



DokumentID
1396769

Ärende

Strålsäkerhetsmyndigheten
Att: Ansi Gerhardsson
171 16 Stockholm

Handläggare

Jens-Ove Näslund

Er referens

SSM2011-2426-107

Kvalitetssäkrad av

Saida Engström

Allan Hedin

Olle Olsson

Godkänd av

Anders Ström

Kommentar

Granskning, se SKBdoc id 1387259

Sida

1(8)

Datum

2013-05-17

Ert datum

2013-03-15

Kvalitetssäkrad datum

2013-06-26

2013-06-26

2013-06-26

Godkänd datum

2013-06-27

Svar till SSM på begäran om komplettering angående klimatfrågor

Strålsäkerhetsmyndigheten, SSM, har i skrivelse till Svensk Kärnbränslehantering AB, SKB, begärt komplettering av ansökan om slutförvaring av använt kärnbränsle angående klimatfrågor på följande fyra områden:

- 1. En redovisning av felgränser inom det antagna klimatscenariot. Dessa felgränser bör sedan ligga till grund även för andra beräkningar såsom för vattenflöden, erosion och permafrost.*
- 2. En redovisning av varför den glaciala erosionen betraktas som försumbar i Forsmarksområdet.*
- 3. SKB bör tydligt redovisa hur beräkningarna för permafrost har gått till samt lägga till rimliga felgränser för ingångsdata. Även ett scenario rörande permafrost där även hänsyn tas till en tiofalt högre glacial erosion bör redovisas.*
- 4. Ett förtydligande om varför maximal istjocklek är satt till 3400 m i Forsmark samt vad som räknas som extremfall gällande framtida istjocklek.*

Nedan redovisas SSM:s frågeställningar samt SKB:s svar på respektive frågeställning.

- 1. En redovisning av felgränser inom det antagna klimatscenariot. Dessa felgränser bör sedan ligga till grund även för andra beräkningar såsom för vattenflöden, erosion och permafrost.***

SKB:s svar

Felgränsen för temperaturkurvan för klimatscenariot baserat på rekonstruktionen av den senaste glaciala cykeln finns redovisad i SKB (2010), appendix 1 avsnitt A1.5.3. Osäkerheten anges här till ± 6 grader för perioderna med störst osäkerhet, upp till 4-5 grader för större delen av kurvan, och för vissa delar av kurvan till mindre än 4 grader. I den fortsatta analysen av permafrost i SR-Site antas pessimistiskt att hela kurvan har en osäkerhet på ± 6 grader. Resonemanget och informationen som resulterar i denna feluppskattning finns redovisat i detalj i SKB (2010),

Svensk Kärnbränslehantering AB

Box 250, 101 24 Stockholm
Besöksadress Blekholmstorget 30
Telefon 08-459 84 00 Fax 08-579 386 10
www.skb.se
556175-2014 Säte Stockholm

appendix 1. Dessutom genomförs i permafrostsimuleringarna ett flertal känslighetsstudier där ännu större variation i lufttemperatur analyseras (Hartikainen et al. 2010 avsnitt 4.2.2, SKB 2010 avsnitt 3.4.4, SKB 2011, avsnitt 12-3-2).

Den metodik som beskrivs kring framtagandet av en temperaturkurva för senaste glaciala cykeln i SSM:s begäran om komplettering är inte korrekt. SSM beskriver att SKB använt en inlandsismmodell med syftet att förbättra en temperaturkurva. Så var inte fallet. Inlandsismmodellen användes med det enda syftet att simulera isutbredning under Weichselperioden. I denna process behöver modellen kalibreras för att bättre matcha geologisk information om isutbredningar under olika faser av istiden. Denna kalibrering gjordes genom ett fåtal systematiska förändringar av lufttemperaturkurvan, se SKB (2010), avsnitt A1.2. SSM skriver ”När då resultaten av ismodelleringen nyttjas för att kalibrera temperaturkurvan så krävs en avancerad analys av hur osäkerheter förs vidare genom beräkningarna.” Detta är inte korrekt. Inlandsismmodellen användes inte för att kalibrera temperaturkurvan utan temperaturkurvan användes för kalibrering av inlandsismmodellen. Från det lufttemperaturfält som blev resultatet av kalibreringen av isen, och dess variation över tiden, har sedan data extraherats för Forsmarksområdet, och denna kurva valdes att användas som temperaturkurva för Forsmarksområdet för senaste glaciala cykeln. Denna process gör att man i viss mån kan anse kurvan vara regionalt anpassad, t ex till den altitud som platsen har.

