

Synpunkter på valda delar av SKB:s Fud-program 2013

*Professor Ove Stephansson
Stephansson Rock Consulting
Berlin*

Mars 2014

Innehåll

Uppdraget.....	3
Kapitel 5 Utbyggnad av Slutförvaret för kortlivat radioaktivt avfall.....	4
5.4 Lokalisering.....	4
5.5 Platsundersökningar.....	4
5.7 Säkerhetsredovisning.....	5
Kapitel 14 Teknikutveckling berg.....	5
14.3 Metodik för bergprojektering.....	5
14.4 Detaljundersökningar.....	6
14.5 Utförandemetoder och byggnadsmaterial.....	6
Kapitel 26 Geosfären.....	7
26.2 Översikt av processer i geosfären.....	7
26.6 Rörelser i intakt berg.....	8
26.7 Termisk rörelse.....	8
26.8 Reaktivering - rörelse längs befintliga sprickor.....	9
26.9 Sprickbildning.....	9

Uppdraget

Stephansson Rock Consulting, Berlin har på uppdrag av Statens råd för kärnavfallsfrågor, M1992:A, genomfört en allmän inläsning av SKB:s Fud-program 2013 och granskat specifika delar av Fud-programmet. Granskningen har utförts av Professor Emeritus Ove Stephansson, Berlin.

Kapitel 5 Utbyggnad av Slutförvaret för kortlivat radioaktivt avfall

5.4 Lokalisering

Inför ansökningen om att bygga ut SFR i Forsmark för omhändertagande av det kortlivade avfallet från nedmonteringen och rivningen av kärnkraftverken har SKB gjort en lokaliseringsutredning (SKB TR-11-04). Den mer än 400 sidor stora utredningen ger en beskrivning av SFR-områdets geologi, hydrologi, bergmekanik, geokemi och ytnära karaktär.

Inför ansökan om utbyggnad av SFR ställer lagstiftningen krav på SKB att redovisa alternativa platser för lokalisering av slutförvaret för kortlivat avfall. För att kunna genomföra en sådan utredning har SKB valt ut ett antal platsspecifika säkerhetsfaktorer som har betydelse för lokaliseringen av ett slutförvar. Förutom geovetenskapliga fakta som exempelvis låg vattengenomsläpplighet i berggrunden, reducerande grundvattenförhållanden, låg seismisk aktivitet, avsaknad av malmpotential så väger SKB in andra säkerhetsrelaterade aspekter som exempelvis industriella förutsättningar, svårigheter med lokalisering med hänsyn till lokala motstånd till tidigare provborrningar.

SKB:s redovisning av säkerhetsaspekterna i samband med platsvalet för slutförvaret saknar en beskrivning och bedömning av vikten av havsnära läge, hamn och sjötransporter med M/s Sigrid. SKB:s analys leder fram till att Simpevarp/Laxemar är det enda realistiska alternativet till Forsmark, men vid jämförelse av teknisk genomförbarhet och jämförelse av etablerings- och driftaspekter har en förläggning av anläggningen till Forsmark stora fördelar framför alla andra platser och har därför valts av SKB.

5.5 Platsundersökningar

Efter det att platsundersökningarna för slutförvaret av det använda kärnbränslet avslutades i Forsmark och Laxemar kunde SKB dra nytta av den stora kunskapen om Forsmarksområdets geologi och den kunniga personal som under lång tid genomfört platsundersökningen för kärnbränsleförvaret.

Det omfattande resultatet av platsundersökningarna för utbyggnaden av SFR redovisas i den tekniska bakgrundsrapporten SKB-TR-11-04. På grund av platsbrist i Fud-program 2013 ges inte en helt rättvisande bild av det omfattande arbete som nu redovisas i den tekniska bakgrundsrapporten. I stället för att redovisa resultat av platsundersökningarna vid SFR har SKB valt att redovisa arbetsmetodiken för projektering av anläggningen (avsnitt 5.6) som av naturliga skäl har många direkta likheter med platsundersökningarna för det använda kärnbränslet i Forsmark och som redan är kända och beskrivna.

