförande och drift finns det behov av fullständig uppdatering av den integrerade platsbeskrivande modellen SDM. Dessa tillfällen är primärt kopplade till formella myndighetskrav (tillståndsärenden och krav på förnyade säkerhetsredovisningar under drift) men kan också vara initierade av SKB. Vid uppdatering av SDM utgör alltid alla tidigare data och modeller underlag. Dataunderlaget preciseras i form av en väl definierad datafrys.

Under tiden som integrationstester och samfunktionsprovning pågår, slutförs uppdatering av SDM-Site till en ny integrerad platsmodell benämnd SDM-SAR. Denna ligger till grund för beslut om aktuell detaljprojektering av förvarsdelar behöver justeras och är ett viktigt underlag till säkerhetsredovisningen SAR som ska bifogas ansökan om provdrift.

Underlaget för platsmodellens uppdatering utgörs av SDM-Site med dess underlag, samt resultat från alla tidigare undersökningar under uppförandet, inklusive undersökningsresultat från den första tunnelslingan och från pilotborrhålen för tunnlar för integrationstester och samfunktionsprovning. I underlaget ingår även information från eventuella kärnborrhål som i enligt med avsnitt 6.3.2 kan komma att utföras för att avgränsa förvarsområdet mot den tektoniska linsens randområde i nordost. Underlaget består av primärdata och arbetsmodeller i olika skalor enligt beskrivningar i tidigare delar av detta kapitel.

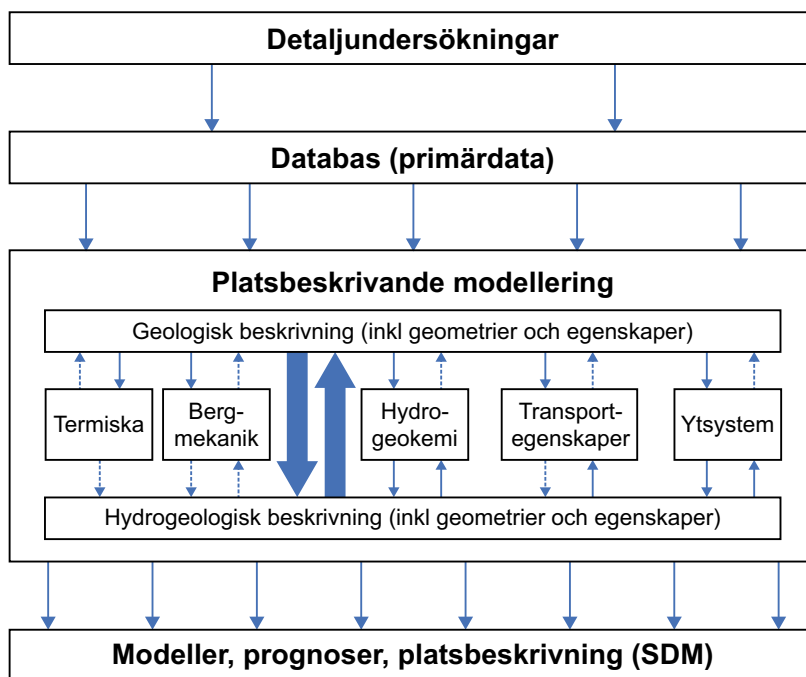
Ytterligare en väsentlig informationskälla för modelleringen är de tidsserier av parametrar som genereras av den omfattande monitoring som kontinuerligt pågått sedan platsundersökningarnas avslutande, inte bara inom Kärnbränsleförvarets område utan även i anslutning till SFR-anläggningen och de lokala och regionala modellområdena.

Som nämns ovan uppdateras de ämnesvisa modellerna i anläggningsdelskala regelbundet under utbyggnaden. Vid vissa i förväg definierade informationsmässiga milstolpar sker avstämningar mellan ämnesområdena för analyser av inbördes konsistens mellan modellerna. Vid avvikelser utreds möjliga orsaker och åtgärder vidtas för att undersöka diskrepanser, vilket kan medföra behov av ytterligare undersökningar.

