



DokumentID  
1396703

Ärende

Strålsäkerhetsmyndigheten  
Att: Ansi Gerhardsson  
171 16 Stockholm

Handläggare  
Ignasi Puigdomenech

Er referens  
SSM 2011-2426-82

Kvalitetssäkrad av  
Allan Hedin

Helene Åhsberg

Godkänd av

Martin Sjölund

Kommentar

Granskning, se SKBdoc 1387259

Sida

1(10)

Datum

2013-01-02

Ert datum

2012-12-07

Kvalitetssäkrad datum

2013-12-19

2013-12-20

Godkänd datum

2013-12-20

## Svar till SSM på begäran om komplettering rörande långsiktig utveckling av grundvattenkemi på försvarsdjup

Strålsäkerhetsmyndigheten, SSM, har i skrivelse till Svensk Kärnbränslehantering AB, SKB, daterad 2012-12-07, begärt komplettering av ansökan om slutförvaring av använt kärnbränsle angående långsiktig utveckling av grundvattenkemi på försvarsdjup. Följande kompletteringar efterfrågas:

1. Hur osäkerheter i sammansättning av typvatten inverkar på beräkningar av långsiktig grundvattenkemisk utveckling på försvarsdjup, särskilt salthalt.
2. Betydelse av att i de kemiska beräkningsmodellerna utesluta komponenter i grundvatten som har uppmätts under platsundersökningarna samt betydelsen av att utesluta vissa potentiellt betydelsefulla processer som påverkar grundvattensammansättningen.
3. Utvecklingen av grundvattenkemi för extremt långa postulerade perioder konsekventa med scenariot för global uppvärmning under vilka den grundvattenkemiska utvecklingen domineras av infiltration av meteoriska vatten.
4. Betydelsen av mikrobiell sulfatreduktion med organiskt upplöst material (DOC).
5. Redovisa jämförelser av beräknade haltintervall som funktion av djup i berget med koncentrationer som uppmätts under platsundersökningarna.
6. Redovisa betydelsen av jämförelser mellan matrisvattensammansättning och grundvattensammansättning för möjligheten att förutsäga långsiktig utveckling av grundvattnets jonstyrka.

Nedanstående svar från SKB är en uppdatering av det svar som gavs i juni 2013. Svar på fråga 2 och 3 har tillkommit i denna version. Svar på övriga frågor är oförändrade. SKB anser nu att samtliga frågor i kompletteringen är besvarade.

### **1. Hur osäkerheter i sammansättning av typvatten inverkar på beräkningar av långsiktig grundvattenkemisk utveckling på försvarsdjup, särskilt salthalt.**

SKB:s bedömning av buffererosionens inverkan har till stor del baserats på att grundvattnets salthalt för de allra flesta deponeringspositioner i berget inte når de låga nivåer (< 4 mM) där erosionen långsiktigt fortgår. Den kvantitativa analysen för grundvattnets salthaltutveckling för både tempererade och glaciala förhållanden finns

**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

*redovisad i Salas m.fl. (2010). SKB:s analys baseras på en fixerad kemisk sammansättning av typvatten, som meteoriskt vatten, glacialt smältvatten, djupt saltvatten, och Littorina vatten, vilket motiveras och diskuteras i Gimeno m.fl. (2008; appendix F). SSM anser dock att SKB bör redovisa inverkan av osäkerheter i definition av typvatten på beräkningen av den långsiktiga utvecklingen av salthalt som används till stöd för bedömning av buffererosion (McMurry och Bertetti, 2012). Risken för att ett större antal deponeringshål uppnår förhållanden under vilka buffererosion är möjlig behöver belysas. Av särskilt stor betydelse kan osäkerheter för den djupa salta grundvattentypen förmodas ha, dels därför att den nuvarande analysen endast har baserats på mätdata från Laxemar snarare än Forsmark, dels därför att denna grundvattentyp har en särställning vid beräkning av salthalts utveckling under glaciala förhållanden. Även betydelsen av osäkerheter kopplat till andra typvatten behöver dock utredas. Osäkerheter kring sammansättningen av tillfört vatten under faser då Forsmarkplatsen är översvämmad har till exempel bedömts vara betydelsefulla för återhämtning av salthalt efter en glacial period.*

