



Granskningsrapport

NACKA TINGSRÄTT

Vårt datum: 2012-10-29
MMD referens: M1333-11
SKB referens: KTL - Kärnbränsleförvaret
Handläggare: Björn Dverstorp
Diarienummer: SSM2011-1483

Björn Dverstorp, Bo Strömberg, Lena Sonnerfelt, Flavio Lanaro, Jan Linder, Jinsong Liu, Carina Wetzel, Maria Norden, Shulan Xu, Georg Lindgren, Björn Brickstad, Peter Ekström, Richard Sundberg, Mikael

Granskningsgrupp: Kjellberg, Pål Andersson

Författare: Granskningsgruppen (Björn Dverstorp redaktör)

Samråd: Samråd inom GLS samt med berörda enhetschefer.

Fastställt: Ansi Gerhardsson

SSM:s inledande granskning av långsiktig strålsäkerhet i SKB:s ansökan om tillstånd att uppföra, inneha och driva ett slutförvar för använt kärnbränsle i Forsmark

Strålsäkerhetsmyndighetens (SSM) granskning av Svensk Kärnbränslehantering AB:s (SKB) ansökningar är organiserad i fyra delprojekt. I bifogad rapport redovisas det kompletteringsbehov som delprojektet *Slutförvarets långsiktiga strålsäkerhet*, i sin inledande granskning av dessa frågor, har bedömt föreligger i SKB:s ansökan enligt lagen (1984:3) om kärnteknisk verksamhet.



Sammanfattning

Denna rapport sammanfattar resultatet av SSM:s inledande granskning av den långsiktiga strålsäkerheten i Svensk Kärnbränslehantering AB:s (SKB) ansökan om tillstånd enligt lagen (1984:3) om kärnteknisk verksamhet att uppföra, inneha och driva ett slutförvar för använt kärnbränsle i Forsmark. Rapporten har tagits fram av SSM:s delprojekt för granskning av den långsiktiga strålsäkerheten (GLS) och utgör ett av flera underlag för SSM:s yttrande till Mark- och miljödomstolen (MD) den 1 november 2012.

SSM bedömer efter den inledande granskningsfasen att det finns behov av förtydliganden och kompletterande information för att SSM ska kunna göra en bedömning av hur ansökan uppfyller SSM:s strålsäkerhetskrav. Kompletteringsbehoven omfattar följande huvudområden i SKB:s säkerhetsredovisning: i) metoder för att göra säkerhetsanalys, ii) teknisk genomförbarhet, iii) kriticitetsfrågor, iv) förvarsmiljöns utveckling, v) faktorer som leder till att kapslar går sönder, vi) konsekvenser av att kapslar går sönder samt vii) kvalitetssäkring.

SSM har även identifierat behov av förtydligade planer för hantering av vissa frågor i SKB:s fortsatta arbete med att utveckla ett slutförvar för använt kärnbränsle. Dessa kompletteringar omfattar bl.a. demonstration och utvärdering av deponeringsteknik, långtidsförsök och monitorering samt vidareutveckling av konstruktionsförutsättningar. SSM vill här understryka att det, utöver de kompletteringsområden som nämns i denna rapport, kan uppkomma ytterligare behov av förtydliganden och kompletteringar i det fortsatta granskningsarbetet.

Efter att ha genomfört den inledande granskningen bedömer delprojekt GLS att SKB:s redovisning kring långsiktig strålsäkerhet är av tillräcklig kvalitet för att motivera en övergång till nästa fördjupade fas av SSM:s granskning och ge SKB möjlighet att komplettera sin ansökan. Det är dock för tidigt att i detta skede göra bedömningar av kravuppfyllelse mot SSM:s strålsäkerhetskrav.

De kompletteringar som redan har begärts av SSM gällande kapselns förmåga att innesluta bränslet bedöms av delprojekt GLS vara av väsentlig karaktär för bedömning av dels kapselbrott enligt korrosionsscenarioet, dels kapselbrott enligt lastscenarioet för isostatiska tryck.



Innehåll

1	Inledning.....	5
1.1	SKB:s tillståndsansökan och KBS-3-metoden.....	5
1.2	SSM:s förberedelser.....	5
1.3	SSM:s kravbild	5
2	Genomförande av granskningen.....	6
3	Strukturering av gransknings- och kompletteringsfrågor	7
3.1	Kompletteringar och förtydliganden.....	7
3.2	Frågor kopplade till tillståndsansökan respektive SKB:s fortsatta arbete med att utveckla ett slutförvar för använt kärnbränsle	7
3.3	Gruppering inom säkerhetsanalysen.....	8
4	Granskningsfrågor och kompletteringar kopplade till säkerhetsredovisningen i tillståndsansökan.....	9
4.1	Metodik för säkerhetsanalys	9
4.2	Teknisk genomförbarhet och det initiala tillståndet efter förslutning.....	9
4.3	Kriticitet.....	10
4.4	Slutförvarsmiljöns utveckling under de första 1000-tals åren	10
4.4.1	Den torra bergmiljön.....	10
4.4.2	Enskilda positioner med höga vattenflöden.....	11
4.5	Slutförvarsmiljöns långsiktiga utveckling	11
4.6	Inneslutning av det använda kärnbränslet.....	12
4.6.1	Kapselbrott orsakad av korrosion	12
4.6.2	Kapselbrott orsakad av isostatiska laster	13
4.6.3	Kapselbrott orsakad av skjuvlaster	13
4.7	Konsekvensanalys av kapselbrott	14
4.7.1	Utveckling av närområdet efter att kapselbrott inträffat.....	14
4.7.2	Radionuklidtransport och dosberäkningar	14
4.8	Kvalitetssäkring	15
5	Granskningsfrågor och kompletteringar som kopplar till uppförande- och driftfaserna för ett slutförvar.....	16
5.1	Demonstration och utvärdering av deponeringsteknik och uttag av deponeringstunnlar.....	16
5.2	Optimering av slutförvarsdjup	16
5.3	Verifierande tester och mätningar av slutförvarsmiljön samt de tekniska barriärernas säkerhetsfunktioner.....	17
5.4	Vidareutveckling av konstruktionsförutsättningar för slutförvaret.....	17
6	Slutsatser.....	18
7	Referenser.....	18



Bilaga 1. Hittills begärda kompletteringar av SKB:s ansökan om slutförvaring av använt kärnbränsle	20
Bilaga 1a. Dnr SSM2011-2426-16 Begäran om komplettering av ansökan om slutförvaring av använt kärnbränsle – kopparkorrosion	21
Bilaga 1b. Dnr SSM2011-2426-57 Begäran om komplettering av ansökan om slutförvaring av använt kärnbränsle – degraderingsprocesser för kapseln	23
Bilaga 1c. Dnr SSM2011-2426-58 Begäran om komplettering av ansökan om slutförvaring av använt kärnbränsle – kapselns mekaniska integritet.....	28
Bilaga 1d. Dnr SSM2011-2426-59 Begäran om komplettering av ansökan om slutförvaring av använt kärnbränsle – kontroll och provning för fastställande av kapselns initialtillstånd	32
Bilaga 1e. Dnr SSM2011-2426-60 Begäran om komplettering av ansökan om slutförvaring av använt kärnbränsle – tillverkningsaspekter för ingående delar i kapseln	35
Bilaga 1f. Dnr SSM2011-2426-63 Begäran om komplettering av ansökan om slutförvaring av använt kärnbränsle – frågor om kriticitet	38
Bilaga 1g. Dnr SSM2011-2426-68 Begäran om komplettering av ansökan om slutförvaring av använt kärnbränsle – inverkan av vätgas på bränsleupplösning.....	40

1 Inledning

Denna rapport sammanfattar resultatet av SSM:s inledande granskning av den långsiktiga strålsäkerheten hos Svensk Kärnbränslehantering AB:s (SKB) ansökan om tillstånd enligt lagen (1984:3) om kärnteknisk verksamhet att uppföra, inneha och driva ett slutförvar för använt kärnbränsle i Forsmark. Rapporten har tagits fram av SSM:s delprojekt för granskning av den långsiktiga strålsäkerheten (GLS) och utgör ett av flera underlag för SSM:s yttrande till Mark och miljödomstolen (MD) den 1 november 2012.