När datafrys för den integrerade platsbeskrivningen SDM-SAR etableras har uppdatering och analyser av modeller pågått sedan uppförandet av tillfarter startade. Många av de modelleringar, analyser och beskrivningar som ingår i SDM-SAR bör därför i stort sett vara klara och väl etablerade/förankrade och det avslutande arbetet kan i huvudsak inriktas på konsolidering, analys av konsistens mellan ämnesområden, konfidensbyggnad samt analys av konsistens relativt SDM-Site i skalor som täcker hela förvaret och det lokala modellområdet. För anläggningar i drift ställer Kärntekniklagen krav på återkommande helhetsbedömning av säkerhet och strålskydd var 10:e år. Den platsbeskrivande modellen (SDM) kommer att uppdateras som underlag till dessa redovisningar.

I praktiken är de grundläggande elementen i strategin för framtagande av en integrerad SDM enligt Andersson (2003) och beskrivna av Andersson et al. (2013) tillämpbara också för detaljundersökningar genomförda under jord. Den huvudsakliga skillnaden ligger i att primärdata från detaljundersökningarna under jord tas fram från pilotborrhål och motsvarande tunnel, och successivt integreras i arbetsmodeller upprättade i mer detaljerad skala/-or än vad som utnyttjades under den ytbaserade platsundersökningen. Dessa arbetsmodeller, samt integrering av dessa i mer översiktliga modellskalor, ligger till grund för SDM-SAR.

Figur 8-3 visar de logiska kopplingar som ligger till grund för arbetet med SDM-SAR, där speciellt det hydrostrukturella ramverket etableras genom nära integration mellan geologi och hydrogeologi. Den senare etableras successivt under byggprocessen i tunnelskala och anläggningsdelskala under den successiva utbyggnaden av förvaret.



Figur 8-3. De olika ämnesvisa beskrivningarna är förenade genom ett flertal återkommande återkopplingsloopar där det hydrostrukturella ramverket etablerat genom nära integration mellan geologi och hydrogeologi understryks och som utgör plattform för övrig modellering.

Referenser

Publikationer utgivna av SKB (Svensk Kärnbränslehantering AB) kan hämtas på www.skb.se/publikationer. SKBdoc-dokument lämnas ut vid förfrågan till 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, Skagius K, Winberg A, Lindborg T, Ström A, 2013. Site-descriptive modelling for a final repository for spent nuclear fuel in Sweden. *Environmental Earth Sciences* 69, 1045–1060. <http://doi.org/10.1007/s12665-013-2226-1>

Baxter S, Appleyard P, Hartley L, Hoek J, Williams T, 2017. Exploring conditioned simulations of discrete fracture networks in support of hydraulic acceptance of deposition holes – Application to the ONKALO demonstration area. Posiva SKB Report 07, Posiva Oy, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Berglund S, Lindborg T (red), 2016. Monitoring Forsmark. Evaluation and recommendations for programme update. SKB TR-15-01, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Ericsson L, Thörn J, Christiansson R, Lehtimäki T, Ittner H, Hansson K, Butron C, Sigurdsson O, Kinnbom P, 2015. A demonstration project on controlling and verifying the excavation-damaged zone. Experience from the Äspö Hard Rock Laboratory. SKB R-14-30, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Gascoyne M, Laaksoharju M, 2008. High-level radioactive waste disposal in Sweden: hydrogeochemical characterization and modelling of two potential sites. *Applied Geochemistry* 23, 1745–1746.

Hakala M, Siren T, Kemppanen K, Christiansson R, Martin D, 2013. In situ stress measurement with the new LVDT-cell – Method description and verification. Posiva Report 2012-43, Posiva Oy, Finland.

Hakami E, 2011. Rock stress orientation measurements using induced thermal spalling in slim boreholes. SKB R-11-12, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Hjerne C, Komulainen J, Aaro S, Winberg A, 2016. Development of hydraulic test strategies in support of acceptance criteria for deposition hole positions – Results of hydraulic injection tests in ONKALO DT2 pilot holes for experimental deposition holes. Posiva Working Report 2016-06, Posiva Oy, Finland.