Att det finns en stor osäkerhet i övergång från syreisotoper i den grönländska iskärnan till lufttemperatur är välkänd kunskap, och denna finns redovisad i TR-10-40 appendix 1 avsnitt A1.5. Även att inlandsismmodellen innehåller osäkerheter är väl känt, vilket redovisas i SKB (2010), avsnitt 3.1.7. SKB bedömer dock att det förmodligen inte vore möjligt, eller ens rättvisande, att försöka genomföra en meningsfull överföring av osäkerheter ända från iskärnans syreisotoper till en lufttemperatur i Forsmark, även om de flesta av dessa osäkerheter finns redovisade i SKB (2010). Resultat skulle i sämsta fall till och med kunna inge en falsk bild av noggrannhet. Ett annat angreppssätt som bedömts som bättre (och som inte noterats i SSM:s begäran om komplettering), är att genomföra en validering av den resulterande temperaturkurvan från inlandsismmodellen mot oberoende paleodata och klimatmodelldata på lufttemperatur i Skandinavien under olika perioder av Weichselglaciationen. En sådan validering presenteras i SKB (2010), avsnitt A1.5.2. Liksom redovisat i SKB (2010) är det här viktigt att inse att även paleodata och modelldata har sina osäkerheter. Slutsatsen från jämförelsen var att den temperaturkurva som erhållits via simuleringen av inlandsisen under Weichsel är samstämmig med, eller ligger något under, temperaturerna från paleodata och modelldata. Denna jämförelse, samt hänsyn tagen till sättet som temperaturkurvan konstruerats på, resulterade i en uppskattning av osäkerheten i temperaturkurvan såsom beskrivet nedan från SKB (2010), appendix 1 A1.5.3 ”*Estimated temperature uncertainty and treatment of this uncertainty in SR-Site*”. Här beskrivs även vilka andra delar av beräkningarna i SR-Site som påverkas av denna osäkerhet. Denna skrivning, tillsammans med förtydligandena ovan, bedöms svara på SSM:s begäran.

”Based on how the air temperature curve has been constructed, on the comparison against Fennoscandian last glacial cycle stadial and interstadial proxy data, and on remaining uncertainties associated with the temperature curve that have not been quantified above, it is here pessimistically estimated that the uncertainty in the reconstructed Forsmark region temperature curve (Figure A1-3) is not larger than 6°C for the periods with largest uncertainties. Furthermore, an uncertainty of up to c. 4–5°C is estimated for the major part of the curve, and for some parts of the curve, such as for the Holocene and the Eemian, smaller than 4°C.

In SR-Site, the uncertainties in the reconstructed temperature curve for the Forsmark region mainly affect the permafrost modelling, see /Hartikainen et al. 2010/ and Section 3.4.4 and 5.5.3 and /Vidstrand et al. 2010/. In the permafrost simulations performed for Forsmark, see /Hartikainen et al. 2010/, Section 3.4.4 and 5.5.3, the uncertainties in the air temperature curve are covered by a range of sensitivity tests specifically on the air temperature curve and on surface conditions (for the calculation of ground surface temperatures). In some of the sensitivity tests, the entire air

temperature curve reconstructed for the last glacial cycle (Figure A1-3) was lowered (and raised) by 6°C, in accordance with the estimated maximum uncertainty. This was also done in combination with uncertainties in other parameters of importance for the development of permafrost, see /Hartikainen et al. 2010/ and Section 3.4.4. Other sensitivity tests on the air temperature curve for permafrost simulations covered a temperature range significantly wider than the estimated uncertainty described in this section, up to a 16°C lowering of the air temperature curve in Figure A1-3, see /Hartikainen et al. 2010/ and Section 3.4.4.