1.1 SKB:s tillståndsansökan och KBS-3-metoden

Den 16 mars 2011 lämnade SKB in tillståndsansökningar i enlighet med kärntekniklagen och miljöbalken om att få bygga ett slutförvar i Forsmark i enlighet med KBS-3-metoden. Metoden bygger på att innesluta använt kärnbränsle i ett system av passiva tekniska barriärer som placeras i kristallint urberg på ca 500 m djup. Det använda kärnbränslet placeras i kapslar med en insats av segjärn för den mekaniska hållfastheten och ett 5 cm tjockt lager av koppar som korrosionsbarriär. Varje kapsel är tänkt att placeras i cylindriska deponeringshål som borrar i golvet på deponeringstunnlar och varje kapsel omges av ett ca 30 cm tjockt lager av förkompakterad bentonitlera. Deponeringstunnlarna ska successivt återfyllas med lera och förseglas med pluggar.

1.2 SSM:s förberedelser

SSM och de tidigare myndigheterna SKI och SSI har förberett sig under mer än 25 års tid för tillståndsprövningen av ett slutförvar för använt kärnbränsle, dels genom att följa och granska SKB:s utvecklingsarbete, dels genom att bygga upp en oberoende expertkompetens. Granskningsarbetet har förutom de återkommande granskningarna av SKB:s program för forskning, utveckling och demonstration omfattat granskningar av en serie preliminära säkerhetsanalyser varav granskningen av SR-Can [1] är den mest aktuella. SSM har även ingående följt och utvärderat SKB:s platsundersökningar med stöd av två internationella expertgrupper INSITE [2] och OVERSITE [3]. Dessa aktiviteter har gett SSM en bra insikt i vilka frågor som är centrala i den pågående tillståndsprövningen. Samtidigt är det nödvändigt att göra en förutsättningslös granskning med hänsyn till de unika frågeställningarna och extrema tidsperspektiven på hundratusentals år som är förknippade med prövningen av ett kärnbränsleförvar. Sverige kan också bli det första land i världen som tar ställning till en sådan tillståndsansökan.

1.3 SSM:s kravbild

Det slutliga målet med SSM:s tillståndsprövning är att bedöma om SKB:s föreslagna slutförvarssystem uppfyller tillämpliga strålsäkerhetskrav och att ta fram ett yttrande med förslag till beslut och eventuella tillståndsvillkor till regeringen samt ett remissyttrande till Mark- och miljödomstolen. SSM:s bedömningar av SKB:s ansökan utgår från de lag- och föreskriftskrav som är tillämpliga för den långsiktiga strålsäkerheten hos ett slutförvar för använt kärnbränsle. Dessa redovisas mer i detalj i granskningsplanen för delprojekt GLS [4]. De viktigaste frågorna handlar dock om uppfyllelse av de strålskydds- och säkerhetskrav som finns i SSM:s slutförvarsföreskrifter [5,6]. En annan viktig fråga, där det inte finns lika tydliga bedömningskriterier, rör bedömning av genomförbarhet och vilka delar av SKB:s säkerhetsredovisning som behöver vara fullständig i detta skede och vad som kan hanteras i kommande steg i en eventuell fortsatt tillståndsprövningsprocess.

Säkerhetsredovisningen för ett slutförvar omfattar analyser av både naturliga och tekniska system under hundratusentals år in i framtiden och är av nödvändighet mycket omfattande och multidisciplinär. För att kunna fokusera granskningen på de viktiga frågorna är det nödvändigt att bedöma vilken betydelse enskilda osäkerheter och brister i redovisningen, som har identifierats i den inledande granskningsfasen, har för bedömningen av uppfyllelse mot SSM:s strålsäkerhetskrav. Denna typ av helhetsbedömningar kommer att

vara en central del av nästa steg, huvudgranskningsfasen, och kräver dels en helhetsförståelse av hur enskilda komponenter eller frågor påverkar slutförvarssystemets funktion och utveckling, dels en oberoende kunskap och erfarenhet om metoder för säkerhetsanalys.

2 Genomförande av granskningen

SSM:s granskning är indelad i en inledande granskningsfas, en huvudgranskningsfas samt en rapporteringsfas, se även GLS projektplan [4]. Delprojekt GLS:s inledande granskning omfattade en övergripande granskning av SKB:s huvudrapport för den långsiktiga strålsäkerheten SR-Site [7] och de viktigaste stödjande referenserna. Syftet med den inledande granskningsfasen var att göra en övergripande bedömning av kvaliteten och fullständigheten på SKB:s redovisning, att identifiera tekniska och vetenskapliga områden som kräver en fördjupad granskning i huvudgranskningsfasen samt att identifiera behov av kompletterande information från SKB. SSM behöver även ta ställning till om SKB:s ansökan är av tillräcklig kvalitet för att gå över i den fördjupade huvudgranskningsfasen. Den inledande granskningen genomfördes under perioden mars 2011 till oktober 2012.

Den inledande granskningen inom delprojekt GLS har genomförts av SSM:s utredare, dels genom en omfattande dokumentgranskning inom olika expertområden, dels genom oberoende kontrollberäkningar av SKB:s radionuklidtransport och dos- och riskberäkningar. SSM har även tagit stöd av ett drygt trettiotal nationella och internationella externa experter.

De externa experterna har fått i uppdrag att granska olika delar av SKB:s säkerhetsredovisning SR-Site och stödjande referenser. Vissa experter fick i uppdrag att granska väl avgränsade frågor eller rapporter medan andra granskat helheten i SR-Site. Dessutom är det visst överlapp mellan de olika granskningsuppdragen. Samtliga experter har fått en liknande uppdragsbeskrivning för sina respektive granskningsområden som inkluderar att göra en övergripande kvalitetsbedömning, att identifiera frågor som kräver en fördjupad granskning i huvudgranskningsfasen och att lista behov av kompletterande information från SKB. De externa experternas granskning lämnades till SSM under juni 2012 och har fram till den 1 november publicerats i form av engelskspråkiga rapporter i SSM:s rapportserie, s.k. Technical Notes (se Publikationer på SSM:s web-plats: www.ssm.se). De synpunkter som framförs i dessa rapporter står för respektive extern expert. Under sommaren 2012 tog SSM, med stöd av tre externa experter, fram en första sammanställning av samtliga Technical Notes, som underlag för SSM:s fortsatta arbete med att ta fram en rapport för den inledande granskningsfasen.