Med stöd av omfattande geologiska, geofysiska, hydrologiska, bergmekaniska och geokemiska undersökningar och modelleringar har SKB valt att placera utbyggnaden av SFR söder om den befintliga anläggningen i undersökningsområdets södra del. Anläggningen har placerats i berg som domineras av medelkornig omvandlad granodiorit/granit och som genomkorsas av flera brantstående sprickgrupper samt en horisontell, starkt vattenförande grupp av bankningssprickor (sheet joints, exfoliation joints). Mellan nivån 100 m och 150 m under markytan uppvisar de horisontella bankningssprickorna i berget (Zon SBA2) en mindre transmissivitet (vattengenomsläpplighet) än berget ovanför och under och detta är den största anledningen till att man valt en betydligt djupare placering (120 m) än för den befintliga anläggningen i SFR. Att transmissiviten fått denna stora vikt vid lokaliseringen är

helt riktigt utifrån nuvarande kunskaper om inläckande vatten i SFR. Fud-program 2013 ger inte en tillräcklig information över vilka andra faktorer som styr valet av den nuvarande placeringen.

Den nuvarande höga luftfuktigheten och det relativt stora inläckaget till SFR har lett till omfattande skador på bl. a betongkonstruktioner i anläggningen. SKB bör vinnlägga sig om att skapa en torrare miljö i den befintliga och nya anläggningen. Berget i den planerade anläggningen har hög hållfasthet och stor styvhet och skall vid normal borrning och sprängning och modern injekteringsteknik kunna ge torra berggrum med god bärighet och långtidsstabilitet.

5.7 Säkerhetsredovisning

I samband med att SKB kommer att lämna in en ansökan om att få bygga ut SFR så bifogas en förberedande preliminär säkerhetsredovisning som beskriver utformningen av anläggningen och dess anpassning till befintliga SFR, uppgifter om avfallet, driftsätt och driftgränser samt säkerhetsanalyser. Inför uppförande av anläggningen, under uppförandet, inför provdrift samt före driftsättningen uppdateras säkerhetsredovisningen och granskas och godkänns av SSM.

Korrosionsskadorna på betongkonstruktionerna i den befintliga anläggningen är betydande och är en viktig säkerhetsfråga för den befintliga och senare för den utbyggda anläggningen. Det inströmmande bräckta vattnet från Östersjön som läcker in i anläggningen, och som till stor del rinner i öppna diken längs bergväggarna i tunnlar och berggrum, tillsammans med en dålig ventilation - särskilt sommartid, är orsaken till korrosionen. Den nuvarande och utbyggda anläggningen kräver ett gemensamt, nytt och bättre ventilationssystem för att skapa torr luft i anläggningen och därmed förhindra korrosion och skador på betongkonstruktionerna hos befintliga SFR och förhindra skador att uppkomma i utbyggnaden.

Kapitel 14 Teknikutveckling berg

14.3 Metodik för bergprojektering

SKB har beslutat att genomföra bergprojekteringen enligt Observationsmetoden som är en del av Eurocoden för geoteknisk design. Den nuvarande Europakoden är främst avsedd att tillämpas på konstruktioner i jord. Sedan Fud-program 2010 presenterades har SKB deltagit i flera nationella aktiviteter som gäller Europakodens utveckling och anpassning till design och uppförande av undermarksbyggnader och tunnlar. Samtidigt har SKB drivit egna projekt för att prova tillämpningen av Observationsmetoden bl. a för styrning av injekteringsarbeten. Det är ännu långt kvar innan det finns en framtagna Eurokod för undermarksbyggande i berg och att koden är utprovad och godkänd.

International Society for Rock Mechanics (ISRM) har i samband med sitt möte i Polen hösten 2013 beslutat tillsätta en arbetsgrupp (kommission) med uppgift att utarbeta förslag till anpassning av Eurokoden till design och byggande i berg. Mötet hölls efter det att Fud-program 2013 var publicerad av SKB. Det är av största vikt att SKB deltar i det internationella arbetet med att utveckla Eurokoden för berg och att SKB delar med sig av sina erfarenheter vad gäller försöket med en tillämpning av koden vid bl. a injekteringsarbeten.