Uncertainties in the original GRIP temperature curve have a direct effect only on the ice sheet modelling (Section 3.1.4), but the uncertainty is here to a large extent taken care of by the ice sheet modelling process (in which the ice sheet configurations during stadials periods, when the error is largest, were calibrated against known ice-marginal positions)."

I tillägg till detta kan nämnas att temperaturkurvan, och dess skattade osäkerhet, i SR-Site inte används vid beräkningarna av erosion eller vattenflöden.

2. En redovisning av varför den glaciala erosionen betraktas som försumbar i Forsmarksområdet.

SKB:s svar

Statusrapport juni 2013, fullständigt svar lämnas i december 2013.

Denna fråga är delvis besvarad under svaret till fråga 3 nedan. Där summeras huvudargumenten för att den glaciala erosionen förväntas vara låg i Forsmarksområdet (med referenser till relevanta delar i SR-Site). Under svaret till fråga tre redovisas även vad en tio gånger så hög glacial erosionshastighet än den som SKB redovisat i SR-Site skulle ha för konsekvenser i termer av frysning av kärnbränsleförvaret.

Resultatet av glacial erosion från åtskilliga omfattande nedisningar återfinns i landskapet vid Forsmark idag. Områdets berggrundsmorfologi präglas fortfarande av en gammal subkambrisk denudationsyta, bara till mindre grad påverkad av glacial erosion från Kvartära nedisningar (Olvmo 2010). Den flacka topografin i området gör att glacial erosion inte varit en effektiv process under kvartärperioden fram till idag, och fortsatt flack topografi i framtiden skulle betyda samma sak. Vid platsen för kärnbränsleförvaret finns inga större topografiska sänkor eller större sprickzoner vilka skulle gynna en högre glacial erosionshastighet.

SKB anser att det inte är direkt tillämpligt att överföra erosionshastigheten från glaciärer i alpina miljöer till förhållanden under en inlandsis i Forsmark. Det första fallet innebär en väsentligt annan erosionsmiljö med bl.a. brantare topografi vilket påverkar isrörelsens storlek och därmed erosionshastigheten.

Om landskapet hade varit mer kuperat kunde situationen ha varit annorlunda. Detta kan ses t ex i det område som ligger 15 km sydost om förvarsplatsen där den framtida glaciala erosionen i vissa delar av SKB uppskattats kunna uppgå till mer än 10 m per glacial cykel (SKB 2010 avsnitt 3.5.4, Olvmo 2010). Även om man skulle tänka sig att detta område med högre glacial erosion i framtiden skulle växa mot förvarsplatsen genom bakåtgripande glacial erosion, så är sträckan detta skulle behöva ske över, för att förvarsplatsen skulle nås, omfattande. Det är sannolikt att åtskilliga glaciala cykler skulle behövas för att detta skulle kunna ske. Om detta område skulle växa och nå förvaret efter ett flertal glaciala cykler, skulle berggrunden vid förvarsplatsen inte börja påverkas av den kraftigare glaciala erosionen förrän vid denna tidpunkt. Det skulle ta ytterligare flera glaciala cykler innan denna kraftigare glaciala erosion skulle påverka t ex frysdjup på ett sätt som påverkar förvaret (se svar på fråga 3). I detta avseende, och mot bakgrund av en även i detta fall

initialt förväntad låg erosionshastighet vid själva förvarsplatsen, ser SKB det efterfrågade och redovisade fallet med tiofalt högre glacial erosion vid förvarsplatsen (fråga 3) från första framtida glaciala cykel som hypotetiskt.