Parallellt med SSM:s egen granskning har OECD:s kärnenergibyrå (NEA) organiserat en oberoende internationell expertgranskning av den långsiktiga strålsäkerheten i SKB:s tillståndsansökan. Granskningen begärdes av den svenska regeringen men ansvaret att ta fram en uppdragsbeskrivning ("*Terms-of-reference*") delegerades till SSM [8]. Granskningen påbörjades våren 2011 med möten med SSM och SKB. Under hösten 2011 genomfördes en utväxling av skriftliga frågor och svar mellan expertgruppen och SKB och avslutades med att den internationella expertgruppen höll en muntlig utfrågning av SKB i Stockholm i december. I juni 2012 presenterade den internationella expertgruppen sin slutrapport [9] på två möten i Stockholm respektive Gimo.

Slutligen genomfördes under 2011-2012 en nationell remiss där SKB:s tillståndsansökan skickades till ett antal organisationer inklusive miljö- och intresseorganisationer, berörda kommuner och länsstyrelser, universitet och högskolor samt myndigheter. Remissinstanserna var ombedda att i denna remissomgång fokusera på frågor om fullständighet och kompletteringsbehov. Remissvaren inkom till SSM i juni 2012 och har

därefter sammanställts och kategoriserats för de olika delprojekten i SSM:s tillståndsprovning.

Med stöd av ovanstående underlag tog GLS fram denna rapport som underlag för SSM:s yttrande till Mark- och miljödomstolen den 1 november 2012. SSM har beaktat alla synpunkter som framförts av konsulter och remissinstanser, men SSM:s rapport representerar SSM:s egna bedömningar. Det är också viktigt att poängtera att denna rapport endast ger en översiktlig bild av alla de frågor som granskats i den inledande granskningsfasen. I den fortsatta fördjupade granskningen kommer SSM att gå tillbaka till de olika underlagen för att tillse att alla synpunkter tagits om hand på ett bra sätt.

De förslag till begäran om kompletteringar som översiktligt redovisas i denna rapport kommer att specificeras mer i detalj och skickas till SKB i det fortsatta granskningsarbetet. Syftet med att sammanfatta dem på detta sätt är att ge Mark- och miljödomstolen en bild av de kompletteringsbehov som SSM hittills har identifierat i sin granskning. SSM vill även understryka att det kan uppkomma nya kompletteringsbehov under huvudgranskningsfasen beroende på det fortsatta utfallet av granskningsarbetet.

3 Strukturering av gransknings- och kompletteringsfrågor

3.1 Kompletteringar och förtydliganden

SSM har i sitt tillståndsprovningsprojekt definierat två kategorier av kompletteringsbegäranden. Den första, som benämns ”begäran om förtydligande” avser enklare förtydliganden kring existerande information i ansökan som inte kräver nya analyser eller utredningar. SSM har redan begärt ett antal sådana förtydliganden (handlingarna återfinns under SSM ärende med diarienummer SSM 2011-2426) och dessa tas inte upp i denna rapport.

Den andra kategorin benämns ”begäran om komplettering” och avser frågor som normalt bedöms kräva ytterligare analyser eller utredningar eller att existerande information sammanställs på ett nytt sätt. Delprojekt GLS har under den inledande granskningsfasen redan skickat ett mindre antal sådana begäranden till SKB inom bl.a. kapselområdet.

I kapitel 4 och 5 i denna rapport redovisas översiktligt granskningsområden inom vilka SSM nu bedömt att det krävs ytterligare kompletteringar från SKB. SSM planerar att ta fram mer detaljerade specifikationer av dessa kompletteringsbehov och skicka dessa till SKB under huvudgranskningsfasen. För fullständighetens skull nämns även de frågor där SSM redan begärt in kompletteringar från SKB i denna rapport. Samtliga begäranden om kompletteringar redovisas i sin helhet tillsammans med SKB:s svar under SSM:s ärende med diarienummer SSM 2011-2426, samt på Slutförvarssidan på SSM:s web-plats, efter hand som de kommer in (hittills begärda kompletteringar redovisas i bilaga 1).

3.2 Frågor kopplade till tillståndsansökan respektive SKB:s fortsatta arbete med att utveckla ett slutförvar för använt kärnbränsle

För att underlätta den fortsatta granskningen av olika gransknings- och kompletteringsfrågor har delprojekt GLS här valt att göra en indelning med hänsyn till när i den stegvisa processen de är aktuella. Den första kategorin avser frågor som behöver klaras ut och bedömas i detta steg av tillståndsprovningsprocessen för slutförvaret (se kapitel 4). Här ingår principiellt viktiga tekniska och vetenskapliga frågor i SR-Site med

betydelsefull påverkan på säkerhetsanalysens resultat eller teknisk genomförbarhet samt frågor kopplade till kvalitetssäkring, validering av modeller och datahantering.

Den andra kategorin omfattar frågor som inte kan få en fullständig belysning innan ett eventuellt tillstånd medgivits och SKB getts möjlighet att gå vidare med uppförandefasen och detaljundersökningar och, för vissa frågor, driftfasen. Det kan också handla om frågor som kräver demonstration av förvarsteknik och långtidsförsök. Den typ av kompletteringar som ändå kan vara aktuella i detta steg av tillståndsprövningen är mer detaljerade planer på hur dessa frågor ska hanteras och redovisas i SKB:s fortsatta arbete (se kapitel 5).

3.3 Gruppering inom säkerhetsanalysen

Som beskrivits ovan är det nödvändigt att sätta enskilda frågor i perspektiv av säkerhetsanalysen för att kunna bedöma hur de påverkar uppfyllelsen av SSM:s strålsäkerhetskrav. Som ett första steg i denna integrering har GLS gjort en gruppering av de identifierade gransknings- och kompletteringsfrågorna utifrån SSM:s krav på ett slutförvar och den tillhörande säkerhetsredovisningen:

- **Metodik för säkerhetsanalys:** här ingår generella frågor om fullständighet, definitioner av säkerhetsfunktioner, val av scenarier, metoder för känslighets- och säkerhetsanalyser m.m. SSM:s slutförvarsföreskrifter [5,6] innehåller krav på vad som ska ingå i säkerhetsredovisningen.
- **Genomförbarhet och det initiala tillståndet efter förslutning:** här ingår principiellt viktiga frågor om möjligheten att skapa det initialtillstånd som SKB utgår ifrån i sina beräkningar. Det handlar om säkerhetsanalysens trovärdighet och hur SKB har tillämpat SSM:s krav [6] på bästa möjliga teknik.
- **Kriticitetsfrågor:** här ingår frågor om utbränningskreditering och analyser av kriticitet i kapseln. SSM:s allmänna råd till slutförvarsföreskrifterna [5] beskriver vad som bör ingå i säkerhetsredovisningen.
- **Utveckling av slutförvarsmiljön:** avser förståelsen av hur de geovetenskapliga förhållandena i slutförvaret utvecklas på kort och lång sikt. Här ingår frågor om grundvattenströmning, grundvattenkemi, bergets stabilitet och deformationer m.m. av betydelse för slutförvarets funktion.
- **Inneslutning:** Denna grupp omfattar de scenarier och förhållanden som kan leda till att kapslar går sönder. Här ingår kapselbrott pga. korrosion, isostatiska laster och skjuvlaster. Dessa frågor kopplar bl.a. till SSM:s föreskriftskrav [5] på barriärsystemet.
- **Konsekvensanalys av kapselbrott:** här ingår utvecklingen av skadade kapslar och konsekvenser av att radioaktiva ämnen läcker ut i berget och biosfären. SSM:s krav på skydd av människa och miljö anges i föreskrifterna [6].
- **Kvalitetssäkring:** kvalitetsfrågor ingår i samtliga granskningsområden. Här görs en sammanställning av dessa observationer om kvalitet på SKB:s ansökan. Krav på kvalitetssäkring finns i SSM:s slutförvarsföreskrifter [5,6] och den generella föreskriften för kärntekniska anläggningar [10].