Johansson E, Stenberg L, Olofsson I, Karlzén R, 2015. Utbyggnaden av Äspölaboratoriet 2011–2012. Karakterisering, projektering och tunneldrivning. SKB R-13-28, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Jonsson E, Morén L, 2013. Plan för implementering av kvalitetsstyrning och kontroll av KBS-3-förvaret. SKBdoc 1365182 ver 1.0, Svensk Kärnbränslehantering AB.

McEwen T (red), Aro S, Kosunen P, Mattila J, Pere T, Käpyaho A, Hellä P, 2012. Rock suitability classification – RSC 2012. Posiva Report 2012-24, Posiva Oy, Finland.

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

Munier R, Mattila J, 2015. MEMO on terminology. POS-021685, ver 1.0 Posiva Oy.

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.

Olofsson I, Christiansson R, Holmberg M, Carlsson A, Martin D, 2014. Application of the Observational Method in the Äspö Expansion Project. SKB R-13-44, Svensk Kärnbränslehantering AB.

- Posiva, 2012a.** Olkiluoto site description 2011. Posiva Report 2011-2, Posiva Oy, Finland.
- Posiva, 2012b.** Safety case for the disposal of spent nuclear fuel at Olkiluoto – Design basis 2012. Posiva Report 2012-03, Posiva Oy, Finland.
- Posiva SKB, 2017.** Safety functions, performance targets and technical design requirements for a KBS-3V repository. Posiva SKB Report 01, Posiva Oy, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Selroos J-O, Follin S, 2014.** Overview of hydrogeological safety assessment modeling conducted for the proposed high-level nuclear waste repository site at Forsmark, Sweden. Hydrogeology Journal 22, 1229–1232.
- SKB, 2007.** Forsmark site investigation. Programme for long-term observation of geosphere and biosphere after completed site investigations. SKB R-07-34, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB, 2008.** Site description of Forsmark at completion of the site investigation phase. SDM-Site Forsmark. SKB TR-08-05, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB, 2009a.** 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, 2009b.** Underground design Forsmark. Layout D2. SKB R-08-116, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB, 2009c.** Site engineering report Forsmark. Guidelines for underground design Step D2. SKB R-08-83, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB, 2009d.** Berättelsen om Forsmark. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB, 2010a.** Ramprogram för detaljundersökningar vid uppförande och drift av slutförvar för använt kärnbränsle. SKB R-10-08, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB, 2010b.** Comparative analysis of safety related site characteristics. SKB TR-10-54, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB, 2011.** Redovisning av säkerhet efter förslutning av slutförvaret för använt kärnbränsle. Huvudrapport från projekt SR-Site. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Stephens M, Simeonov A, 2015.** Description of deformation zone model version 2.3, Forsmark. SKB R-14-28, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Stephens M B, Follin S, Petersson J, Isaksson H, Juhlin C, Simeonov A, 2015.** Review of the deterministic modelling of deformation zones and fracture domains at the site proposed for a spent nuclear fuel repository, Sweden, and consequences of structural anisotropy. Tectonophysics 653, 68–94.

Bilaga

Detaljundersökningarnas roll vid konstruktionsförutsättningarnas uppfyllelse

En grundläggande princip för Kärnbränsleförvaret är att kärnavfallet ska hållas isolerat från biosfären. Säkerheten bygger på den så kallade flerbarriärprincipen bestående av den naturliga barriären (berget) och ingenjörbarriärer (kapsel, buffert, återfyllning, förslutning) som samverkar för att innesluta, förhindra och fördröja radionuklider att nå människan. Förvarsberget ska bidra med:

- mekaniskt stabila förhållanden,
- gynnsamma termiska förhållanden,
- gynnsamma kemiska förhållanden,
- gynnsamma hydrogeologiska förhållanden med begränsad transport av lösta ämnen.

Byggandet av slutförvarsanläggningen med dess olika underjordsöppningar skall inte på ett önskat sätt störa eller förändra egenskaperna hos berget som barriär. Därutöver ställer ingenjörbarriärerna och tillförlitligheten i deras installation krav på konstruktionen av de underjordiska öppningarna.

