



DokumentID
1396660

Ärende

Strålsäkerhetsmyndigheten
Att: Ansi Gerhardsson
171 16 Stockholm

Handläggare
Allan Hedin
Er referens
SSM2011-2426-80
Kvalitetssäkrad av
Olle Olsson
Saida Engström
Godkänd av
Anders Ström
Kommentar
Granskning, se SKBdoc id 1397259

Sida
1(14)
Datum
2013-03-27
Ert datum
2012-12-07
Kvalitetssäkrad datum
2013-06-26
Godkänd datum
2013-06-26

Svar till SSM på begäran om komplettering rörande dokumentation och kvalitetssäkring av koder

Strålsäkerhetsmyndigheten, SSM, har i skrivelse till Svensk Kärnbränslehantering AB, SKB, begärt komplettering av ansökan om slutförvaring av använt kärnbränsle angående dokumentation och kvalitetssäkring av koder på två områden:

- 1. En utförligare beskrivning av verifiering och validering av vissa beräkningskoder inom säkerhetsanalysen SR-Site.*
- 2. Kompletterande information kring versionshantering av koder som använts inom SR-Site.*

I det följande återges SSM:s begäran mer i detalj för de båda frågorna och frågorna besvaras. Informationen i svaret är till övervägande del ett förtydligande av information som finns i ansökan. SKB anser sig med denna komplettering besvarat samtliga frågor SSM ställt i ovan nämnda kompletteringsbegäran.

1. Utförligare beskrivning av verifiering och validering av vissa beräkningskoder inom säkerhetsanalysen SR-Site

Detta område är uppdelat i tre punkter i SSM:s begäran. De besvaras i tur och ordning nedan.

1. Förtydligande av verifiering/validering av de kommersiella koderna ERICA Tool, PHAST, PHREEQEC och TOUGHREACT i förhållande till den information som finns tillgänglig i modellsammanfattningsrapporten. SSM noterar att det i vissa fall saknas helt referenser till verifierings- och valideringsaktiviteter i SKB:s modellsammanfattnings-rapport.

SKB:s svar

- **ERICA Tool**

För denna kod besvaras SSM:s begäran om förtydligande i bilaga 1.

- **PHAST, PHREEQC och TOUGHREACT**

För dessa koder besvaras SSM:s begäran om förtydligande i bilaga 2.

2. SSM anser att SKB bör komplettera avsnittet kring modell utveckling/verifiering med utförligare beskrivningar för att underbygga att modellerna förväntas ge användbara resultat i de sammanhang och för det parameterintervall som de används. Detta gäller de projektspecifika koderna analytisk modell för buffert erosion och kapselkorrosion, MATLAB-FPI, MATLAB-Pandora, numerisk GIA modell, numerisk permafrost modell, löslighetsmodell (enkla funktioner) och UMISM.

SKB:s svar

Analytisk modell för buffererosion och kapselkorrosion

Dokumentation av denna kod inklusive verifierande tester finns i bilaga 3, som ingår i dokumentationen av SR-Site under SKBdoc 1265612, vilket framgår av tabell 1-2 i SKB (2010a).

Den analytiska modellen för buffererosion och kapselkorrosion är en direkt implementering av de analytiska uttrycken för dessa processer som ges i SKB (2010b) och referenser däri. Som framgår av dessa referenser är de analytiska uttrycken framtagna för de specifika tillämpningarna i slutförvaret. De bedöms därmed ge användbara resultat i de sammanhang och för de parameterintervall som de används, baserat på härledningen av respektive uttryck i de åberopade referenserna.

Ytterligare motivering av uttrycket för den korroderade arean under advektiva förhållanden som används i korrosionsmodellen ges i den komplettering om faktorer och processer som påverkar buffertens kemiska erosion, som inlämnades till SSM den 2 april 2013, SKBdoc 1385058.

MATLAB-FPI

Angående verifiering av kod

Verifiering av koder såsom ”Matlab-FPI” kan inte göras mot existerande koder, då ”Matlab-FPI” var framtagen för ett specifikt syfte och problematiken var unik för SR-Site. Däremot kan man utvärdera huruvida koderna räknar korrekt, genom att ställa upp ett antal idealiserade fall, för vilka det finns analytiska lösningar.

I Munier (2010), metodikrapporten för FPI simuleringar, redovisas i ett för ändamålet dedikerat avsnitt ett stort antal så kallade benchmarks som verifierar att koderna korrekt beräknar de idealiserade beräkningsfallen (Munier 2010, kapitel 5) vilket också uppmärksammades av Brient and Trbovich (2012).