14.4 Detaljundersökningar

SKB redovisar i Fud-program 2013 en lång rad olika utförda, pågående samt planerade undersökningar inom ett dussintal olika specialiteter inom geovetenskaperna. I samarbete med Posiva i Finland har SKB testat LVDT-cellen (Linear Variable Differential Transducer) för bergspänningsmätningar i Äspö och med gott resultat vid jämförelse med de noggranna mätningar som utförts med flera andra beprövade metoder. Mätningar med LVDT-metoden i tillfartstunneln och centralområdet kan ge upplysningar om bergspänningarna är höga som överborrningarna visar eller normala för svensk berggrund eller lägre som de hydrauliska mätmetoderna har visat. Det innebär att SKB nu förfogar över en mätmetod och instrument som bör göra det möjligt att fastställa bergspänningarnas magnitud och riktning och variation med djupet i samband med tunnelarbetena för tillfarten för slutförvaret i Forsmark. LVDT-cellen har nu tillämpats i flera undermarksprojekt och gruvor med gott resultat varför möjligheterna att erhålla tillförlitliga data ser lovande ut.

SKB har utvecklat ett nytt digitalt tunnelkarteringssystem som även har testats i Äspölaboratoriet med gott resultat. Vidare har SKB deltagit i ett europaprojekt som har behandlat monitoring i de olika deltagarländernas program för slutförvaring av kärnavfall. Modelleringsarbeten har fortsatt av Äspö Pillar Stability Experiment (APSE). Det är av stor vikt att SKB inleder planeringsarbetena av termo-mekaniska tester i samband med tunneldrivningen för tillfartsrampen för att i ett tidigt skede fastställa bergets respons och särskilt spjälkning från expansionen av bergmassan till följd av värmebelastningen.

Möjligheten att stora sprickor i berget kan korsa ett deponeringshål och generera en skjuvrörelse större än 5 cm hos kapseln och orsaka ett kapselbrott är ett viktigt scenario i säkerhetsanalysen. För att kunna detektera långa sprickor som inte är synliga från tunnarna i slutförvaret måste SKB förlita sig på geofysiska instrument som kan detektera sprickorna och deras läge och orientering. SKB redovisar i Fud-program 2013 planerna för ett stort fältförsök i Äspö med två parallella tunnlar på ett avstånd av 40 m mellan tunnarna, vilket motsvarar avståndet mellan två deponeringstunnlar i det kommande slutförvaret. I projektet planerar SKB genomföra undersökningar med geofysiska mätningar (radar, seismik och resistivitet) i kombination med hydrauliska tester i borrhål. I programbeskrivningen saknas förslag till utveckling av ny teknik och instrument för att lösa den viktiga uppgiften att karaktärisera berget med avseende på långa sprickor som kan skjivas och orsaka kapselbrott.

14.5 Utförandemetoder och byggnadsmaterial

14.5.1 Injektering

SKB har under lång tid målmedvetet stöttat forskning och utveckling av injekteringsteknik vid CTH och KTH. Resultaten har blivit bra och SKB står idag betydligt bättre rustat att tackla kommande injekteringsproblem än för två decennier sedan. Förutom utvecklingen av nya anpassade injekteringsmaterial har SKB utvecklat metoder och styrsystem (RTGC) där injekteringen styrs i realtid med stoppkriterier och möjlighet att kontrollera vidgningen av sprickor och eventuell sprickpropagering. Ledande maskintillverkare har också följt upp resultaten av utvecklingen och sett till att ny injekteringsutrustning försätts med modern

programvara och mekanisk utrustning samt styr- och reglersystem som utvecklats av forskarna.

SKB bör i större utsträckning dra nytta av de utvecklade teoretiska och experimentella metoderna för injektering av sprucket berg för att lösa en del av problemen med erosion och materialtransport av bentonit från buffert och återfyllning ut i den spruckna bergmassan.