Ovanstående struktur har använts som utgångspunkt för att strukturera de olika granskningsfrågorna i kapitel 4.

4 Granskningsfrågor och kompletteringar kopplade till säkerhetsredovisningen i tillståndsansökan

4.1 Metodik för säkerhetsanalys

Detta granskningsområde avser de metoder SKB använt för att utvärdera och redovisa slutförvarets egenskaper, framtida utveckling och beräkningar av konsekvenser för människa och miljö. Här ingår generella metodfrågor t.ex. systemanalys, allokering av säkerhetsfunktioner, motivering av kriterier för säkerhetsindikatorer, val av scenarier, osäkerhets- och känslighetsanalyser.

En viktig del av SKBs säkerhetsanalys utgörs av probabilistiska beräkningar. SSM har identifierat frågeställningar angående den metodik som använts för dessa, som behöver belysas ytterligare.

SSM bedömer att det finns ett behov av kompletterande information inom följande områden:

- Användningen av konvergenskriterier för att bestämma hur många realiseringar som behöver användas i olika probabilistiska beräkningar

Systematiskt genomförda känslighetsanalyser är viktiga för att illustrera hur slutförvarets funktion och strålsäkerhet påverkas av olika parameterar och osäkerheter. SSM bedömer att det finns ett behov av kompletterande information inom följande områden:

- Analys och propagering av osäkerheter kopplade till kapselbrott.

4.2 Teknisk genomförbarhet och det initiala tillståndet efter förslutning

SKB:s antaganden om genomförbarhet och initialtillstånd ligger till grund för analysen av den långsiktiga säkerheten och är därför viktiga granskningsfrågor för SSM. De frågor som granskats under detta område omfattar bergets initialtillstånd och tillverkning, hantering samt deponering av tekniska barriärer. Här ingår toleransintervall för avvikelser hos de tekniska barriärerna, deponeringshål och tunnlar liksom den hastighet med vilken deponeringssekvensen kan genomföras, med hänsyn till grundvatteninströmningen och eventuell spjälkning i bergväggarna av deponeringshålen.

SSM bedömer att det finns ett behov av kompletterande information inom följande områden:

- Planer för tillämpning av kvalitetskontroll vid tillverkning, transport, lagring och installation av kapslar, buffert och återfyllnad. Kvalificeringsprocessen för de ingående provningssystemen för att tillförlitligt kunna detektera och karaktärisera defekter i kapseln. Kvalificeringsprocesser för materialval, tillverkning och provning av buffert- och återfyllnadsmaterialet bör även specificeras.
- Kritiska faktorer för att kunna uppnå konstruktionsförutsättningar för kapseln, såsom detektering av potentiell bildning av oxider vid svetsningen.
- Utförligare redovisning av bränslerester från anläggningen i Studsvik som kommer att inkapslas i sju separata kopparkapslar.
- Segregering av molybden-teknetium-rutenium-rodium-palladium (s.k. 4d-metaller) som legering i bränslet samt dess påverkan på redox-status för uran i bränslet.
- Kritiska faktorer för att kunna uppnå konstruktionsförutsättningar för val av deponeringspositioner och godkännande av deponeringshål.

4.3 Kriticitet

SKB anger i SR-site att kriticitetssäkerhetsanalyser innefattar användande av utbränningskreditering. Tillämpning av utbränningskreditering i kriticitetssäkerhetsanalyser är under utveckling och har i Sverige endast använts i begränsad omfattning. Mot denna bakgrund anser SSM att SKB bör redovisa principerna för hur utbränningskreditering kommer att tillämpas. Dessutom anser SSM att SKB ytterligare bör redovisa metodiken för identifiering av händelser och scenarier som kan leda till kriticitet samt konsekvensen av kriticitet för slutförvaret.

SSM bedömer att det finns ett behov av kompletterande information inom följande områden:

- Utökad redovisning för användning av utbränningskreditering
- Systematisk identifiering av händelser och scenarier med avseende på risk för kriticitet i slutförvaret
- Beskrivning av konsekvenserna vid kriticitet i slutförvaret.

4.4 Slutförvarsmiljöns utveckling under de första 1000-tals åren

4.4.1 Den torra bergmiljön

En specifik egenskap hos platsen Forsmark är den relativt torra miljön i bergvolymerna på förvarsdjup med få vattenförande sprickor. Denna miljö skiljer sig från en normalsprickig berggrund som är mera typisk för andra platser i Sverige som SKB undersökt. Så som flera remissinstanser har påpekat är det en viktig innebörd att återmättnadsförloppet för såväl bergvolymerna i anslutning till förvaret, som för buffert och återfyllda deponeringstunnlar, blir mera utdraget i tiden för tiden efter förslutning av förvaret. Enligt SKB:s beräkningar kan tidspannet vara tusentals år. Detta innebär bl.a. förekomst av en blandad gas- och vattenfas under lång tid samt att säkerhetsfunktionerna för buffert och återfyllnad kopplade till svälltryck inte kan förväntas vara uppfyllda under denna inledande fas av förvarets utveckling. Enligt SSM:s bedömning behövs kompletterande analyser av tidsförloppet som belyser konceptuella osäkerheter och förenklingar. Vissa kompletteringar av SKB:s i huvudsak generiska analyser kan behövas som enbart fokuserar på den spännvidd av flödesförhållanden som är typisk för berggrunden vid Forsmark. SSM:s föreskrifter [6] ställer krav på kvantitativa analyser och utförliga beskrivningar av förvarets utveckling för de första 1000 åren, vilket innefattar tidsperioden för återmättnadsförloppet.

Den relativt torra miljön förväntas påverka bl.a. värmetransport och porvattenkemi vilket i sin tur är kopplat till effekter på de tekniska barriärerna. En mer betydande termisk spjälkning av deponeringshållens bergväggar kan uppkomma p.g.a. den långa tiden till dess att ett mottryck från bufferten har utvecklats, vilket påverkar det långsiktiga lokala grundvattenflödet. Även om dessa typer av påverkan inte i sig kan orsaka kapselbrott och spridning av radioaktivitet under återmättnadsfasen föreligger risk för irreversibla effekter som påverkar den fortsatta utvecklingen. Dessa effekter är av relevans både för inverkan av mekaniska laster på kopparkapseln liksom för korrosionsförloppet (se avsnitt 4.6).