Från idealiserade fall till en modell med fullödiga geometrier av tunnlar och deponeringshål är emellertid steget relativt stort. Parallellt med utvecklingen av FPI-

koderna framtog SKB därför en semi-analytisk lösning mot vilken FPI-koderna kunde verifieras. Denna publicerades (Hedin 2008) före slutförandet av Munier (2010) och kunde således refereras däri. Beräkningarna av nyttjandegrad och vissa idealiserade beräkningsfall utgjorde dock även dessa en utmaning och en stereologisk, semi-analytisk lösning framtog därför som efterliknade simuleringsflödet i Matlab-FPI. Också detta arbete (Hedin 2011) refereras i Munier (2010) även om det vid slutförandet av TR-10-21 ännu inte hunnit komma i tryck (artikeln skickades och accepterades 2010 och trycktes 2011).

I Brient and Trbovich framförs kritik för att de analytiska lösningarna inte refererar till Matlab-FPI och att det därför är otydligt hur de olika arbetena är relaterade. I det ena fallet publicerades dock artikeln (Hedin 2008) före publiceringen av Munier (2010) och i det andra fallet tycks granskarna ha missat referensen till Munier (2010) vilken anges första gången på sidan 3 i Hedin (2011): *In this paper, the issue of earthquake hazards relating to a nuclear waste repository is pursued by analytically evaluating a method described by Munier (2010) for reducing the probability of such intersections by employing selection criteria based on fracture observations in the deposition procedure.*

Angående versionshantering

I Munier (2010) redovisas metodiken för att med simuleringar beräkna antalet kapslar som skärs av kritiska sprickor. För detta arbete användes version R2008b (v. 7.7) av Matlab vilket också redovisas i referenslistan.

Simuleringstiderna var emellertid extremt långa och inför SR-Site fattades beslutet att istället utföra simuleringarna med parallell kod för vilket Matlab R2010b (v. 7.11) resp. Processing toolbox R2010b (v. 5.0) användes. Referenslistan i SKB (2010a) anger version för Processing toolbox men versionsnumret av Matlab föll tyvärr bort.

Möjligheten till parallellprocessering gjorde att man med modesta modifieringar av koderna kunde nyttja parallell kapacitet för beräkningarna i SR-Site. Koderna som användes i SR-Site är i stort sett identiska med de som användes i Munier (2010) med skillnaden att ytterligare några script tillfogats för att anropa den parallella beräkningen samt några script för att hantera den parallella outputen. Samtliga andra subrutiner lämnades oförändrade.

Hela utvecklingen av FPI-koderna, vilket inkluderar input (avser den direkta inputen i form av ASCII versioner av DFN modeller och tunnelgeometrier), m-filer, kompilerade moduler, output samt benchmarks kvalitetssäkrades i Subversion (Murphy 2007) med hjälp av en s k "shell extension" till Microsoft Windows (Küng och Onken 2009). Koderna som användes i SR-Site utgjorde en särskild s k "branch" i Subversion med nummer "2690". För att ytterligare förbättra spårbarheten arkiverades koderna som zip-arkiv i dokumenthanteringssystemet SKBdoc med sökvägar enligt SKB (2010a), avsnitt 3.13.5 vilka återges nedan:

Archived data	Location	Size
EFPC Development and Benchmarks- Matlab scripts	SKBdoc 1292572	1.38 GB
EFPC modelling in SR-Site – Matlab scripts [Including DFN data listed under “SR-Site Data report”]	SKBdoc 1292573	968 MB
EFPC/FPI modelling - General Matlab codes	SKBdoc 1292574	16 kB

Angående kodernas representabilitet

SSM efterlyser en redogörelse för varför ...modellerna förväntas ge användbara resultat i de sammanhang och för det parameterintervall som de används.

Någon form av validering av simuleringarna är inte möjligt. Däremot kan grundantaganden och idealiseringar bedömas utifrån representabilitet och applicerbarhet på de problem som adresserades i Munier (2010).

Sammanhanget har redovisats utförligt i ett flertal SKB-rapporter (t ex La Pointe et al. 1999, Bäckblom och Munier 2002, Munier och Hökmark 2004, SKB, 2010d), publikationer (La Pointe et al. 2002), och konferensbidrag (t ex Fälth et al. 2007, 2008, Hökmark et al. 2008, Munier et al. 2008, Munier 2011) och sammanfattats i SKB (2011, avsnitt 10.4.5) och SKB (2010d, avsnitt 4.3.4).

Vad gäller ”parameterintervall” så återges, förutom de idealiseringar som anges i Munier (2010), en sammanfattning i SKB (2010e, avsnitt 6.3) av de antaganden som rör sprickgeometrier, storleksfördelningar, rumsliga fördelningar etc som beskrevs av Fox et al. (2007). De olika antagandena, i grunden baserade på olika former av osäkerheter (se SKB 2010e, avsnitt 6.3 för diskussion), har lett till ett brett utfallsrum vad gäller antalet kritiska kapslar. Emellertid valde SKB den försiktiga principen att konsekvent använda de värden (”parametrar”) som gavs sämst resultat vad gäller långsiktig säkerhet.