SKB planerar vissa kompletterande studier kring glacial erosion i Forsmark vars resultat förväntas vara klara till december 2013.

3. SKB bör tydligt redovisa hur beräkningarna för permafrost har gått till samt lägga till rimliga felgränser för ingångsdata. Även ett scenario rörande permafrost där även hänsyn tas till en tiofalt högre glacial erosion bör redovisas.

SKB:s svar

Redovisning av beräkningar av permafrost

SKB har i detalj redovisat hur 2D beräkningarna av permafrost är genomförda i Hartikainen et al. (2010). Den konceptuella uppsättningen av modellen, inklusive modelldomän och grundläggande indata, redovisas i kapitel 2. Den numeriska modellen presenteras i kapitel 3 och de olika numeriska simuleringarna i kapitel 4. Delar av innehållet och resultaten från denna rapport användes sedan som underlag till permafrostavsnitten i SR-Sites Klimatrapport (SKB 2010, avsnitten 3.4.4, 4.5.3, 5.1.4 och 5.5.3), och i nästa steg i analysen av buffertfrysning i Huvudrapporten (SKB 2011, avsnitt 12.3). I SKB (2010), avsnitt 3.4.4, redovisas även de permafrostsimuleringar som genomförts i 1D. Anledningarna till att vi har tilltro till den använda permafrostmodellen har förtydligats i ett separat svar på SSM:s begäran om komplettering rörande dokumentation och kvalitetssäkring av koder (SKBdoc 1396660).

Felgränser på indata

Indata till permafrostmodellen kommer dels från platsundersökningsprogrammet i Forsmark, dels från klimatforskningsprogrammet och dels från programmet för ytekosystem. Alla dessa indata, inklusive dess felgränser, presenteras i Hartikainen et al. (2010) appendix A till J, med referenser på varifrån de är hämtade. Indata på lufttemperatur, samt dess uppskattade felgräns, redovisas även i detalj i SKB (2010), appendix 1.

I Hartikainen et al. (2010) presenteras sedan systematiska känslighetsstudier på felgränserna av de indata som påverkar temperaturfältet och bildningen av permafrost, dels enskilt och dels i olika kombinationer. Känslighetsstudierna inkluderar ett fall där alla indata valts, inom osäkerhetsgränserna, så att de maximalt gynnar uppkomst av permafrost, se Hartikainen et al. (2010), avsnitt 5.2. Resultatet från detta fall användes i analysen av buffertfrysningsscenarioet i SR-Site (SKB 2011, avsnitt 12.3).

Permafrost med tiofalt högre glacial erosion

SKB har redovisat förväntad storlek på glacial erosion vid platsen för Kärnbränsleförvaret (SKB 2010, avsnitt 3.5.4). Eftersom förvaret är lokaliserat på en urbergsyta med låg relief, och dessutom inte i en lokal sänka eller större sprickzon, förväntas erosionen på platsen vara låg, 1-2 m per glacial cykel. I linje med detta uppskattades den totala sänkningen av berggrundsytan under de kommande 1 miljon åren till omkring 20 m. Det närmaste området med kraftigare glacial erosion ligger idag ca 15 km sydost om förvarsplatsen. I topografiska sänkor förväntas den glaciala erosionen, i detta område, kunna uppgå till mer än 10 m per glacial cykel (SKB 2010, avsnitt 3.5.4; Olvmo 2010). Mot bakgrund av avsaknaden av topografiska sänkor och större sprickzoner vid förvarsplatsen, samt den hittills mycket låga denudationen i denna del av Sverige under de senaste årmiljonerna (några få tiotal m), se SKB (2010), avsnitt 3.5.4 och referenser däri, menar SKB att ett fall med en tiofalt högre glacial erosion vid förvarsplatsen från första framtida glaciala cykel bör ses som hypotetiskt.