SKB och Posiva samarbetar för att etablera en samsyn rörande konstruktionsprinciper och konstruktionsförutsättningar, som på ett optimalt sätt tar hänsyn till de avgränsningar och möjligheter som ges av identifierade likheter, i termer av typer av använt kärnbränsle, tillgänglig teknik och tekniska lösningar och valda förvarsplatser i respektive land. De gemensamma konstruktionsförutsättningarna för ett komplett slutförvarssystem enligt KBS-3 redovisas i Posiva SKB (2017).

I nedanstående tabell redovisas de gemensamma konstruktionsförutsättningarna som är tillämpliga på förvarsberget och tillhörande underjordiska öppningar, samt beskriver detaljundersökningarnas roll i uppfyllelsen av dessa. Den engelska texten avser konstruktionsförutsättningen som den beskrivs i Posiva SKB (2017), den svenska texten är en översättning för denna rapport.

Konstruktionsförutsättning (engelsk text enligt Posiva SKB 2017)	Detaljundersökningarnas roll för kravuppfyllelse	Kommentar
Förvarsdjup Förvarsdjupet skall ligga inom intervallet 400–700 m. Repository depth 400 m < repository depth < 700 m.	Föreslaget förvarsdjup är grundat på resultat från de ytbaserade platsundersökningarna. Förfinad anpassning av förvarsdelarnas djuplägen kan komma att ske på basis av tillkommande information från detaljundersökningarna, t.ex. rörande eventuella subhorisontella strukturer med stor utsträckning och rådande bergspänningsförhållanden.	
Deponeringsområden – kritiska strukturer Deponeringsområden skall inte placeras inom kritiska volymer av klass 1. Deposition areas must not be placed within critical volumes of class 1.	Platsundersökningarna antas i huvudsak ha identifierat kritiska strukturer av klass 1, som inte kan accepteras inom förvarets hela utbredning. Vid modellering för SDM (eller storskalig modellering) verifieras dessa strukturers läge och utbredning (kritisk volym).	Kritiska volymer av klass 1 är kopplade till kritiska strukturer av klass 1, se avsnitt 3.2.
Deponeringsområden – kemiska förhållanden Placering av deponeringsområden skall ske så att grundvattnets salthalt (TDS), pH och sulfidinnehåll är inom kemiskt acceptabla gränser. The deposition areas should be placed so that the salinity (TDS), pH and sulphide content of the groundwater are within the limits of their performance targets.	Grundläggande kravuppfyllelse har erhållits från de ytbaserade platsundersökningarna. De parametrar som kopplar till kraven är väl etablerade och kan mätas med konventionella metoder. Möjlighet att erhålla ostörda prover under detaljundersökningarna utgör dock en komplikation som behöver beaktas av de operativa undersökningsprogrammen.	Kunskapsuppbyggnad pågår vad avser sulfid och sulfidhalters dynamik över tid.