MATLAB-Pandora

För denna kod besvaras SSM:s begäran om komplettering i bilaga 1.

Numerisk GIA-modell

En stor del av studien med GIA-modellen (SKB 2010c, avsnitt 3.3.4, Whitehouse 2009) ägnades åt val av parametrar (islasthistoria och jordparametrar) för att kunna göra en detaljerad utvärdering och validering av modellen genom känslighetsstudier och ett case-study. Vissa av simuleringarna utvärderades mot dagens mönster på isostatisk upplyftning över Skandinavien såsom observerat från dGPS (Lidberg 2007). Modellvalideringen visade bland annat att GIA-simuleringar i 3D, med lateralt varierande egenskaper på jordskorpan tjocklek, gav resultat mer i linje med observerade data, se SKB (2010c), avsnitt 3.3.4 ”A case study with a Fennoscandian 3D Earth structure”. Storleken på felet introducerat genom den endimensionella jordmodellen som användes i SR-Site, jämfört med om en 3D-jordmodell skulle använts, redovisas för Forsmark i SKB (2010c, Figur 3-49). SKB (2010c) redovisade vidare att osäkerheten i resultaten från GIA-modellen i vissa fall är stora (upp till flera tiotal meter). Detta är summerat i SKB (2010c, avsnitt 3.3.7).

Handling of uncertainties in SR-Site – Model simplification uncertainty. Användningen av den med GIA-modellen simulerade strandlinjeförskjutningen har dock anpassats till detta faktum, så att data från GIA-modellen inte används för de kommande första tusentalen åren i SKB:s klimatscenarier, utan denna period baseras på annan information.

Den GIA-modell som användes i SR-Site är använd i ett stort antal studier kring framtida förändringar i isostasi och havsnivå i respons på global uppvärmning.

Trots att valideringen av modellen visar att resultaten i vissa fall kan innehålla stora osäkerheter användes resultaten på ett sådant sätt att modellen var lämpad för de frågeställningar som var aktuella i SR-Site.

Numerisk permafrostmodell

Valideringar av den numeriska permafrostmodellen som användes för simulering av frysdjup, utfrysning av salt och påverkan på grundvattenflödesmönster i SR-Site redovisades i Hartikainen et al. (2010, avsnitt 3.6). Modellen validerades med avseende på i) densitetsstyrt grundvattenflöde (se avsnitt 3.6.1 The Elder problem och avsnitt 3.6.2 Salt fingering), ii) effekterna av tryck och salinitet på frystemperaturen hos grundvatten (se avsnitt 3.6.3 Freezing point of saline water), och iii) saltutfrysning och salttransport i partiellt frusen jord (se avsnitt 3.6.4 Uniaxial freezing).

Valideringen av densitetsstyrt grundvattenflöde visade att modellen gav något snabbare utveckling hos saltkoncentrationen än den beräkningsmodell som jämförelsen gjordes mot i benchmark-testet med the Elder problem. Resultaten visade vidare att modellen ger resultat i god överensstämmelse med experimentella observationer av gravitationsdriven konvektion av salt. Valideringen av effekterna av tryck och salinitet på frystemperaturen visade att modellen genererar data i mycket god överensstämmelse med experimentella referensdata. Även valideringen av saltutfrysning visade att modellen producerar data i överensstämmelse med storskaliga laborietest. I SKB (2010c), avsnitt 3.4.7 Handling of uncertainties in SR-Site – Model simplification uncertainty, redovisas de modellosäkerheter som är relaterade till den permafrostmodell som användes i SR-Site.

Valideringarna beskrivna ovan, tillsammans med den detaljerade och systematiska hanteringen av osäkerheter i permafrostsimuleringarna, visar att permafrostmodellen kan förväntas ge användbara resultat för de frågeställningar som var aktuella i SR-Site.

I tillägg till valideringsstudierna ovan planerar SKB att ytterligare validera permafrostmodellen genom att samma version av modellen som användes i SR-Site kommer att användas för att simulera temperatur i mark och berg, samt permafrost- och frysdjup, vid det studieområde där SKB bedriver Greenland Analogue Project (GAP) på västra Grönland. Detaljerade direkta observationer visar att permafrosten där idag är drygt 300 m mäktig (SKB 2011, avsnitt 4.7). Indata till valideringssimuleringarna (termiska egenskaper hos berg, kemiska egenskaper hos grundvatten, ytbeskaffenhet, klimat mm) kommer dels att erhållas från projektet GAP, dels från publicerad vetenskaplig litteratur. De data som modellen kommer att valideras mot (bergets temperaturfördelning, permafrost- och frysdjup) kommer från projektet GAP.