### **SKB:s svar** (svar lämnat i juni 2013)

Hanteringen av osäkerheterna inom typvattenproportionerna och typvattensammansättning har två huvudkomponenter i SR-Site:

- Hydrogeokemisk härledning av typvattnen baserad på en statistisk analys av grundvattendata från platsundersökningarna
- Gränssättande beräkningsfall i SR-Site som kan fånga osäkerheten från hydrogeokemiska koncept och modellresultat.

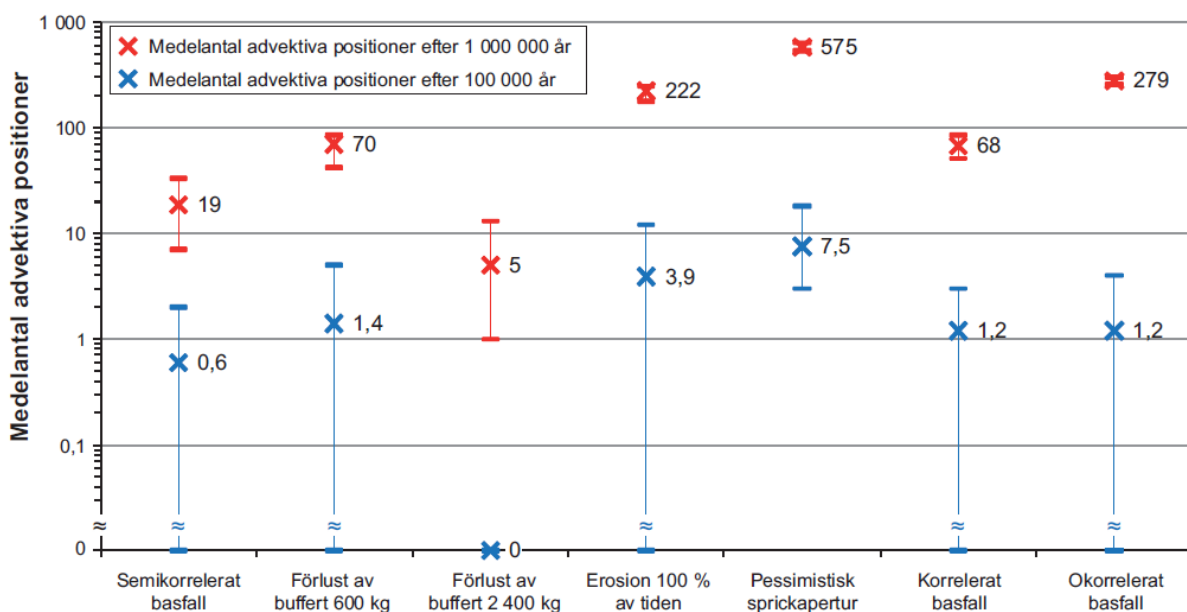
En Monte Carlo-metod för att samtidig räkna blandningsproportionerna och typvattensammansättningen ur grundvattenkemins platsdata beskrivs i avsnitt 2.1.5 i Gimeno et al. (2008). För den djupa salta grundvattentypen, visar metoden att det finns parametrar, till exempel magnesium eller natrium, som är behäftade med stora osäkerheter i de uppmätta grundvattensammansättningarna i Forsmark. Å andra sidan kan andra parametrar fastställas med mindre osäkerhet, till exempel är den mest troliga kloridhalten för det djupa salta grundvattnet cirka 50 g/L. Diskussionerna i avsnitt 2 i Gimeno et al. (2008) visar att tilltron till typvattensammansättningarna och blandningsproportionerna som användes för Forsmark är god.