Konstruktionsförutsättning (engelsk text enligt Posiva SKB 2017)	Detaljundersökningarnas roll för kravuppfyllelse	Kommentar
<p>Deponeringstunnlar – kritiska strukturer</p> <p>Deponeringstunnlar skall inte placeras inom kritiska volymer av klass 1 och 2.</p> <p>Deposition tunnels must not be placed within critical volumes of class 1 and 2.</p>	<p>Detta tekniska designkrav har avgörande betydelse för detaljundersökningarna då förhållningssättet utvecklas från en geometrisk schablon (respektavstånd) till att i stället luta sig mot faktiska karterade plats specifika förhållanden och kopplad modellering och beskrivning. Generellt gäller dock från de ytbaserade platsundersökningarna att tilltron till modellerat läge och geometri hos kritiska strukturer av klass 1 och 2 är god.</p> <p>Genom undersökningar och modellering kompletteras informationen om dessa strukturers läge och geometri inom förvarsområdet, t.ex. genom pilotborrning och undersökningar i och från stam- och transporttunnlar.</p>	<p>Kritiska volymer av klass 1 och 2 är kopplade till kritiska strukturer av klass 1 och 2.</p>
<p>Deponeringstunnlar – orientering</p> <p>Deponeringstunnlar skall orienteras i relation till rådande bergspänningsfält för att begränsa (spänningsinducerade) skador runt tunnlar.</p> <p>The deposition tunnels should be aligned according to the site-specific rock stresses to limit damaged rock volume around the tunnel.</p>	<p>En grundläggande förståelse av bergspänningsfältets orientering och storleken på största och minsta horisontella bergspänningen har etablerats i förvarsområdet under de ytbaserade platsundersökningarna. Kunskapen kommer tidigt att förbättras genom planerade mätprogram i schakt och ramp. Upprepade bergspänningsmätningar i de olika deponeringsområdena utnyttjas för att verifiera och förbättra beskrivningen av bergspänningssituationen och vid behov detaljanpassa tunnlaras orientering i enskilda deponeringsområden.</p>	
<p>Deponeringstunnel – plugg (kritiska strukturer)</p> <p>Plugg skall inte placeras inom kritiska volymer av klass 1, 2 och 3.</p> <p>The deposition tunnel plugs shall not be placed within critical volumes of class 1, 2 or 3.</p>	<p>Detaljundersökningarna ger det underlag som behövs för att påvisa frånvaro av strukturer av klass 3 vid plugglägen.</p>	<p>Se "Deponeringshål – kritiska strukturer" nedan.</p>
<p>Deponeringstunnel – plugg (bergmekanik)</p> <p>Avståndet mellan pluggen och stamtunnel skall vara större än ett avstånd som kommer att fastställas vid projekteringen, för att undvika mekaniska störningar på pluggen.</p> <p>Distance between central or main tunnel and plug in deposition tunnels</p> <p>Larger than <i>site-specific limit to be determined in the design</i> to avoid mechanical influence.</p>	<p>Detaljundersökningarna ger underlag för de bergmekaniska analyser som behövs för att bestämma detta minimiavstånd.</p>	
<p>Deponeringshål – kritiska strukturer</p> <p>Deponeringshål skall inte placeras inom kritiska volymer av klass 1, 2 och 3.</p> <p>Deposition holes must not be placed within critical volumes of class 1, 2 or 3.</p>	<p>En av huvuduppgifterna för detaljundersökningarna är identifiering och kvantifiering/avgränsning av kritiska strukturer av klass 3. Detaljundersökningsprogrammet beskriver strategi och metodik för undersökningar och modellering. Successivt uppbyggd empirisk kunskap kommer att utgöra en viktig komponent i det fortsatta arbetet.</p> <p>I avsaknad av annan information kan placering av deponeringshål relativt kritiska strukturer av klass 3 göras enligt FPI-relaterade kriterier.</p>	<p>Kritiska volymer av klass 1, 2 och 3 är kopplade till kritiska strukturer av klass 1, 2 och 3.</p> <p>Ett test av metoder och metodik för identifiering och kvantifiering av kritiska strukturer av klass 3 har genomförts på Äspö.</p>