Löslighetsmodell (Simple Functions)

Validering och känslighetsanalys under utvecklingsprocessen av Simple Functions beskrivs i kapitel 4 i Grivé (2010a). Lösligheter beräknade med Simple Functions jämförs mot lösligheter beräknade med PHREEQC och HYDRA-MEDUSA och resultaten stämmer väl överrens.

Simple Functions är skräddarsydd för rådande förhållanden och det aktuella närområdet beskrivs utförligt i Duro (2006). Här beskrivs även hur olika informationskällor, till exempel naturliga analogier, har använts för att stödja beräkningarna. Osäkerheter kopplade till löslighetskoncentrationer har utvärderats och diskuteras i denna referens. Simple Functions innehåller endast vissa specier av ett element, som har valts ut genom ”expert judgement”, och även denna process beskrivs.

TR-06-32 (Duro 2006) skrevs i samband med SR-Can och sedan dess har förändringar skett vad gäller beräkningar av uppskattade lösligheter. Därför har det kompletterande dokumentet R-10-50 (Grivé 2010b), där uppdateringar förklaras och bedöms, tagits fram för SR-Site.

UMISM

I klimatrapporten (SKB 2010c, avsnitt 3.1.14) redovisas att modellen UMISM tidigare är validerad mot andra inlandsismodeller av samma typ, dvs fysikaliskt baserade termodynamiska modeller. Resultaten visade att UMISM ger resultat i god överensstämmelse med dessa andra modeller (Payne et al. 2000). I (SKB 2010c, avsnitt 3.1.7 Handling of uncertainties in SR-Site – Model simplification uncertainty) redovisas de modellosäkerheter som den version av UMISM som användes i SR-Site innehöll.

För SR-Site var inlandsismodellen kapabel att producera en generell utveckling hos den rekonstruerade inlandsisen under Weichsel som överensstämmer med Weichsels övergripande glaciala historia såsom känd från studier av Kwartärgeologi, glacialmorfologi etc (SKB 2010c, avsnitt 4.2). Dessutom producerade modellen en utveckling hos inlandsisen under Mitt-Weichsel med en mycket begränsad storlek på inlandsisen. Detta var inte den gängse bilden av Weichselnedisningen vid tidpunkten för simuleringen (2005), men har senare visat sig vara korrekt genom nya kvartärgeologiska studier i Skandinavien, se SKB (2010c, avsnitt 4.2.1) och referenser däri.

I tillägg till detta ger modellen även liknande resultat som resultat från helt andra typer av inlandsismodeller (Dick Peltiers ICE-5G och Kurt Lambecks ANU), vilka är baserade på en annan metodik (isostatisk respons och resulterande islasthistorik), se Schmidt et al. (2010, 2012).

Detta sammantaget visar att UMISM kan förväntas ge användbara resultat för det angreppssätt som SKB valt att använda vid hantering av klimatfrågor, inklusive effekter av nedisning.

3. SSM anser att SKB i tillämpliga fall bör beskriva vilka åtgärder som vidtagits för att säkerställa att modifierade kommersiella koder ger tillförlitliga resultat. Detta moment avser endast den ytterligare funktionalitet som modifikationen av koden ger och inte kodens grundläggande funktionalitet.

SKB:s svar

De modifierade kommersiella koder som använts i SR-Site är 3DEC, ABAQUS och CODE_BRIGTH, varför dessa behandlas i det följande.

3DEC

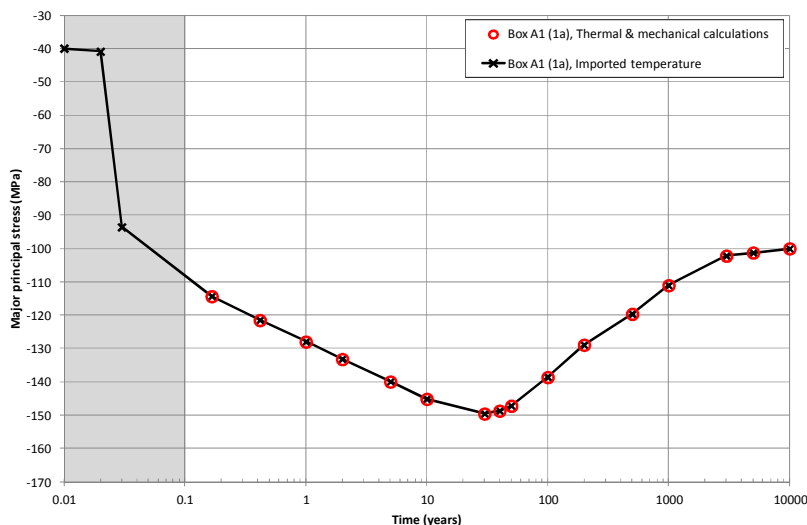
De sex olika FISH-rutiner som användes i de statiska (Hökmark et al. 2010) och dynamiska (Fälth et al. 2010) 3DEC-beräkningar som utgör bakgrundsmaterial till SR-Site listas i SKB (2010a, avsnitt 3.1.2). Två av dessa FISH-rutiner användes för att utöka funktionaliteten i 3DEC, d.v.s. till att utföra sådant som inte kan utföras med reguljära 3DEC-kommandon. Dessa två rutiner användes för:

- Definiering av cirkulära sprickor, samt
- initiering och kontroll av sprickpropageringen längs ett förkastningsplan.