14.5.2 Berguttag

Sprängskadезonen (EDZ, Excavation Damage Zone) som bildas kring tunnlar och bergrum i samband med borrhning/sprängning (B/S) utgör en möjlig strömningsväg från närområdet kring kapseln till fjärrområdet i deponerings- och transporttunnlarna och vidare via deformationszoner upp till biosfären. SKB redovisade i samband med Fud-program 2010 resultaten av ett omfattande projekt i Äspölaboratoriet där decimetertjocka skivor sågades ut ur tunnelväggen i en (B/S) försökstunnel och där sedan sprickorna från sprängningen noggrant analyserades i varje skiva för att sedan med hjälp av tomografi sättas samman till en komplett bild av sprängskadorna längs tunnelväggen (SKB R-09-39). Med ledning av resultaten hävdar SKB att en kontinuerlig EDZ inte förekom i tunnelväggen. Senare har Posiva i ONKALO-projektet genomfört en geoelektrisk undersökning av golvet i en försöksort och funnit att EDZ är kontinuerlig i tunnelgolvet vilket gör det möjligt att få kontinuerlig radionuklidtransport över längre sträckor längs deponeringstunnlarna. Den ökade sprickfrekvensen i sulan jämfört med andra delar av tunnelkonturen beror på den större specifika laddningen (mer sprängmedel) i sulan vilket krävs för att fragmentera berget. SKB planerar att genomföra ett projekt för att karaktärisera EDZ i golvet på en 50 m lång fullskalig deponeringstunnel i Äspölaboratoriet. Detta är ett viktigt försök för att klarlägga kontinuiteten hos EDZ och för att bestämma konduktiviteten eller permeabiliteten hos EDZ i hårt berg.

I Fud-program 2010 meddelade SKB att man valt konventionell borrhning/sprängning som metod för berguttaget för Kärnbränsleförvaret. Under tidigare redovisningar av Fud-planerna har SKB redovisat kunskapsläget vad gäller tunnelborrningsteknik (TBM). För närvarande sker en kraftig teknikutveckling av TBM där utvecklingen går mot bättre prestanda, större flexibilitet, bättre verkningsgrad, mindre kurvradie, bättre verktyg för bergavverkningen. Tunnlar i hårt berg som borraras med TBM har en EDZ på ca 1 cm djup i bergväggen vilket ger ett begränsat flöde längs med tunnelaxeln efter återfyllningen. Den snabba utvecklingen som nu sker av TBM-tekniken gör den konkurrenskraftig jämfört med borrhning/sprängning. SKB bör därför följa och rapportera teknikutvecklingen av TBM från och med nu för att rätt avgöra när det kan bli aktuellt att införa tekniken för borrhning av transport- och deponeringstunnlarna i slutförvaret.

Kapitel 26 Geosfär

26.2 Översikt av processer i geosfären

I avsnittet 26.6 av Fud-program 2013, beskriver SKB översiktligt de mekaniska, hydrauliska och kemiska processerna i geosfären. Den mekaniska utvecklingen av förvaringsplatsen bestäms av den respons som berget svarar med för de mekaniska laster som kommer att

verka på platsen. De viktigaste lasterna kommer från den termiska expansionen som alstras av värmets från bränslet i kapslarna, svälltrycket från buffert och återfyllning samt den tektoniska utvecklingen och de jordskalv som kan bli följden av tektoniken. SKB bortser helt från möjligheten av termoinducerade jordskalv till följd av den expansion som värmelasten från det använda bränslet ger. Preliminära resultat av modelleringar som utförts för SSM visar att den termiska expansionen av enskilda deponeringsområden och hela slutförvaret alstrar jordskalv som kan leda till förskjutningar hos befintliga sprickor och deformationszoner i förvarsområdet.

SKB har valt att studera de förskjutningsbelopp som kan ske hos sprickor i förvarsområdet till följd av spänningsförändringarna som uppkommer i samband med ett stort skalv hos någon av de större deformationszonerna nära eller inom förvarsområdet. De av SKB beräknade deformationerna underskrider det maximala förskjutningsbelopp som kapslarna kan utsättas för innan brott sker.