Det finns emellertid en osäkerhet i grundvattentyper i framtiden. Till exempel kring sammansättningen av tillfört vatten under faser då Forsmarkplatsen är översvämmad efter en glacial period. I SR-Sites basfall har man antagit samma sammansättning som i Littorinahavet. Om ett saltare vatten skulle översvämma platsen i framtiden, skulle vattnet sakta tränga ner på grund av den högre densiteten. Ett sådant fall skulle vara gynnsamt genom att höga salthalter i grundvattnet skulle fördröja bentoniterosionen. Om vattnet ovanför Forsmark efter en glacial period består till exempel av färskt smältvatten, och ett inflöde av havsvatten uteblir, kan en påverkan av salthalten i grundvatten inte ske genom nedträngning av ytvattnet, eftersom detta kommer att ha lägre densitet än grundvattnet. Hydrogeologiska modeller av den glaciala perioden visar en gradvis återhämtning av saliniteten i grundvattnet när platsen är täckt av en inlandsis, se figur 10-134 i huvudrapporten SR-Site.

Osäkerheter i ovan nämnda konceptuella modeller, till exempel i ytvattensammansättningen under faser då Forsmarkplatsen är översvämmad efter en glacial period, på antalet deponeringshål som uppnår buffererosionförhållanden har belysts i SR-Site i och med att man har redovisat ett fall där grundvattnet har en sammansättning som gynnar erosion 100 procent av den en miljon år långa analysperioden.

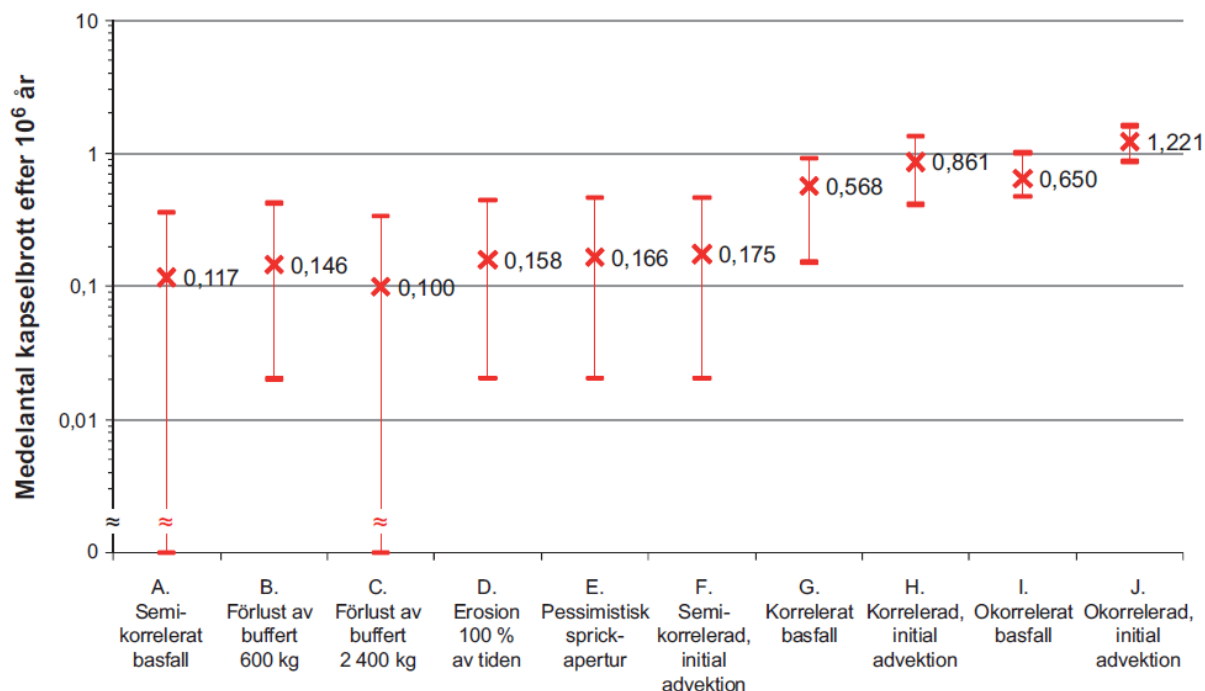
I huvudrapporten SR-Site avsnitt 12.2.2 ”Kvantitativ beskrivning av förloppen som leder till advektion i bufferten”, sidan 584, redovisas en känslighetsanalys av erosion/kolloidfrigörelse från bufferten. En av faktorerna som påverkar buffererosion är andelen av den en miljon år långa analysperioden under vilken grundvattnet har en sammansättning som gynnar erosion. I basfallet antogs andelen vara 25 procent av tiden i de två procent av deponeringshålen som exponeras för de högsta flödeshastigheterna, baserat på analyser som sammanfattas i avsnitten 10.3.7 och 10.4.7.