Som framhålls i SKB (2010a), så åtföljdes utvecklingen av alla FISH-rutiner av tester för att säkerställa att rutinerna fungerar så som avsetts. När det gäller de två ovan nämnda rutinerna bekräftas deras funktionalitet dessutom av resultat som redovisas i Hökmark et al. (2010) och i Fälth et al. (2010). Funktionaliteten hos rutinen för definiering av cirkulära sprickor bekräftas av konturdiagrammen i Hökmark et al. (2010, Figur 8-22). Diagrammen visar att skjuvrörelser uppträder endast inom det specificerade cirkulära området. När det gäller rutinen för initiering och kontroll av brottpropagering längs ett förkastningsplan, visas i Fälth et al. (2010, Figur 4-5) hur rutinen reducerar planets skjuvhållfasthet i olika punkter vid den tid och i den takt som det är tänkt. Utöver detta demonstreras i Figur 5-2, Figur 5-3 samt Figur 5-4 i Fälth et al. (2010) att rutinen för hållfasthetsreduktion, som avsett och förväntat, resulterar i en rörelse längs förkastningsplanet som initieras i det förvalda hypocentrat och som propagerar ut över förkastningsplanet med den förvalda hastigheten.

De övriga fyra FISH-rutinerna var inte avsedda att tillföra någon ny funktionalitet till 3DEC, utan till att effektivisera simuleringsarbetet. De användes exempelvis för att automatisera inläsning av indata och för att automatisera applicering av randvillkor och sprickmaterialegenskaper. Som vid allt modelleringsarbete med 3DEC, oavsett om en modell drivs helt med manuellt inmatade kommandon eller helt eller delvis med hjälp också av olika kommandoskript, kontrollerades efterhand att indata och randvillkor var i överensstämmelse med modelleringsuppgiften. Det finns därför ingen specifik dokumentation av de kontroller som gjorts för att säkerställa att automatiseringen som sådan fungerar. I de flesta fall är kontrollen trivial. Det syns till exempel direkt att värmekällorna i de termomekaniska beräkningarna (kapselpositioner med koordinater inlästa från fil med hjälp av FISH-skript) är positionerade som avsett, d.v.s. i enlighet med Layout D2 (Hökmark et al. 2010, Figurerna 5-11 och 5-12). Temperaturer och temperaturinkrement beräknas en gång för alla för modeller med identisk zonerings och

med identiska värmetransportegenskaper (Hökmark et al. 2010, Figur A1). Figur 1 nedan visar att temperaturimportrutinen ger korrekt resultat.



Figur 1. Största huvudspänning vid kapselns höjdcentrum beräknad med hjälp temperaturimportrutinen och med direkt temperaturberäkning (Jfr Figur 9-7, vänster, i Hökmark et al. 2010).

ABAQUS

Krypmodellen enligt Singh och Mitchell har implementerats för krypmodelleringarna som rapporteras i Åkesson et al. (2010). Teorin förklaras i Åkesson et al. (2010) och implementeringen har verifierats mot analytiska uttryck och mot mätresultat. Dessa verifieringar har emellertid inte rapporterats.

I övrigt används bara de kommersiellt tillgängliga beräkningsrutinerna i Abaqus.

CODE_BRIGHT

I Appendix C (sida 341-344) och Appendix D (sida 345-348) i modelleringsrapporten Åkesson et al. (2010) finns utvärderingar av de två modifikationerna som genomförts av CODE_BRIGHT:

1. Swelling modulus κ_s dependent on swelling pressure curves
2. Incorporation of a varying critical state line slope parameter M in BBM

I de båda appendixen beskrivs först den matematiska formuleringen av modifikationerna och därefter följer en utvärdering av implementeringen.

2. Kompletterande information kring versionshantering av koder som använts inom SR-Site

SSM anser att SKB bör beskriva hur man arbetat med versionshantering av beräkningskoder under SR-Site projektet. För de koder för vilka flera olika versioner har utvecklats, utprovats och använts under SR-Site projektet bör versionen/versionerna som använts för slutliga beräkningarna i ansökan anges. SKB bör kunna visa att versionen/versionerna för slutliga beräkningar har utprovats och kvalitetssäkrats på ett godtagbart sätt.