26.6 Rörelser i intakt berg

I slutsatserna till Fud- 2010 och dess granskning uppmanades SKB av SSM att studera inverkan av spricknätverkets geometri på spjälkningen i närområdet kring kapseln och dess konsekvenser för säkerhetsanalysen. SKB har inte redovisat några resultat som direkt svar mot SSM:s lämnade förslag. Däremot har SKB tillsammans med Posiva redovisat delresultat från POSE projektet i ONKALO där spjälkbrott studerats i två olika tester när en värmelast tillfördes berget runt nedskalade deponeringshål. Resultaten är mycket intressanta eftersom de visar att spjälkbrott i stort sett uteblev och att begränsad, lokal brottbildning skedde i anslutning till enskilda bergsprickor som mynnade i deponeringshålen. Det betyder att den glimmerrika, anisotropa migmatitgnejsen i ONKALO ger en plastisk respons på värmelasten. Det visar att bergartstypen har en stor betydelse för utvecklingen av spjälkbrott i väggarna på deponeringshål. De betydande spjälkbrott som SKB redovisat från sitt APSE-projekt i Äspö gäller för hårda granitiska bergarter och är mest troligt vad som kommer att gälla spjälkbrott för berget i Forsmark.

SKB har i sitt program för fortsatta arbeten beträffande rörelser i intakt berg initierat ett doktorandprojekt om spänningsinducerad spjälkning i samarbete med Commission on Rock Spalling inom International Society for Rock Mechanics, ISRM.

26.7 Termisk rörelse

Den nyvunna kunskapen när det gäller termisk rörelse i bergmassan kommer från analyserna av två av de yttre deponeringshålen av Prototypförvaret i Äspölaboratoriet. SKB har genomfört omfattande termiska beräkningar med diskreta elementmetoden och programmet 3DEC. Resultaten från modelleringarna visar god överensstämmelse med uppmätta temperaturer på olika avstånd från deponeringshålet. De beräknade tangentialspänningarna runt deponeringshålen ligger strax under initieringsspanningen för spjälkbrott. Resultaten är rimliga utifrån det att inga spjälkbrott har skett i deponeringshålen. Mätningar av spänningar och deformationer under försöket har visat sig vara otillförlitliga. Detta betyder att SKB bör noga analysera resultaten från mätningarna och inleda en teknikutveckling som leder fram till tillförlitliga mätinstrument för registrering av

spänningsändringar, och deformationer. Instrumenten måste vara klara och testade innan SKB börjar implementera monitoringprogrammet för slutförvaret.

26.8 Reaktivering - rörelse längs befintliga sprickor

SKB har under lång tid stöttat den seismologiska forskningen vid Uppsala universitet och bl. a varit en av huvudsponsorerna för uppbyggnaden av det nationella seismiska nätet - SNSN. Det nu fungerande, förfinade seismiska nätet har 66 fasta stationer. Det betyder förbättrade möjligheter att studera fokalmekanismer och spänningar som kan härledas ur de registrerade jordskalven. Resultaten kommer att kunna öka antalet väl bestämda observationer av spänningarna på stora djup i den svenska jordskorpan. Tillsammans med befintliga data från bergspänningsmätningar i borrhål samt geodetiska mätningar ökar det möjligheterna att bestämma spänningsfältet regionalt och i djupled och relatera det till olika tektoniska provinser. Dessa studier har stor betydelse för att rätt kunna specificera randvillkoren till arbetet med jordskalvsmodellering, tektonisk modellering samt glaciationsmodellering.

26.9 Sprickbildning

Bergbrottmekanisk modellering med beräkningskoden Fracod (SSM 2011:26) gav som resultat bl. att sprickor i berget kring deponeringshål kan propagera i samband med ett ökat vattentryck under ismaximum av en glacial cykel. Vidare kan sprickpropagering ske under den termala fasen för de fall de horisontella bergspänningarna uppvisar en stor kontrast. I samband med att delar av Prototypförvaret öppnades och analyserades 2011 konstaterade SKB att ingen sprickbildning eller sprickpropagering skett i bergmassan kring deponeringshålet. Denna slutsats kan SKB inte dra eftersom de instrument som installerats för deformationsmätningar och spänningsmätningar inte fungerat som avsett (avsnitt 26.7 Termisk rörelse). I det program som SKB nu initierar ingår en brottmekanisk analys och modellering av brottutvecklingen hos berget och sprickorna i mineralkornsskala. Detta är ett nytt och intressant angreppssätt på problemet med sprickinitiering och sprickpropagering och kan bidra till att öka förståelsen om bergmassans deformationer kring deponeringshålen.