Konstruktionsförutsättning (engelsk text enligt Posiva SKB 2017)	Detaljundersökningarnas roll för kravuppfyllelse	Kommentar
<p>Deponeringshål – transmissivitet Transmissiviteten uppmätt i ett pilothål för ett deponeringshål skall vara mindre än ett tröskelvärde som kommer att fastställas.</p> <p>Deposition holes shall be placed where the transmissivity of the pilot hole drilled in deposition hole position is less than <i>limit under development</i>.</p>	<p>Transmissiviteten uppmäts i pilothål för deponeringshål med väl beprövade metoder (transient injektionstest).</p>	<p>Utveckling av metodik för fastställande av tröskelvärde på transmissivitet pågår och har testats på förhållanden i ONKALO inom ramen för ett Posiva-SKB samarbete (Baxter et al. 2017).</p> <p>Underlaget för fastställande av tröskelvärdet består dels av simulerade injektionstester vid öppna förvarsförhållanden och simulerade darcy-flöden (darcy flux) vid motsvarande deponeringspositioner vid återfyllda och mättade förhållanden. Tröskelvärdet för uppmätt transmissivitet i pilotborrhålet ges av ett gränssättande darcy-flöde, under antagande om ett linjärt förhållande mellan transmissivitet och darcy-flöde. Metoder och metodik för bestämning av transmissivitet i pilotborrhål har testats av Posiva och SKB i ONKALO (Hjerne et al. 2016).</p>
<p>Deponeringshål – inflöde Inflödet till deponeringshålet skall vara lägre än det maximala inflödet som tillgängliga installationsmetoder tillåter för att säkerställa installation av buffert (i deponeringshålet).</p> <p>Inflow to deposition hole Less than <i>limit to be determined in the design</i> to allow installation of the buffer.</p>	<p>Metodik för mätning av inflöde till deponeringshålet finns framtagen för öppet deponeringshål och är i praktiken oberoende av valt tröskelvärde för inflöde.</p>	
<p>Deponeringstunnlar – avstånd ur mekanisk synvinkel Avståndet mellan deponeringstunnlar skall minst vara ett för platsen framräknat minimiavstånd för att undvika mekanisk störning mellan tunnarna.</p> <p>The distance between the deposition tunnels shall be at least <i>site-specific distance</i> to avoid mechanical influence between tunnels.</p>	<p>Detaljundersökningarna ger det underlag som krävs för de bergmekaniska analyser som behövs för att bestämma detta minimiavstånd.</p>	
<p>Deponeringshål – avstånd ur termisk synvinkel Minimiavståndet mellan deponeringshål i en enskild deponeringstunnel och hål i angränsande tunnlar skall väljas så att temperaturen i bufferten (kapsel/buffert rand) är mindre än 100 °C.</p> <p>The minimum distance between deposition holes within a deposition tunnel and to holes in adjacent tunnels shall be such that the temperature in the buffer < 100 °C.</p>	<p>Baserat på data insamlade under platsundersökningen och beräkningar i SDM-Site har en grundläggande dimensionering angivits för avstånd mellan deponeringstunnlar (L=40 m) och mellan deponeringshål längs deponeringstunnel (6.0 m i bergdomän RFM029 och 6.8 m i bergdomän RFM045 (SKB 2009c)).</p> <p>Detaljundersökningarna ska ge underlag för verifiering av dessa mått, inklusive förekomst av termiskt anomala bergarter och vid behov tillhörande termisk optimering av deponeringspositioner.</p>	
<p>Deponeringshål – avstånd ur mekanisk synvinkel Avståndet mellan deponeringshål skall minst vara ett givet minimiavstånd för att undvika mekanisk störning mellan hålen.</p> <p>The distance between the deposition holes shall be at least <i>site-specific distance</i> to avoid mechanical influence between holes.</p>	<p>Detaljundersökningarna ger ett tillräckligt underlag för de bergmekaniska analyser som behövs för att bestämma detta minimiavstånd.</p>	