SKB:s svar

Ett stort antal beräkningar ligger till grund för slutsatserna i säkerhetsanalysen SR-Site. Vissa av beräkningarna har utförts inom projektet SR-Site medan andra har utförts utanför projektet. I den Assessment Model Flowchart, AMF, som tagits fram inom projektet och som presenteras i Model Summary Report, MSR, visas de beräkningar som tillhör projektet och som omfattas av projektets kvalitetsplan. Beräkningar som utförs utanför projektet och resultat från dessa hanteras som externa referenser. Även dessa omfattas av projektets kvalitetsplan (exempelvis genom rutin för framtagande av processrapport, datarapport etc) men möjligheten att styra exempelvis format för avrapportering är mer begränsad. Dessa externa beräkningar beskrivs varken i AMF eller i MSR och diskuteras därför inte mer i detta svar.

Beräkningar som utförts inom projektet SR-Site omfattas av de rutiner som diskuteras nedan. MSR sammanställer information avseende kvalitetssäkring av beräkningar och koder. MSR pekar också på en filkatalog där resultat, skript och i vissa fall programkoder samlats (se tabell 1-2 i MSR). MSR beskriver dock inte hur beräkningarna utförts eller beräkningarnas riktighet, då detta kräver en djupare beskrivning av hur problemet ställts upp och definierats. Detta görs istället i respektive beräkningsrapport (se tabell 2-1 och tabell 2-2 i MSR).

De beräkningskoder som ingår i projektet delas upp, utifrån behov av kvalitetsstyrning i fyra olika kategorier. Dessa är:

1. Commercial system software.
2. Software used to solve problems that could be verified by simple hand calculations.
3. Widely used commercial or open source codes.
4. Modified commercial codes or codes developed in-house.

Koder tillhörande kategori 1 och kategori 2 ingår inte i AMF eller MSR.

Projektet har valt att inte ha någon central godkännandeprocess för koder som tillåts användas i analysen utan bygger på att respektive beräkningsrapport beskriver den utförda beräkningen och motiverar valda förutsättningar, inklusive val av kod. Dessa motiv sammanfattas i MSR och ytterligare information angående kvalitetssäkring ges. MSR dokumenterar även projektets beslut att godkänna att koden används i analysen. Då tidplanen för ett längre projekt som en säkerhetsanalys inte kan vara avstämmd mot en tidplan då nya versioner av kommersiella koder (i kategori 3 och 4) släpps är det därför sannolikt att olika versioner av en och samma kod kan komma att användas i analysen. Det kan finnas olika skäl att antingen vänta in en ny version, som exempelvis innehåller ny funktionalitet, eller att behålla en gammal. Olika versioner av samma programvara

kommer därför att existera men så länge vald beräkningskod, oberoende av version, uppfyller ställda krav och är spårbar anses detta inte vara ett problem.

För egenutvecklade koder är möjligheten större att använda en och samma version i alla beräkningarna som ingår i säkerhetsanalysen. Att kräva att endast en version av en kod används i analysen skulle dock innebära att gamla beräkningar antingen måste göras om då en ny version tas fram eller att eventuella uppdateringar senareläggs. Då varje beräkning måste motivera användandet av vald kod oavsett version anses det inte vara motiverat att ställa denna typ av krav.

Tabellen nedan visar de koder som använts i säkerhetsanalysen SR-Site, de rapporter där beräkningarna presenteras samt den eller de version(er) av koden som använts.

Kod	Beräkning (se AMF)	Rapport-nummer*	Version(er) som använts
3DEC	Buffer and rock temperature	TR-10-23	4.1
	Near-field stresses (geosphere)	TR-10-23	4.1
	Reactivation	TR-10-23	4.1
	Fracturing (spalling)	TR-10-23	4.1
ABAQUS	THM saturation (buffer and backfill)	TR-10-11	6.7-5
	Swelling	TR-10-11	6.5-3, 6.6-PR3, 6.8-1, 6.8-3
Analytisk modell erosion/korrosion	Corrosion calculations (including buffer erosion calculations)	TR-10-66	0.7, 0.8 och 0.9, se avsnitt 2 i bilaga 3 till detta brev.
CODE_BRIGHT	Grout degradation	TR-10-25	RetascoCodeBright (bygger på CodeBright v.2)
	Swelling	TR-10-11	Version 2.2, Version 3beta (category 3) Version 3beta med modifieringar
Connectflow	Hydro temperate domain	R-09-20, R-09-22	9.6
DarcyTools	Groundwater flow and salinity during saturation	R-09-19	3.4
	Hydro, glacial domain	R-09-21, R-09-22	3.4
	Hydro, ice location II	R-09-20	3.4
Ecolego	Biosphere landscape model	TR-10-06	4.0
ERICA	Biosphere landscape model	TR-10-06	ERICA Tool version May 2009 (Update Sep 10, 2009)
FARF31	Radionuclide transport, far-field	TR-10-50	1.2.1, SKBdoc 1260297 ver 1.0
MARFA	Radionuclide transport, far-field	TR-10-50	3.2.2
GIA	GIA modelling (Global Isostatic Adjustment)	TR-10-49	Beskriven i Mitrovica J X, Milne G A, 2003. On post-glacial sea level: I. General theory. Geophysical Journal International 154, 253–267.
Matlab – Comp23	Radionuclide transport, near-field	TR-10-50	SKBdoc 1260297 ver 1.0