SSM bedömer att det finns ett behov av kompletterande information inom följande områden:

- Frågor kopplade till tillämpbarhet, betydelse av konceptuella osäkerheter, liksom dataanvändning för SKB:s matematiska analys av långsamma återmättnadsförlopp för buffert, återfyllning och omgivande berg

- Utveckling av den grundvattenkemiska miljön i en omättad buffert som grund för att definiera en spännvidd för korrosionsmiljön. Detta gäller t.ex. koncentrationer av syre, sulfid, reaktiva geogaser samt salthalt. Halterna kan t.ex. påverkas av en förhöjd mikrobiell aktivitet i samband med konstruktions- och driftfasen samt mikrobiell aktivitet i en omättad buffert innan fullt svälltryck har utvecklats
- Inverkan av en heterogen återmättnad och hur detta påverkar förslutning av spalter samt utveckling av det lokala svälltrycket och mättnadsgrader i olika delar av bufferten
- Termisk påverkan på buffertmaterial under omättade betingelser i relevanta temperaturintervall

4.4.2 Enskilda positioner med höga vattenflöden

Även om betingelserna på försvarsdjup karaktäriseras av en relativt torr miljö med få vattenförande sprickor kan det finnas enskilda positioner i berget med höga vattenflöden och motsatt problematik jämfört med avsnitt 4.4.1, dvs. att bufferten påverkas av höga snarare än låga vattenflöden. Det viktigaste fenomenet som SKB benämner ”*piping-erosion*” innebär att bentonitpartiklar spolats bort av grundvattenflöden längs deponeringshålets rand samt inuti pelletsfyllningen innan bufferten har utvecklat ett svälltryck som tätar deponeringshålet. Även om fenomenet inte helt kan uteslutas anser SKB att det kan begränsas genom att undvika olämpliga placeringar av deponeringshål samt att begränsa tiden för hydraulisk påverkan genom att relativt snabbt försegla aktuell deponeringstunnel.

SSM bedömer att det finns ett behov av kompletterande information inom följande områden:

- Förtydligande kring SKB:s användning av ackumulerat flöde som kriterium för gränssättning av ”*piping-erosion*”. Det finns frågetecken kring hur ackumulerat flöde kan mätas samt hur andra faktorer som bentonitens egenskaper och grundvattnets salthalt beaktas. Det behöver också belysas hur ett eventuellt långt driftstopp i en deponeringstunnel påverkar ”*piping-erosion*”.

4.5 Slutförvarsmiljöns långsiktiga utveckling

Efter de första tusentals åren minskar successivt inverkan av de termiska, hydrauliska och kemiska gradienter som inledningsvis har en stor inverkan på bergets och de tekniska barriärernas utveckling. Slutförvarsmiljöns utveckling kommer så småningom istället att domineras av de förväntade klimatförändringarnas inverkan. Enligt SKB:s huvudscenario, baserad på den senaste Weichselistiden, är det i huvudsak den glaciala fasen som har betydelse för den långsiktiga säkerheten med perioder av förhöjda laster och vattentryck, inflöde av glaciala smältvatten och höga hydrauliska gradienter (förhöjd risk för stora jordskalv beskrivs i avsnitt 4.6.3). Perioder av permafrost anser SKB vara mindre betydelsefulla eftersom de inte förväntar sig att permafrosten når försvarsdjup. SSM:s föreskrifter [6] medger förenklingar vad gäller hantering av klimatutveckling, men osäkerheter behöver belysas med alternativa klimatutvecklingar samt känslighetsanalyser. SKB har som en alternativ utveckling analyserat mycket långa perioder av tempererade betingelser orsakade av människans utsläpp av växthusgaser (global uppvärmning).

SSM bedömer att det finns ett behov av kompletterande information inom följande områden:

- Osäkerheter i hydrogeologiska beräkningar som härrör från t.ex. kalibrering, mätmetoder och konceptuella modeller
- Förändringar i grundvattenflödesfältet under istider och perioder med permafrost

- Vissa frågor kring långsiktig geokemisk utveckling av bentonit
- Interaktion mellan bentonit och korrosionsprodukter från koppar
- Utveckling av sulfidhalt under en klimatcykel med beaktande av löst organiskt material i grundvatten som kan bidra till mikrobiell sulfatreduktion
- Utveckling av grundvattnets salthalt under en klimatcykel som grund för bedömning av erosion av buffertmaterial. Analys av osäkerheter kopplade till uteslutna processer samt till definition av typvattensammansättningar, särskilt inverkan av den djupa grundvattenkomponenten
- Utveckling av grundvattenkemi för det alternativa fallet global uppvärmning med en mera omfattande långsiktig inverkan av meteoriska vatten. Viktiga grundvattenkemiska variabler är t.ex. salthalt och redoxpotential
- Analys av maximalt permafrostdjup med beaktande av erfarenheter från ”Greenland Analoge Project” (GAP)
- Redovisning av osäkerhetsmarginaler i referensklimatekurvan
- En samlad redovisning av framtagandet av in situ bergspänningar och bergspänningarnas framtida utveckling
- Omfattning av den glaciala erosionen av markytan med hänsyn till lokala förhållanden i Forsmark
- Analys av den långsiktiga degraderingen av deponeringstunnlar, med hänsyn tagen till bergförstärkningar och tätning, och deras påverkan på bergstabilitet och grundvattenflödesförhållanden.

4.6 Inneslutning av det använda kärnbränslet

4.6.1 Kapselbrott orsakad av korrosion

SKB har identifierat korrosion av kopparkapslar som en process där kapslarna kan förlora sin förmåga att helt undvika läckage av radioaktiva ämnen. SKB baserar sin analys av kopparkorrosion dels på vad som händer då syrgas finns närvarande, dels på hur kopparkorrosion sker då syrgas inte finns närvarande. Tidsmässigt dominerar kopparkorrosion då syrgas inte finns närvarande runt kapslarna. Under denna tidsperiod begränsas kopparkorrosion enligt SKB av masstransport av sulfid löst i grundvattnet.

SSM:s inledande granskning har identifierat ett antal oklarheter avseende SKB:s redovisning av detta scenario. Speciellt gäller detta a) otillräckligt beskrivna korrosionsprocesser för koppar både under oxiderande såväl som reducerande förhållanden b) buffeterosion c) platsspecifik lång återmättnadstid för buffert och d) utveckling av den geokemiska och hydrologiska slutförvarsmiljön.

SSM bedömer att det finns ett behov av kompletterande information inom följande områden:

- Faktorer och processer som påverkar den kemiska erosionen av buffert-material med särskild hänsyn till reologiska egenskaper hos natrium- och kalcium-bentonit med låg densitet. I detta sammanhang bör även den geometriska fördelningen av buffertmaterial efter erosion beaktas
- Faktorer och processer som påverkar möjliga korrosionsreaktioner och korrosionshastigheter för kopparkapslar under oxiderande och reducerande miljö för olika mättnadsnivåer av bufferten.

Bedömningen av korrosionsfallet beror dessutom på utvecklingen av den omgivande miljön som finns närmare beskriven i avsnitt 4.4–4.5. Områden av betydelse för korrosionsfallet inom vilka kompletteringar efterfrågas är:

- Modellering av grundvattenflöde och sammansättning av grundvatten
- Modellering av långsam och heterogen återmättnad samt homogenisering av buffertmaterial

4.6.2 Kapselbrott orsakad av isostatiska laster

Efter deponering av kapslar, buffert och återfyllnadsmaterial kommer kapslarna långsamt att belastas mekaniskt. SKB analyserar detta belastningsfall både med utgångspunkt från dels ett normalfall där belastning kommer från det svällande buffertmaterialet och tryck från grundvattnet på förvarsdjup och dels under en förhöjd belastning orsakad av ett 3 km tjockt istäcke på ytan under perioder av istid. Baserat på noggrant genomförda experimentella och modelleringstekniska analyser anser SKB att denna typ av kapselbrott kan uteslutas.