Som komplettering till ansökan redovisas en värdering av permafrostdjup för den mycket pessimistiska situationen med tio gånger högre glacial erosion, vilket innebär 10-20 m glacial erosion ovan förvaret per glacial cykel istället för 1-2 m. Detta skulle kunna uttryckas som att det maximala permafrostdjupet når 10-20 m djupare per cykel. I tabell 1 redovisas resulterande maximala djup för referensutvecklingen, inklusive deras maximala osäkerhet, i det fall permafrosten skulle nå 20 m djupare per glacial cykel.

Det första som kan noteras här är att den tio gånger högre glaciala erosionen inte påverkar de maximala djupen under den första kommande glaciala cykeln av referensutveckling (de första 120 000 åren), eftersom den mäktigaste permafrosten under en glacial cykel uppnås **före** första perioden med inlandsis och glacial erosion över förvaret, se SKB (2010), figur 4-34. Efterföljande perioder med permafrost under denna första glaciala cykel har ett ca 60 m grundare permafrost- och frys djup (SKB 2010, figur 4-27), och skulle därför, trots en hypotetisk glacial erosion på upp till 20 m, inte resultera i djupare permafrost än den som rådde före perioden med glacial erosion. För efterföljande sju glaciala cykler (Tabell 1), har markytan i detta fall däremot sänkts 20 m per glacial cykel vid varje tillfälle av maximalt permafrostdjup. Mot slutet av den analyserade perioden på 1 miljon år skulle därför permafrost tränga ner ca 140 m djupare än under den första glaciala cykeln (Tabell 1).

Slutsatserna av att anta en tio gånger högre glacial erosion blir enligt Tabell 1:

- i) Ingen påverkan på maximala permafrostdjup, frys djup eller djup för -4°C isotermin under den första framtida glaciala cykeln jämfört med vad som redovisats i SR-Site.
- ii) För efterföljande glaciala cykler når frysning av grundvatten och buffertleran 20 m närmare förvaret per glacial cykel.
- iii) Vid det mycket pessimistiska antagandet att alla osäkerheter satts i läget mest gynnsamt för permafrost innebär detta att frysning av grundvatten skulle kunna ske på förvarsdjup från och med glacial cykel nummer 3.
- iv) Vid samma pessimistiska antagande innebär det även att -4°C -isotermin (fryskriteriet för buffertleran) skulle kunna nå förvarsdjup, och buffertleran runt kapslarna skulle frysa, i slutet av analysperioden på 1 miljon år (under glacial cykel nummer 8).

Värt att notera i sammanhanget är att i det fall grundvatten i bufferterosionskaviteter fryser så beräknas ett maximalt tryck på 26-27 MPa uppstå (SKB 2011, avsnitt 12.3, SKB 2010, appendix 3), vilket är avsevärt lägre än det kritiska tryck för kapselkollaps som beskrivs i scenariet för kapselkollaps på grund av isostatiskt tryck (SKB 2011, avsnitt 12.7.2). Ytterligare värt att notera är att buffertleran återfår sina egenskaper efter att den utsatts för frysning och tining (Birgersson et al. 2010).

Analysen ovan innebär att den osäkerhet som uppskattats för temperaturkurvan för referensutvecklingen, baserad på den senaste glaciala cykeln, och analyserats vid permafrostsimuleringarna, tillämpas på en mycket lång framtida period. Denna enkla analys ger dock en generell bild av vad som förväntas vid en hypotetisk tio gånger högre glacial erosion vid själva förvarsplatsen.

I tillägg till den verifikation av permafrostmodellen som redovisats i Hartikainen et al. (2010) avsnitt 3.6, planeras ytterligare utvärdering av den version av modellen som användes i SR-Site att genomföras vid platsen för Greenland Analogue Project (GAP). Resultaten från denna utvärdering planeras vara tillgängliga under första halvåret 2014.