Konstruktionsförutsättning (engelsk text enligt Posiva SKB 2017)	Detaljundersökningarnas roll för kravuppfyllelse	Kommentar
<p>Avstånd mellan befintliga undersökningsborrhål och tunnlar/schakt Avståndet mellan undersökningshål från markytan och schakt eller tunnlar andra än deponeringstunnlar skall minst vara ett avstånd som bestäms i projekteringen.</p> <p>The distance between investigation holes connected to the surface and shafts or tunnels other than deposition tunnels shall be at least <i>site-specific distance to be determined in the design</i>.</p>	<p>Dessa tekniska designkrav ställer kvalitetskrav på inmätning av bergutrymmen och borrhål för att ta plats-specifik hänsyn till existerande undersökningshål och deras roll och samspel med det hydrostrukturella nätverket (givet av upprättade modeller).</p> <p>Därutöver kan krav tillkomma att borrhålslägen och geometri ska kunna fastställas indirekt från tunnlar för att säkerställa att uppställda designkrav uppfylls.</p>	<p>Där tillfällen ges bör ytborrhål mätas om med modern teknik och metoder för att reducera osäkerheter i beskrivningen av borrhålets geometri i 3D.</p>
<p>Avståndet mellan undersökningshål från markytan och deponeringstunnlar skall minst vara ett avstånd som bestäms i projekteringen.</p> <p>The distance between investigation holes connected to the surface and deposition tunnels shall be at least <i>site-specific distance to be determined in the design</i>.</p>		
<p>Avståndet mellan undersökningsborrhål från markytan och deponeringshål skall minst vara ett plats-specifikt avstånd som bestäms i projekteringen.</p> <p>The distance between investigation holes connected to the surface and deposition holes shall be at least <i>site-specific distance in the design</i>.</p>		
<p>Avstånd mellan deponeringstunnlar och andra bergutrymmen Avståndet mellan deponeringstunnlar där kapslar deponerats och andra bergutrymmen skall minst vara ett avstånd som bestäms i projekteringen.</p> <p>The distance between deposition tunnels where canisters have been emplaced and other underground openings shall be at least <i>site-specific distance to be determined in the design</i>.</p>	<p>Detta krav har inga direkta implikationer på detaljundersökningarna mer än kvalitetskrav på inmätning av bergutrymmen och borrhål.</p>	
<p>Avstånd mellan deponeringstunnlar och lokaler där bergbyggnad pågår Avståndet mellan deponeringstunnlar där kapslar deponerats och andra utrymmen där bergbyggnad pågår skall minst vara ett avstånd som bestäms i projekteringen</p> <p>The distance between deposition tunnels where canisters have been emplaced and rock construction shall be at least <i>site-specific distance to be determined in the design</i>.</p>	<p>Detta krav har inga direkta implikationer på detaljundersökningarna mer än kvalitetskrav på inmätning av bergutrymmen och borrhål.</p>	
<p>Hela förvaret – inflöde Det totala inflödet till förvarets underjordsutrymmen skall vara mindre än ett för platsen bestämt gränsvärde.</p> <p>Total groundwater inflow to the underground openings shall be less than <i>site-specific limit</i>.</p>	<p>Kravet har inga direkta implikationer på detaljundersökningarna mer än att inflöden monitoreras i upprättade pumpgröpar.</p>	<p>Tryckavsänkningar monitoreras i existerande manschetterade borrhål och utnyttjas bl a för omgivningskontroll och kalibrering/konditionering av numeriska flödesmodeller.</p>