Vid SSM:s inledande granskning har det identifierats att kopparkapseln med dess huvudsakliga funktion som korrosionsbarriär även behöver ha tillräckliga plastiska egenskaper för att motstå de mekaniska belastningar som kan inträffa i slutförvaret. Kopparmaterialets plastiska egenskaper antas vara tillräckliga vid snabba deformationsförlopp medan deformationer vid långsam lastpåläggningshastighet är mer svårbedömda. Den valda förvarsplatsen innebär långsamma återmättnadstider av buffertmaterialet vilket innebär att kopparmaterialets deformationsegenskaper vid låga töjningshastigheter blir speciellt viktiga. Eftersom det isostatiska belastningsfallet berör samtliga kapslar bedömer SSM att SKB behöver komplettera ansökan inom detta område.

SSM bedömer att det finns ett behov av kompletterande information inom följande områden:

- Faktorer och processer som kan reducera kopparmaterialets plastiska egenskaper vid låga töjningshastigheter
- Faktorer och processer som påverkar nyttjandegraden av plastiska- och brottseghetsegenskaper för den gjutna insatsen
- Ytterligare beräkningsunderlag från troliga kombinerade belastningsfall innefattande ömsesidig påverkan mellan berg, svällande buffert, kopparkapsel och insats som kan inträffa i slutförvarsmiljön.

4.6.3 Kapselbrott orsakad av skjuvlaster

Ytterligare ett scenario som behandlats av SKB är hur kapseln motstår skjuvrörelser i omgivande berg vilket kan inträffa vid jordbävning. Jordbävningar förväntas huvudsakligen ske i anslutning till framtida istider när inlandsisen växer till eller drar sig tillbaka. Emellertid kan jordbävningar mellan istiderna inte uteslutas vilket även har analyserats av SKB. Risk för termiskt inducerade skalv under den termala fasen kan heller inte uteslutas. Jordbävningar framkallar skjuvrörelser i bergets sprickor. Skjuvrörelsernas storlek beror bl.a. på bergspänningsfältet och sprickornas storlek. Sannolikheten för att skjuvrörelser i berget uppstår på grund av jordbävningar och att deponerade kapslar påverkas genom en skjuvlast har analyserats av SKB genom att postulera att samtliga kapslar håller för en 5 cm stor skjuvrörelse i berget. Blir skjuvrörelsen i berget större än 5 cm anses de kopparkapslar som utsätts för denna rörelse inte längre vara täta.

I SSM:s granskning av detta område har frågor angående framtida jordbävningsfrekvenser och magnituder på jordbävningar identifierats som viktiga för SSM:s bedömning av konsekvensen av detta scenario. Dessutom anses att konsekvenser av skjuvrörelser i berget på barriärsystemet ytterligare bör beskrivas.

SSM bedömer att det finns ett behov av kompletterande information inom följande områden:

- Beräkningar av sannolikhet, magnitud och frekvens för värmeinducerade skalv
Faktorer och processer som kan påverka nyttjandegraden av plastiska- och brottseghetsegenskaper för den gjutna insatsen
- Faktorer och processer som kan påverka skadetålighetsanalysen för den gjutna insatsen
- Faktorer och processer som påverkar modellering av skjuvlastfallet inkluderande interaktion mellan berg, buffert, kopparkapsel och gjuten insats
- Ytterligare beräkningsunderlag från troliga kombinerade belastningsfall av skjuvlast, isostatisk last, upprepade eller dynamiska laster och hur skadetålighetsanalysen påverkas av dessa typer av belastningar på kapseln.

4.7 Konsekvensanalys av kapselbrott

4.7.1 Utveckling av närområdet efter att kapselbrott inträffat

Varje potentiell typ av kapselbrott (brott orsakad av korrosion, isostatiskt tryck respektive skjuvrörelser vid jordbävning), inklusive olika varianter av dessa huvudtyper, har sin egen kännetecknade inverkan på fysikaliska och kemiska egenskaper hos de tekniska barriärerna. Mekaniska brott på kapslarna och segjärnsinsatsen medför att vatten tränger in i kapseln och får direktkontakt med det använda kärnbränslet, och följaktligen påbörjas då ett utsläpp av radioaktiva ämnen.

SSM har identifierat faktorer som potentiellt kan påverka de tekniska barriärerna och berget i närområdet av slutförvaret p.g.a. den anaeroba korrosionen av segjärnsinsatsen. Anaerob korrosion av järn leder till bildning av järnkorrosionsprodukter som har betydligt större volym än det ursprungliga järnet, vilket möjliggör en påverkan av de voluminösa korrosionsprodukterna på de tekniska barriärerna som är svår att förutsäga.

SSM bedömer att det finns ett behov av kompletterande information inom följande område:

- Modellering av utsläpp av vätgas från en genomkorroderad kapsel i fallet med advektivt flöde av grundvatten till följd av buffererosion.

4.7.2 Radionuklidtransport och dosberäkningar

Vid ett kapselbrott kommer det använda kärnbränslet i kontakt med det grundvatten som finns i bergets sprickor. Radioaktiva ämnen kan då lösas upp och spridas via berget till den yt-nära miljön. Konsekvensanalysen handlar om att uppskatta vilka konsekvenser för människa och miljö som kan uppstå vid en sådan spridning.

SSM har identifierat viktiga frågeställningar inom konsekvensanalysen rörande bl.a. radionuklidens löslighet under olika grundvattenförhållanden, antaganden och val av parametervärden kopplade till transportförutsättningar i buffert och geosfär samt den komplexa ansatsen för biosfärmodellering. Ytterligare viktiga frågeställningar rör antaganden inom dosuppskattning till människa, samstämmigheten mellan utvärdering av konsekvenser för människa respektive miljö samt behandlingen av det pulsutsläpp som sker av de radionuklider som är lättillgängliga i det använda bränslet och därmed kan spridas i direkt anslutning till kapselbrott. Vidare har viktiga frågeställningar identifierats som rör dokumentation av vilka modeller, parametervärden och antaganden som slutligen använts inom biosfärmodellering och behov av verifiering av använda modeller samt utvärdering av deras parameterisering.

SSM bedömer att det finns ett behov av kompletterande information inom följande områden:

- Motivering av hur pulsutsläpp av lättillgängliga radionuklider hanteras i riskanalysen
- Hanteringen av radon inom konsekvensanalysen.
- Förhållandet att biosfärsobjekten modelleras som homogena objekt oavsett deras storlek i förhållande till radionuklidens förväntade utspridning inom objektet
- Tillämpning av analysverktyg (*ERICA Tool*) för analysen av biologiska effekter i berörda livsmiljöer och ekosystem, t.ex. urval av organismer, radionuklider och exponeringsscenarioer
- Dokumentation av vissa modeller, parametervärden och antaganden som använts inom biosfärsmodellering och dosberäkning
- Presentation och förklaring av resultat för beräknad dos
- Verifiering av använda modeller och beräkningskoder
- Mekanismer för upplösningen av urandioxidmatrisen för ett scenario med sent kapselbrottet i förvarets utveckling.
- Antaganden om radionuklidens löslighet kopplat till grundvattenförhållanden under olika klimatförhållanden

4.8 Kvalitetssäkring

I SSM:s generella föreskrifter för kärntekniska anläggningar [10] framgår att säkerhetsanalyser behöver vara välmotiverade och spårbara med tillämpning av höga kvalitetskrav under själva genomförandet. I de allmänna råden till föreskrifterna om skydd av människa och miljö [6] framgår vidare att det bör finnas en redovisning kring hur kvalitetssäkringsrutiner har tillämpats under arbetet med att ta fram säkerhetsanalysen.