Om man gör antagandet att grundvatten som gynnar erosion i stället råder 100 procent av den en miljon år långa analysperioden och i samtliga deponeringshål, leder detta till att antalet deponeringshål i vilka advektiva förhållanden råder ökar med en faktor som är omkring tio i miljonårsperspektivet, se figur 12-3 i huvudrapporten SR-Site (nedan återgiven som figur 1).



**Figur 1.** Medelantal advektiva positioner efter 100 000 år och efter en miljon år för en rad beräkningsfall i SR-Site. (Figur 12-3 i TR-11-01.)

Fallet sätter en övre gräns för den möjliga variationen till följd av andra grundvattensammansättningar än de som analyserats i SR-Site. Antalet skadade kapslar för detta fall redovisas i avsnitt 12.6.2 ”Kvantitativ utvärdering av korrosion”, figur 12-16, sidan 614 (nedan återgiven som figur 2), som visar att antalet skadade kapslar ökar med cirka 40 procent.



**Figur 2.** Medelantal kapselbrott efter en miljon år för en rad beräkningsfall i SR-Site. (Figur 12-16 i TR-11-01.)

I sammanfattning har alltså osäkerheter i grundvattnets sammansättning analyserats och gränsatts i SR-Site. Även stora antagna variationer befanns ha en måttlig inverkan på den långsiktiga säkerheten. Det är också värt att notera att i de beräkningsfall som används för att demonstrera kravuppfyllelse i SR-Site (se t ex Figur 15-2 i SKB 2011) antogs att alla deponeringshål hade advektiva förhållanden redan vid deponering, det vill säga i praktiken att bufftererosionen är obegränsat snabb (och oberoende av grundvattnets sammansättning).

**2. Betydelse av att i de kemiska beräkningsmodellerna utesluta komponenter i grundvatten som har uppmätts under platsundersökningarna samt betydelsen av att utesluta vissa potentiellt betydelsefulla processer som påverkar grundvattensammansättningen.**

**SKB:s svar**

Svar på denna fråga lämnas i bilaga 3 och bilaga 4. Svaret är en komplettering till SKB:s ansökan om slutförvaring av använt kärnbränsle.

**3. Utvecklingen av grundvattenkemi för extremt långa postulerade perioder konsekventa med scenariot för global uppvärmning under vilka den grundvattenkemiska utvecklingen domineras av infiltration av meteoriska vatten.**

**SKB:s svar**

SKB har genomfört beräkningar av grundvattenutvecklingen i Forsmark för en förlängd tempererad period (upp till sextiotusen år). Beräkningarna utförs med ett nytt modelleringsverktyg, och är mycket datorresurskrävande. En beskrivning av beräkningarna

finns i bilaga 5, som också redovisar de hittills erhållna resultaten. SKB kan inte redovisa alla resultat från beräkningarna ännu. Resultaten för ett av beräkningsfallen ("Case 3" i bilaga 5) visade mindre infiltration av meteorisk vatten än övriga redovisade beräkningsfall och, som det beskrivs i bilaga 5, vill man försäkra sig om att resultaten för detta beräkningsfall inte beror på möjliga numeriska artefakter innan dessa resultat offentliggörs. När alla beräkningar är färdiga, och resultaten fullständigt analyserade, kommer arbetet att rapporteras som en SKB-rapport.

#### ***4. Betydelsen av mikrobiell sulfatreduktion med organiskt upplöst material (DOC).***

**SKB:s svar** (svar lämnat i juni 2013)

Svar på denna fråga lämnas i bilaga 1. Svaret är en komplettering till SKB:s ansökan om slutförvaring av använt kärnbränsle.