Konstruktionsförutsättning (engelsk text enligt Posiva SKB 2017)	Detaljundersökningarnas roll för kravuppfyllelse	Kommentar
<p>Deponeringstunnel – inflöde Inflöde till deponeringstunnel skall vara lägre än det maximala inflödet som tillgängliga installationsmetoder tillåter för att möjliggöra installation av återfyllnad och plugg.</p> <p>Inflow to deposition tunnel Less than <i>limit to be determined in the design</i> to allow installation of the backfill and plug.</p>	Registrering av inflöde i mätvall vid deponeringstunnels mynning.	
<p>EDZ – deponeringstunnel Den specifika kapaciteten ($Q/\Delta p$) hos EDZ, mätt i pilothål för deponeringshål, skall inte överstiga en motsvarande transmissivitet $T = 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$. The specific capacity ($Q/\Delta p$) of the EDZ, measured from the pilot hole for the deposition holes, shall be such that it corresponds to a transmissivity of $10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ at maximum.</p>	Detaljundersökningarnas resultat är avgörande för acceptans av egenskaper och karaktärstik hos EDZ i deponeringstunnel från ett perspektiv av säkerhet efter förslutning. Resultaten har implikationer för utnyttjad brytningsmetodik och eventuell efterföljande beredning av deponeringstunnlars golv.	<p>Teknik för bestämning av specifik kapacitet i borrhål nära tunnelgolv finns och har demonstrerats in situ (Ericsson et al. 2015, Hjerne et al. 2016).</p> <p>Problem avseende hydrauliska randeffekter och utvärderingsmodell kvarstår. Metod- och teknikutveckling pågår.</p> <p>Därutöver förväntas den aktuella konstruktionsförutsättningen utvecklas för att bättre inkludera betydelsen av hydraulisk konnektivitet och effektiva materialegenskaper hos EDZ i deponeringstunnlar.</p>
<p>EDZ – andra utrymmen än deponeringstunnel och deponeringshål Den specifika kapaciteten ($Q/\Delta p$) av EDZ, som är konsekvensen av den utnyttjade utbrytningstekniken, skall vara sådan att den inte överstiger en motsvarande transmissivitet (som inte är fastlagd i dagsläget). The specific capacity ($Q/\Delta p$) of the EDZ, that needs to be shown to be achievable with the excavation technique to be applied, shall be such that it corresponds to a transmissivity <i>to be determined</i> at maximum.</p>	<p>Att utbrytningstekniken uppfyller konstruktionsförutsättningen kommer att demonstreras och dokumenteras innan rampdrivningen når 370 m djup, i en separat nisch i rampen. Vid behov justeras hur bergarbetena sker så att krav på EDZ uppfylls.</p> <p>Fortsatt uppföljning av EDZ görs regelbundet med geofysiska metoder i kombination med geologisk dokumentation.</p>	
<p>Deponeringstunnel – geometri Geometriska parametrar gränssätts i samband med projekteringen. Geometry of deposition tunnel <i>Geometrical parameters within limits to be determined in the design.</i></p>	Detta krav har inga direkta implikationer på detaljundersökningarna mer än kvalitetskrav på inmätning av bergutrymmen och borrhål.	
<p>Deponeringshål – geometri Geometriska parametrar gränssätts i samband med projekteringen. Geometry of deposition hole <i>Geometrical parameters within limits to be determined in the design.</i></p>	<p>Höga kvalitetskrav finns på verifierande kontrollmätningar av det färdigställda deponeringshålets geometri.</p> <p>Parametrar av betydelse är radie/diameter, raket (undulation), längd, volym och lutning på bottenytan.</p>	Teknikutveckling pågår.
<p>Övriga underjordiska öppningar – geometri Geometriska parametrar gränssätts i samband med projekteringen. Geometry of the other underground openings <i>Geometrical parameters within limits to be determined in the design.</i></p>	Detta krav har inga direkta implikationer på detaljundersökningarna mer än kvalitetskrav på inmätning av bergutrymmen och borrhål.	

Konstruktionsförutsättning (engelsk text enligt Posiva SKB 2017)	Detaljundersökningarnas roll för kravuppfyllelse	Kommentar
<p>Kvarlämnade konstruktionsmaterial – kemisk sammansättning</p> <p>Enbart injekteringsmaterial som resulterar i pH < 11 i deponeringstunnlar får användas.</p> <p>Only low pH grouting materials yielding a pH < 11 in deposition tunnels are allowed.</p>	<p>Detta är ett materialkrav och har inga direkta implikationer för detaljundersökningarna.</p>	
<p>Placering och acceptans av deponeringshål i relation till kvarlämnade konstruktionsmaterial</p> <p>Deponeringshål får inte injekteras.</p> <p>There shall be no grouting of deposition holes.</p>	<p>De två första konstruktionsförutsättningarna uppfylls genom dokumentation av bergarbetena.</p> <p>För den tredje konstruktionsförutsättningen behöver detaljundersökningarna identifiera förekomst av kritiska strukturer.</p>	
<p>Deponeringshål får inte placeras längs tunnelsektioner där injektering eller andra åtgärder för att reducera inflöde tillämpats, om dessa åtgärder bedöms kunna påverka återfyllnaden ovan deponeringshålet.</p> <p>Deposition holes shall not be emplaced along tunnel sections where grouting or other measures to control inflow are applied, if these measures may even locally impair the backfill performance above the deposition hole.</p>		
<p>Sektioner med injekteringshål utanför deponeringstunnelns kontur får inte användas för placering av deponeringshål om hålen kan skapa hydrauliska förbindelser till kritiska volymer av klass 1, 2 eller 3.</p> <p>Tunnel sections with grouting holes outside the tunnel perimeter shall not be used for deposition holes, if the holes may create a connection to a critical volume of class CV1, CV2 or CV3.</p>		

SKB har som uppdrag att ta hand om och slutförvara radioaktivt avfall från de svenska kärnkraftverken på ett säkert sätt.

skb.se