Tabell 1. Djup för permafrost, frusen mark och -4°C -isotermen (fryskriteriet för bentonit) med en hypotetisk glacial erosion på 20 m per glaciationscykel ovan kärnbränsleförvaret. Osäkerhetsintervallet på djupen baseras på ett mycket pessimistiskt valt fall där alla osäkerheter är satta i läget mest gynnsamt för permafrosttillväxt, se texten samt SKB (2010), avsnitt 4.5.3. Eftersom ingen glacial erosion sker innan tidpunkten för maximalt permafrostdjup under första glaciala cykeln, se texten, så är data i första raden desamma som redovisats i SKB (2010), tabell 5-11. Siffror i fetstil motsvarar förvarsdjup eller djupare.

Glaciala cykel nr (tusental år efter nu)	Max permafrostdjup (0°C graders isotermen) (m) [osäkerhetsintervall]	Max frysdjup grundvatten (m) [osäkerhetsintervall]	Max djup för -4°C -isotermen (fryskriterium för bentonit) (m) [osäkerhetsintervall]
1 (0-120)	259 m [463 m]	246 m [422]	148 m [316]
2 (120-240)	279 [483]	266 [442]	168 [336]
3 (240-360)	299 [503]	286 [462]	188 [356]
4 (360-480)	319 [523]	306 [482]	208 [376]
5 (480-600)	339 [543]	326 [502]	228 [396]
6 (600-720)	359 [563]	346 [522]	248 [416]
7 (720-840)	379 [583]	366 [542]	268 [436]
8 (840-960)	399 [603]	386 [562]	288 [456]

4. Ett förtydligande om varför maximal istjocklek är satt till 3400 m i Forsmark. SSM önskar även ett förtydligande angående på vilket sätt Saale-glaciationen används för att kvantifiera osäkerheter i referensscenariot med Weichsel-glaciationen, och hur det osannolika fallet förhåller sig till det extrema. SSM undrar vidare huruvida extrema fall kan påverka konstruktionsförutsättningar.

SKB:s svar

Statusrapport juni 2013, fullständigt svar lämnas i december 2013.

Förtydligande om varför maximal istjocklek är satt till 3400 m i Forsmark

Den i SR-Site redovisade maximala förväntade istjockleken över Forsmark, 3400 m, baseras på den största inlandsis som täckt Skandinavien under de senaste drygt 2 miljoner åren, se SKB 2010 avsnitt 5.4 samt SKB (2011), avsnitt 12.7.2. Siffran kommer från simuleringar av inlandsisen under Saale-perioden (Lambeck et al. 2006) samt från SKB:s simuleringar av denna inlandsis (SKB 2010, avsnitt 5.4.2). Rekonstruktionen av Lambeck et al. (2006) gav en något större istjocklek och värdet från denna simulering valdes därför för den vidare analysen (SKB 2010, Tabell 5-6 SKB 2011, tabell 12-2).

I illustrativt syfte redovisades i SR-Site även observerade maximala istjocklekar från Östantarktis och maximala istjocklekar på andra platser erhållna från modellsimuleringar. Båda dessa ger värden på omkring 4500 m. I simuleringarna av Saale-isen (Lambeck et al. 2006) gäller detta värde dock inte för Forsmarksområdet, utan för ett helt annat område i Arktis. Det är här viktigt att konstatera att det är de lokala förhållandena vid förvarsplatsen som skall användas i själva analysen, och inte förhållandena vid helt andra platser.

Förtydligande angående på vilket sätt Saale-glaciationen används för att kvantifiera osäkerheter i referensscenariot med Weichsel-glaciationen

I SR-Site redovisas en simulerad maximal istjocklek under Weichselglaciationen på 2900 m (SKB 2010, tabell 5-6, SKB 2011, tabell 12-2). För att täcka in tänkbara framtida fall med mycket stora inlandsisar anser SKB att inlandsisen under Saale-perioden är lämplig att använda som analog situation, eftersom detta är den största is man känner till som täckt Skandinavien. I analysen av kapselkollaps orsakad av höga isostatiska tryck används därför inte den maximala istjockleken under Weichselperioden, utan istället den maximala istjockleken under Saaleglaciationen. Istjockleken under Saale-glaciationen har därför *inte* strikt använts för att kvantifiera osäkerheten i referensscenariot med Weichsel-glaciationen, utan istället använts som ett eget mått på tänkbara maximala istjocklekar som kan uppstå i ett en miljon års perspektiv. Detta är i enlighet med metodiken för SR-Site, där osäkerheter som inte fullt ut hanteras i referensutvecklingen tas om hand i de olika scenarieanalyserna.