#### ***5. Redovisa jämförelser av beräknade haltintervall som funktion av djup i berget med koncentrationer som uppmätts under platsundersökningarna.***

**SKB:s svar** (svar lämnat i juni 2013)

Svar på denna fråga lämnas i bilaga 2. Svaret är en komplettering till SKB:s ansökan om slutförvaring av använt kärnbränsle.

#### ***6. Redovisa betydelsen av jämförelser mellan matrisvattensammansättning och grundvattensammansättning för möjligheten att förutsäga långsiktig utveckling av grundvattnets jonstyrka.***

*SKB har gjort omfattande studier av matrisvatten med fokus på kloridhalt och isotopsammansättning bl.a. för att utröna skillnader mellan matrisvattensammansättning och grundvattensammansättning på motsvarande djup i berggrunden (avsnitt 4.8; Laaksoharju m.fl. 2008). SSM anser att denna information kan vara värdefull vid beräkning av den långsiktiga utvecklingen av jonstyrka (avsnitt 7, Salas m.fl., 2010) och önskar därför att SKB kommenterar betydelsen av denna information för bedömning av grundvattnets jonstyrka under en hel glaciationscykel.*

**SKB:s svar** (svar lämnat i juni 2013)

SKB har inkluderat matrisporvatten i alla modelleringar av grundvattensammansättning. Den framräknade sammansättningen av dagens matrisporvatten och sprickvatten har kvalitativt jämförts med informationen i Laaksoharju et al. (2008), se avsnitt 6.1 i Follin et al. (2007) och avsnitt 5.3.3 i Follin (2008).

Nedan redogörs för hanteringen av matrisporvatten i SR-Site.

I SR-Site adresseras saltutvecklingen i grundvattnet i berg över långa tidsrymder i den hydro-geologiska modelleringen, se Joyce et al. (2010) och Vidstrand et al. (2010). I dessa rapporter simuleras grundvattenflöde och salttransport, och hänsyn tas till diffusionsutbyte mellan matrisen och sprickorna.

I avsnitt 7.2 i Selroos och Follin (2010) diskuteras det diffusiva kloridutbytet mellan mobilt grundvatten (sprickvatten) och immobilt grundvatten (matrisvatten) på förvarsnivå baserat på Ficks lag i en dimension.

De utförda modellberäkningarna visar att den låga frekvensen av vattenförande sprickor på förvarsnivå i Forsmark (se tabell 5-3 i Follin 2008) medför att avståndet mellan vattenförande sprickor är flerfald gånger större än det diffusiva penetrationsdjupet som motsvarar en tidsperiod på 10 000–20 000 år.

Av det vänstra diagrammet i Figur 7-2 i Selroos och Follin (2010) framgår att laboratorieanalyser utförda på sprickvatten och matrisvatten tagna i samband med borring (Waber et al. 2009, avsnitt 7, sammanfattade i Laaksoharju et al. 2008, avsnitt 4.8) indikerar att matrisvattnet förefaller ha lite lägre kloridhalt än sprickvattnet på förvarsnivå (–465 m), vilket inte motsägs av de numeriska simuleringarna. På större djup förefaller det två typerna av vattenprover var mer lika med avseende på kloridhalt, vilket tolkas som att influensen av glacialt vatten och meteoriskt vatten på sprickvattnets kloridhalt här är lägre än på förvarsnivå. Detta kan bero på strukturgeologiska förhållanden, lägre transmissivitet hos sprickorna och/eller högre densitet hos sprickvattnet.