Kod	Beräkning (se AMF)	Rapport-nummer*	Version(er) som använts
MATLAB-FPI	FPI calculations: calculation of the occurrence of Full Perimeter Intersecting fractures in deposition tunnels	TR-10-21	Enligt SKBdoc 1292573
MATLAB-Pandora	Biosphere landscape model	TR-10-06	Pandora version 2 (svn://svn.skb.se/projekt/SrSite-Bio/Generic/Simulation/Pandora Tool Rev. 6745 (från 17 juni 2011)) Pandas version 1.0 (svn://svn.skb.se/projekt/SrSite-Bio/Generic/Simulation/Pandas Rev. 3060 (från 21 september 2009))
MIKE SHE	Biosphere landscape model	TR-10-06	MIKE SHE 2009
PHAST	Chemical alterations during saturation (geosphere)	TR-10-59	I huvudsak 1.5.1
	Buffer chemistry and migration in buffer	TR-10-59	I huvudsak 1.5.1
	Consumption of initially entrapped oxygen (buffer and backfill)	R-06-106	1.2
PHREEQC	Groundwater composition over glacial cycle	TR-10-58	I huvudsak 2.10
	Oxygen penetration during glacial period	TR-10-57	I huvudsak 2.10
Permafrost	Permafrost modelling	TR-10-49	Version 2
Solubility model (Simple Functions)	Solubilities	TR-10-50	SKBdoc 1265616 ver 1.0
TOUGHREACT	Buffer chemistry and migration in buffer	TR-10-59	1.2
UMISM	Ice sheet modelling	TR-10-49	Version från oktober 2004/april 2005

*Dessa rapporter tas inte upp i referenslistan till detta brev, annat än om de refereras i huvudtexten.

Med vänlig hälsning

Svensk Kärnbränslehantering AB
Avdelning Kärnbränsleprogrammet

Helene Åhsberg
Projektledare Tillståndsprövning

Bilagor

1. Verification/validation of the codes ERICA and MATLAB-Pandora (Facilia AB), Svensk Kärnbränslehantering AB. SKBdoc 1396661 ver 1.0.
2. Verification/validation of the codes PHREEQC, PHAST and TOUGHREACT, Svensk Kärnbränslehantering AB. SKBdoc 1396662 ver 1.0.
3. Documentation of the code for erosion and corrosion calculations in SR-Site, Svensk Kärnbränslehantering AB. SKBdoc 1396663 ver 1.0.

Referenser

Referenser och dokument i ansökan

Bäckblom G, Munier R, 2002. Effects of earthquakes on the deep repository for spent fuel in Sweden based on case studies and preliminary model results. SKB TR-02-24, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Duro L, Grivé M, Cera E, Gaona X, Domènech C, Bruno J, 2006. Determination and assessment of the concentration limits to be used in SR-Can. SKB TR-06-32, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Fox A, La Pointe P, Hermanson J, Öhman J, 2007. Statistical geological discrete fracture network model. Forsmark modelling stage 2.2. SKB R-07-46, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Fälth B, Hökmark H, Munier R, 2007. Seismically induced shear displacements in repository host rock fractures. I Proceedings of the 9th Canadian Conference on Earthquake Engineering, Ottawa, Canada, 26–29 June 2007.

Fälth B, Hökmark H, Munier R, 2008. Seismically induced slip on rock fractures – expanded study with particular account of large earthquakes. I Proceedings of the 42nd U.S. Rock Mechanics Symposium (USRMS), San Francisco, CA, 29 June – 2 July, 2008. American Rock Mechanics Association.

Fälth B, Hökmark H, Munier R, 2010. Effects of large earthquakes on a KBS-3 repository. Evaluation of modelling results and their implications for layout and design. SKB TR-08-11, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Grivé M, Domènech C, Montoya V, Garcia D, Duro L, 2010a. Simple Functions Spreadsheet tool presentation. SKB TR-10-61, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Grivé M, Domènech C, Montoya V, Garcia D, Duro L, 2010b. Determination and assessment of the concentration limits to be used in SR-Can. Supplement to TR-06-32. SKB R-10-50, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Hartikainen J, Kouhia R, Wallroth T, 2010. Permafrost simulations at Forsmark using a numerical 2D thermo-hydro-chemical model. SKB TR-09-17, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Hedin A, 2008. Semi-analytic stereological analysis of waste package/fracture intersections in a granitic rock nuclear waste repository. Mathematical Geosciences 40, 619–637.