I den inledande granskningsfasen har SKB:s kvalitetsarbete granskats dels genom riktande insatser, dels som en integrerad del av annan sakgranskning. SKB har generellt utvecklat en uppsättning styrande dokument som i huvudsak specificerar de rutiner som behövs för att tillgodose kvalitetskrav. Flera granskare har dock noterat att tillämpningen av dessa rutiner inte har varit helt konsekvent, vilket uppmärksammats under granskning av dataanvändning i säkerhetsanalysen, dokumentation av koder samt rent generellt vad gäller säkerhetsanalysens spårbarhet. SSM avser att fortsätta granskning av kvalitetsfrågor och SKB:s egen kvalitetssäkring av SR-Site under huvudgranskningsfasen, i synnerhet i samband med frågor som har störst betydelse för den långsiktiga säkerheten. I en eventuell fortsättning av SKB:s program inriktat mot uppförande och driftsättning krävs en striktare tillämpning av styrande dokument och kvalitetssäkringsrutiner i samband med säkerhetsanalysarbete med bl.a. definierade tidpunkter för datafrys, mätserier, modellsimuleringar etc. Program för tillämpning och uppföljning av kvalitetssäkring behövs även för att säkerställa de tekniska lösningarnas genomförbarhet samt möjligheten att uppfylla kraven på initialtillståndet.

SSM bedömer att det finns ett behov av kompletterande information inom följande områden:

- SKB:s tillämpning av instruktioner och styrande dokument samt egen kvalitetssäkring
- SKB:s motivering och kvalificering av data för säkerhetsanalysberäkningar (och i tillämpliga fall motivering varför vissa data inte behöver kvalificeras)
- SKB:s dokumentation och validering av koder samt motivering varför dessa koder är tillräckligt tillförlitliga i de sammanhang som de utnyttjas

- SKB:s dokumentation gällande kvalitetssäkring, spårbarhet och representativitet för bergspänningsdata samt bergspänningsmodellen för slutförvarplatsen i Forsmark.

5 Granskningsfrågor och kompletteringar som kopplar till uppförande- och driftfaserna för ett slutförvar

Under denna rubrik har vi samlat frågor som är kopplade till uppförandefasen och driftsfasen med tillhörande detaljundersökningar eller olika typer av långtidsförsök och monitorering. Det kan också handla om demonstration av teknik på förvarsdjup. Den typ av kompletteringar som kan vara aktuella i detta steg av tillståndsprövningen är mer detaljerade planer på hur dessa frågor ska hanteras och redovisas i SKB:s fortsatta arbete. SKB:s fortsatta hantering, och SSM:s uppföljning, av dessa frågor efter ett eventuellt tillstånd kan även behöva kopplas till tillståndsvillkor.

5.1 Demonstration och utvärdering av deponeringsteknik och uttag av deponeringstunnlar

Under den inledande granskningsfasen har frågor rests som kopplar till praktisk genomförbarhet av KBS-3 konceptet i slutförvarsmiljön t.ex. identifiering av lämpliga deponeringspositioner, uttag av deponeringstunnlar och deponeringshål, installation av tekniska barriärer, kapseldeponering samt verifiering och kontroll av det initiala tillståndet. SKB:s möjligheter att tillgodose säkerhetsanalysens krav är avhängigt tillgång till tillförlitliga metoder för karakterisering av lämpliga deponeringspositioner och möjlighet att undvika positioner i berget med höga grundvattenflöden och potential för stora berg rörelser. Planer behövs för att hantera bergförhållanden som är mer ogynnsamma än förväntat med beaktande av konsekvensen av att delar av bergmassan kan visa sig vara olämplig för kapseldeponering. Innan ett slutförvar kan tas i aktiv drift behöver utförliga och övertygande tester ha genomförts som demonstrerar samtliga moment och sekvenser i slutförvarets driftfas. Dessa tester behöver utföras i full skala under verkliga förhållanden med inaktiva kapslar.

SSM bedömer att det finns ett behov av kompletterande information inom följande område:

- En översiktlig plan som beskriver demonstration och utvärdering av olika moment och sekvenser i slutförvarets driftfas.

5.2 Optimering av slutförvarsdjup

Baserat på utfallet av undersökningar under uppförandefasen behöver slutförvarets layout anpassas till de observerade geologiska förhållandena. En viktig designvariabel är valet av förvarsdjup samt i vilket intervall djupet kan variera för olika deponeringsområden. Val av förvarsdjup är med nödvändighet en optimeringsprocess med avvägning av för- och nackdelar relaterade till långsiktig säkerhet, driftsäkerhet, platsspecifika egenskaper och ekonomiska överväganden. SSM vill betona vikten av att den långsiktiga säkerheten ges en tillräckligt hög prioritet. Flera remissinstanser samt även den internationella expertgranskningen [9] har efterfrågat mera information om denna optimeringsprocess.

SSM bedömer att det finns ett behov av kompletterande information inom följande områden:

- En redovisning av optimeringen av förvarsdjup relaterade till långsiktig säkerhet, driftsäkerhet och ekonomi för att nå fram till valet av djupet på ca 470 m för referensutformningen i slutförvarsansökan

- En specificering av det maximala djupintervallet runt 470 m (dvs. referensutformningen) som säkerhetsanalysen SR-Site hanterar
- Program för hur man kvantitativt kommer att hantera optimeringen av försvarsdjup baserat på långsiktig säkerhet, driftsäkerhet och ekonomi med beaktande av ny platsspecifik information för olika delmoment i uppförande, provdrift och drift av slutförvaret.

5.3 Verifierande tester och mätningar av slutförvarsmiljön samt de tekniska barriärernas säkerhetsfunktioner

SKB har under flera årtionden genomfört både småskaliga och storskaliga långtidsförsök i Stripa forskningsgruva och Äspölaboratoriet för att skaffa nya kunskaper kopplat till både berget och de tekniska barriärerna. Ett flertal liknande försök som har genomförts i andra länders berglaboratorium är också av relevans för SKB:s program. En viktig användning av resultat från långtidsförsök är validering av beräkningskoder och utprovning av de tekniska barriärernas grundläggande funktioner och egenskaper i slutförvarsmiljön.

En viktig princip som bör tillämpas om SKB får tillstånd att uppföra en slutförvarsanläggning är att rimliga möjligheter till en fortsatt verifiering och vidareutveckling av den befintliga kunskapsnivån tas tillvara genom fortsatta tester och mätningar. Dessa kan behöva utföras i den aktuella slutförvarsmiljön dvs. i anslutning till tunnlar i Forsmarksberget men om så är mera lämpligt kan vissa tester även fortsättningsvis genomföras i Äspölaboratoriet eller andra berglaboratorium. Tester som genomförs i förvarsmiljön under en uppförandefas och möjligen även efter att ett eventuellt drifttillstånd medgivits behöver förfinas och vidareutvecklas med avseende på hittills erhållna erfarenheter. Resultat som erhålls skall användas för att uppdatera och vidareutveckla säkerhetsanalyser som behövs för senare licensieringssteg. En fortsatt verifiering av viktiga antaganden, modeller och data som säkerhetsanalysen SR-Site baseras på kan komma att införas som tillståndsvillkor om SKB får tillstånd att uppföra en slutförvarsanläggning.