Betydelsen av matrisvattnets salinitet (salthalt, total halt av lösta ämnen, TDS) för jonstyrkan hos grundvattnet i sprickorna som når deponeringshål har redovisats i SR-Sites huvudrapport i två avsnitt: 10.3.6 (tempererade klimatförhållanden) och 10.4.6 (periglaciala och glaciala klimatförhållanden), sidorna 351 respektive 505 (sidangivelsen gäller den svenska upplagan). Mera specifikt har man undersökt med en analytisk modell om salt i matrisvattnet kan dämpa utspädningen som annars skulle ske med nedträngningen av sötvatten, det vill säga meteoriskt vatten respektive glacialt smältvatten, under långa tidsperioder. Infiltration av sötvatten längs de inströmningsvägar som har sitt ursprung nära markytan inom modellområdet studerades med några förenklade antaganden i den analytiska modellen. Man antog att vattnets salthalt i bergmatris och sprickor är i jämvikt när simuleringarna startar och att den enda process som motverkar nedträngningen av den meteoriska vattenfronten är det matrisvatten som diffunderar ut i sprickorna längs flödesvägarna på grund av matrisvattnets högre salthalt. Flödesvägsmodellen utesluter processer som blandning och dispersion. För varje deponeringshål beräknades den tid som krävs för att sprickvattnets salthalt ska sjunka under tio procent av sin ursprungliga koncentrationsnivå.

- För varianten med global uppvärmning antogs en salthalt på 10 g/L som ett rimligt värde för jämvikten mellan sprickgrundvattnet och matrisporvattnet när simuleringarna startade (se figur 6-2 i Salas et al. 2010)<sup>1</sup>. Det inträngande meteoriska vattnet antogs ha en salthalt på 0 g/L, vilket inte är helt realistiskt (sannolikt högre än 0 g/L), men bedömdes kunna fungera för att illustrera matrisdiffusionsprocessen. Resultaten från denna förenklade analytiska modell var att något mer än två procent av deponeringshålen får en reduktion till tio procent av vattnets ursprungliga salthalt, det vill säga till < 1 g/L, för den studerade analysperioden, se figur 10-32 i SR-Sites huvudrapport.

<sup>1</sup> Man bör notera att nuvarande kloridhalt i sprickorna på platsen är mellan ~4,5 och ~6 g/L (figur 4-1 i Laaksoharju et al. 2008). Analyserna av kloridhalter i matrisporvattnet är mellan ~2 och ~6 g/L (figur 4-27 i Laaksoharju et al. 2008). Dessa kloridhalter motsvarar en salthalt på mellan ~4 och ~10 g/L (se korrelationen mellan klorid och salinitet i figur 4-2 i Salas et al. 2010).

- För varianten med glaciala klimatförhållanden antogs en salthalt på 3 g/L som ett rimligt värde för jämvikten mellan sprickgrundvattnet och matrissporvattnet när simuleringarna startade. Naturligtvis kan man inte veta salthalten i grundvattnet strax innan glaciationen. Det valda värdet togs från modellresultaten från slutet av den temperade perioden, se figurer 6-2 och 7-6 i Salas et al. (2010). Det inträngande glaciala smältvattnet antogs ha en salthalt på 0 g/L, vilket torde vara realistiskt. Resultaten av denna förenklade analytiska modell redovisas för två isfrontlägen i figurerna 10-139 och 10-140 i SR-Sites huvudrapport. Här får också något mer än två procent av deponeringshålen en reduktion till tio procent av vattnets ursprungliga salthalt för den studerade analysperioden.

I SR-Sites huvudrapport, avsnitt 12.2.2 ”Kvantitativ beskrivning av förloppen som leder till advektion i bufferten”, sidan 584, antas att sprickvattnet har en sammansättning som gynnar erosion under 25 procent av den en miljon år långa analysperioden. För basfallet innebär detta att bentoniterosion fås för 0,32 procent av 6 000 kapselpositioner under en miljon år (motsvarar 19 kapselpositioner, se figur 12-3 i SR-Site). De kapselpositioner, som berörs av bentoniterosion, finns bland de två procent deponeringshål som får grundvatten med reducerad salinitet enligt den analytiska modellen som refereras ovan. De andra deponeringshål som får reducerat salthalt har antingen grundvattenhastigheter eller sprickaperturer som inte leder till bentoniterosion.

Slutsatsen är därför att salinitet i matrissporvattnet är en viktig komponent för förvarets geokemiska stabilitet, men man kan ändå inte utesluta att en liten andel av deponeringshålen kan exponeras för reducerad salinitet och bentoniterosion under en relativt stor del av analysperioden.