Kan extrema fall påverka konstruktionsförutsättningarna?

Denna fråga diskuteras i SKB:s svar på fråga 8 i SSM:s begäran om kompletterande information om konstruktionsförutsättningar (SKBdoc 1395038).

Planerad kompletterande studie

I och med att Saale-glaciationen utgör en god analog för framtida maximala istjocklekar över Forsmarksområdet, planeras en kompletterande kombinerad klimat- och inlandsismodellstudie av denna glaciation. Studien kommer att utföras under delar av 2013 och 2014, och fokuserar på fasen av maximal Saalenedisning under marina isotopstadium 6, för 140 000 år sedan. Ett huvudsyfte är att med klimat- och inlandsissimuleringar beskriva realistiska maximala istjocklekar under denna period, för hela Saale-isen inklusive Forsmarksområdet. Ett annat huvudsyfte är att i detalj analysera och beskriva osäkerheten i dessa maximala istjocklekar med avseende på osäkerheter i klimat, utbredning av inlandsis över Nordamerika, glacial hydrologi hos Saale-isen, m m. Den globala klimatmodell (AOGCM) som kommer användas är CCSM4 medan den 3D termomekaniska inlandsismodellen är GRISLI. Studien kan även ses som en för SKB:s frågeställningar anpassad fortsättning på de simuleringar av Saale-glaciationen som genomförts av Colleoni et al. (2010a, b). Studien, vilken utförs vid Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici i Bologna, kommer att komplettera den bild av istjocklekar under Saaleglaciationen (Lambeck et al. 2006, SKB 2010, avsnitt 5.4.2) som användes i SR-Site. Preliminära resultat planeras finnas tillgängliga för rapportering i december 2013. Slutgiltiga resultat är planerade till hösten 2014.

Med vänlig hälsning

Svensk Kärnbränslehantering AB
Avdelning Kärnbränsleprogrammet

Helene Åhsberg
Projektledare Tillståndsprövning

Referenser

Referenser i ansökan

Birgersson M, Karnland O, Nilsson U, 2010. Freezing of bentonite. Experimental studies and theoretical considerations. SKB TR-10-40, 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.

Lambeck K, Purcell A, Funder S, Kjær K H, Larsen E, Möller P, 2006. Constraints on the Late Saalian to early Middle Weichselian ice sheet of Eurasia from field data and rebound modelling. *Boreas* 35, 539–575.

Olvmo M, 2010. Review of denudation processes and quantification of weathering and erosion rates at a 0.1 to 1 Ma time scale. SKB TR-09-18, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2010. Climate and climate-related issues for the safety assessment SR-Site. SKB TR-10-49, 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.

Vidstrand P, Follin S, Zugec N, 2010. Groundwater flow modelling of periods with periglacial and glacial conditions – Forsmark. SKB R-09-21, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Övriga referenser

Colleoni F, Liakka J, Krinner G, Jakobsson M, Masina S, Peyaud V, 2010a. The sensitivity of the Late Saalian (140 ka) and LGM (21 ka) Eurasian ice sheets to sea surface conditions. *Climate Dynamics* 37, 531–553.

Colleoni F, Jakobsson M, Krinner G, 2010b. The role of the Late Saalian Arctic ice-shelf in the climate of the last glacial maximum of MIS 6 (140 ka). *Quaternary Science Reviews* 29, 3590–3597.