Hökmark H, Lönnqvist M, Fälth B, 2010. THM-issues in repository rock. Thermal, mechanical, thermo-mechanical and hydro-mechanical evolution of the rock at the Forsmark and Laxemar sites. SKB TR-10-23, Svensk Kärnbränslehantering AB.

- Küng S, Onken L, 2009.** TourtoiseSVN. Version: 1.6.10, Build 19898 – 32 Bit, 2010/07/16 15:46:08. Tillgänglig: <http://subversion.tigris.org/>
- La Pointe P R, Cladouhos T, Follin S, 2002.** Development, application, and evaluation of a methodology to estimate distributed slip on fractures due to future earthquakes for nuclear waste repository performance assessment. Bulletin of the Seismological Society of America 92, 923–944.
- Lidberg M, 2007.** Geodetic reference frames in presence of crustal deformations. Doktorsavh. Chalmers tekniska högskola.
- Munier R, 2010.** Full perimeter intersection criteria. Definitions and implementations in SR-Site. SKB TR-10-21, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Munier R, Hökmark H, 2004.** Respect distances. Rationale and means of computation. SKB R-04-17, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Munier R, Hökmark H, Fälth B, 2008.** Respect distances: rationale and means of computation. 33rd International Geological Congress, Oslo, Norway, 6–14 August 2008. Abstract 1303577.
- Payne A J, Huybrechts P, Abe-Ouchi A, Calov R, Fastook J L, Greve R, Marshall S J, Marsiat I, Ritz C, Tarasov L, Thomassen M P A, 2000.** Results from the EISMINT model intercomparison: the effects of thermomechanical coupling. Journal of Glaciology 46, 227–238.
- SKB, 2010a.** Model summary report for the safety assessment SR-Site. SKB TR-10-51, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB, 2010b.** Corrosion calculations report for the safety assessment SR-Site. SKB TR-10-66, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB, 2010c.** Climate and climate-related issues for the safety assessment SR-Site. SKB TR-10-49, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB, 2010d.** Geosphere process report for the safety assessment SR-Site. SKB TR-10-48, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB, 2010e.** Data report for the safety assessment SR-Site. SKB TR-10-52, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB, 2011.** Long-term safety for the final repository for spent nuclear fuel at Forsmark. Main report of the SR-Site project. SKB TR-11-01, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Whitehouse P, 2009.** Glacial isostatic adjustment and sea-level change. State of the art report. SKB TR-09-11, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Åkesson M, Kristensson O, Börgesson L, Dueck A, Hernelind J, 2010.** THM modelling of buffer, backfill and other system components. Critical processes and scenarios. SKB TR-10-11, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Övriga referenser

- Brient R D, Trbovich T R, 2012.** Review of SKB's code documentation and QA for the SR-Site safety assessment. Technical note 2012:35, Strålsäkerhetsmyndigheten.
- Hedin A, 2011.** Stereological method for reducing probability of earthquake-induced damage in a nuclear waste repository. Mathematical Geosciences 43, 1–21.

Hökmark H, Lönnqvist M, Fälth B, Christiansson R, 2008. Rock mechanics issues in the Swedish waste management program. In Proceedings of the 42nd U.S. Rock Mechanics Symposium (USRMS), San Francisco, CA, 29 June – 2 July, 2008. American Rock Mechanics Association.

La Pointe P R, Cladouhos T, Follin S, 1999. Calculation of displacement on fractures intersecting canisters induced by earthquakes: Aberg, Beberg and Ceberg examples. SKB TR-99-03, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Munier R, 2011. Handling glacially induced faults in the assessment of the long term safety of a repository for spent nuclear fuel at Forsmark, Sweden. American Geophysical Union Fall Meeting 2011, San Francisco, CA, 5–9 December 2011. Abstract #T34C-07.

Murphy D J, 2007. Managing software development with trac and subversion: simple project management for software development. Packt Publishing.

Schmidt P, Lund B, Hieronymus C, Näslund J-O, 2010. 3D GIA-modelling of northern Europe with varying lithospheric thickness., EGU General Assembly 2010, Vienna, Austria, 2–7 May 2010. Geophysical Research Abstracts 12, EGU2010-8802-2.

Schmidt P, Lund B, Näslund J-O, 2012. Glacial isostatic adjustment in Fennoscandia: a comparative study of three ice sheet reconstructions. I: Schmidt P. Glacial isostatic adjustment: inferences on properties and processes in the upper mantle from 3D dynamical modelling. Doktorsavh. Uppsala universitet, Institutionen för geovetenskaper.