Med vänlig hälsning

**Svensk Kärnbränslehantering AB**  
Avdelning Kärnbränsleprogrammet

Helene Åhsberg  
Projektledare Tillståndsprövning

## Bilagor

1. **Kalinowski B, 2013.** Betydelsen av mikrobiell sulfatreduktion med organiskt upplöst material (DOC). SKBdoc 1396704 ver 1.0, Svensk Kärnbränslehantering AB.
2. **Puigdomenech I, 2013.** Jämförelser av beräknade haltintervall som funktion av djup i berget med koncentrationer som uppmätts under platsundersökningarna. SKBdoc 1396705 ver 1.0, Svensk Kärnbränslehantering AB.
3. **Auqué L F, Acero P, Gimeno M J, Gómez J, 2013.** Why components that have been measured during the site investigations have been excluded from the SR-Site calculations. SKBdoc 1416882 ver 1.0, Svensk Kärnbränslehantering AB.
4. **Auqué L F, Acero P, Gimeno M J, Gómez J, Puigdomenech I, 2013.** Effects of weathering of silicate minerals and cation-exchange on the geochemical safety indicators during the hydrogeochemical evolution at Forsmark. SKBdoc 1417006 ver 1.0, Svensk Kärnbränslehantering AB.
5. **Joyce S, Woollard H, Marsic N, Sidborn M, 2013.** Future evolution of groundwater composition at Forsmark during an extended temperate period. SKBdoc 1416908 ver 1.0, Svensk Kärnbränslehantering AB.

## Referenser

### *Dokument och referenser i ansökan*

**Follin S, 2008.** Bedrock hydrogeology Forsmark. Site descriptive modelling, SDM-Site Forsmark. SKB R-08-95, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Follin S, Johansson P-O, Hartley L, Jackson P, Roberts D, Marsic N, 2007.** Hydrogeological conceptual model development and numerical modelling using CONNECTFLOW, Forsmark modelling stage 2.2. SKB R-07-49, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Gimeno M J, Auqué L F, Gómez J B, Acero P, 2008.** Water-rock interaction modelling and uncertainties of mixing modelling. SDM-Site Forsmark. SKB R-08-86, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Joyce S, Simpson T, Hartley L, Applegate D, Hoek J, Jackson P, Swan D, Marsic N, Follin S, 2010.** Groundwater flow modelling of periods with temperature climate conditions – Forsmark. SKB R-09-20, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Laaksoharju M, Smellie J, Tullborg E-L, Gimeno M, Hallbeck L, Molinero J, Waber N, 2008.** Bedrock hydrogeochemistry Forsmark. Site descriptive modelling, SDM-Site Forsmark. SKB R-08-47, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Salas J, Gimeno M J, Auqué L, Molinero J, Gómez J, Juárez I, 2010.** SR-Site – hydrogeochemical evolution of the Forsmark site. SKB TR-10-58, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Selroos J-O, Follin S, 2010.** SR-Site groundwater flow modelling methodology, setup and results. SKB R-09-22, Svensk Kärnbränslehantering AB.



**SKB, 2011.** Redovisning av säkerhet efter förslutning av slutförvaret för använt kärnbränsle. Huvudrapport från projekt SR-Site. Svensk Kärnbränslehantering AB.

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

**Waber H N, Gimmi T, Smellie J A T, 2009.** Porewater in the rock matrix. Site descriptive modelling, SDM-Site Forsmark. SKB R-08-105, Svensk Kärnbränslehantering AB.

## Revisionsförteckning

Version	Datum	Revideringen omfattar	Utförd av	Kvalitetssäkrad	Godkänd
2.0	Se sidhuvud	Svar på frågorna 2 och 3 samt bilaga 3-5.	Ignasi Puigdomenech	Se sidhuvud	Se sidhuvud
1.0	2013-06-27	Svar på frågorna 1, 4, 5 och 6 samt bilaga 1 och 2.	Ignasi Puigdomenech	Saida Engström Allan Hedin Olle Olsson	Anders Ström