SSM bedömer att det finns ett behov av kompletterande information inom följande områden:

- En preliminär plan för verifierande tester under en eventuell konstruktionsfas med tonvikt på osäkerheter och frågeställningar identifierade i säkerhetsanalysen SR-Site.

5.4 Vidareutveckling av konstruktionsförutsättningar för slutförvaret

SKB:s konstruktionsförutsättningar för slutförvaret har i perspektivet långsiktig säkerhet baserats på den tidigare säkerhetsanalysen SR-Can och utgör en grund för slutförvarets referensutformning. Konstruktionsstyrande fall har i någon mening utarbetats för förvarets säkerhetsfunktioner och säkerhetsanalysens mest relevanta scenarier. På ett generellt plan avspeglar de nuvarande konstruktionsförutsättningarna det huvudsakliga innehållet även i SR-Site, men den nuvarande versionen är inte uppdaterad och fullständig. För att konstruktionsförutsättningarna skall kunna utgöra en användbar grund för fortsatt arbete behövs ytterligare verifiering av att samtliga aspekter kopplade till långsiktig säkerhet och SR-Site har beaktats.

SSM bedömer att det finns ett behov av kompletterande information inom följande område:

- En plan för framtida uppdateringar av konstruktionsförutsättningarna. Konstruktionsförutsättningarna bör främst baseras på parametrar som är mätbara och därmed möjliga att verifiera under en konstruktions- och driftfas. Frågor kopplade till driftsäkerhet och förverkets drift behöver också beaktas för att utesluta motstridiga designvillkor.

6 Slutsatser

Delprojekt GLS har i den inledande granskningen av SKB:s tillståndsansökan för ett slutförvar för använt kärnbränsle i Forsmark identifierat ett antal granskningsfrågor/områden där det finns behov av förtydliganden och kompletterande information för att SSM ska kunna göra en bedömning av hur ansökan uppfyller SSM:s strålsäkerhetskrav. Delar av dessa granskningsfrågor kopplar till säkerhetsredovisningen SR-Site och behöver klaras ut i detta steg av tillståndsprövningsprocessen (kapitel 4) medan andra frågor kopplar till SKB:s fortsatta program efter att ett eventuellt regeringstillstånd har medgivits (kapitel 5). I det senare fallet handlar kompletteringsbehoven om att begära in tydligare planer för hur olika frågor ska hanteras av SKB under uppförande- och driftfaserna.

Granskningsfrågorna och kompletteringsbehoven redovisas översiktligt i denna rapport. De identifierade kompletteringsbehoven kommer att specificeras mer i detalj och skickas till SKB som en del av den fortsatta tillståndsprövningen i enlighet med kärntekniklagen. SSM vill här understryka att det kan uppkomma ytterligare behov av förtydliganden och kompletteringar i det fortsatta granskningsarbetet. De begäranden om förtydliganden och kompletterande information som redan skickats till SKB och SKB:s svar finns tillgängliga på SSM:s web-plats.

Efter att ha genomfört den inledande granskningen bedömer delprojekt GLS att SKB:s redovisning är av tillräcklig kvalitet för att motivera en övergång till nästa fördjupade fas av SSM:s granskning och ge SKB möjlighet att komplettera sin ansökan. Det är dock för tidigt att i detta skede göra bedömningar av kravuppfyllelse mot SSM strålsäkerhetskrav.

De kompletteringar som redan har begärts av SSM gällande kapselns förmåga att innesluta bränslet bedöms av delprojekt GLS vara av väsentlig karaktär för bedömning av dels kapselbrott enligt korrosionsscenario, dels kapselbrott enligt lastscenariot för isostatiska tryck. Dessa två scenarier kommer att beröra samtliga 6000 deponerade kapslar och kan därför potentiellt ha stor påverkan på konsekvensanalysen avseende spridning av radioaktiva ämnen.

7 Referenser

- [1] SKI och SSI, 2008. SKI:s och SSI:s gemensamma granskning av SKB:s säkerhetsrapport SR-Can, SKI Rapport 2008:19, SSI Rapport 2008:04 (på engelska), Statens kärnkraftinspektion (SKI) och Statens strålskyddsinstitut (SSI)
- [2] SSM, 2010. Insite Summary Report, SSM Rapport 2010:30 (på engelska), Strålsäkerhetsmyndigheten
- [3] Wilmot, R., Klos, R., Wörman, A., and Shaw, G., 2010. Review of SDM-Site Forsmark Surface System, Oversight Report, SSM Dnr. SSM 2009/2641 (på engelska), Strålsäkerhetsmyndigheten
- [4] SSM, 2011. Project plan for the review of post-closure safety of SKB's license application for a spent nuclear fuel repository (GLS) (på engelska), Dnr. SSM 2011-2306, Strålsäkerhetsmyndigheten



- [5] SSMFS 2008:21. Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter och allmänna råd om säkerhet vid slutförvaring av kärnämne och kärnavfall, Strålsäkerhetsmyndigheten
- [6] SSMFS 2008:37. Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter och allmänna råd om skydd av människors hälsa och miljön vid slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle och kärnavfall, Strålsäkerhetsmyndigheten
- [7] SKB, 2011. Redovisning av säkerhet efter förslutning av slutförvaret för använt kärnbränsle. Huvudrapport från projekt SR-Site, Del 1-3, Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB)
- [8] Dverstorp B., 2010. Terms of Reference for an International Peer Review of SKB's Post-Closure Safety Reporting for a KBS-3 Repository (på engelska), Dnr. SSM 2010-4132, Strålsäkerhetsmyndigheten
- [9] OECD/NEA, 2012. The post-closure radiological safety case for a spent nuclear fuel repository in Sweden. An international peer review of the SKB license-application study of March 2011, Dnr. SSM 2010-4132, är tillgänglig på www.ssm.se.
- [10] SSMFS 2008:1. Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter och allmänna råd om säkerhet i kärntekniska anläggningar, Strålsäkerhetsmyndigheten



Bilaga 1. Hittills begärda kompletteringar av SKB:s ansökan om slutförvaring av använt kärnbränsle

Följande kompletteringar av SKB:s ansökan om slutförvaring av använt kärnbränsle har SSM begärt från SKB under perioden 16 mars 2011 till 31 oktober 2012.

- Dnr SSM2011-2426-16 Begäran om komplettering av ansökan om slutförvaring av använt kärnbränsle – kopparkorrosion
- Dnr SSM2011-2426-57 Begäran om komplettering av ansökan om slutförvaring av använt kärnbränsle – degraderingsprocesser för kapseln
- Dnr SSM2011-2426-58 Begäran om komplettering av ansökan om slutförvaring av använt kärnbränsle – kapselns mekaniska integritet
- Dnr SSM2011-2426-59 Begäran om komplettering av ansökan om slutförvaring av använt kärnbränsle – kontroll och provning för fastställande av kapselns initialtillstånd
- Dnr SSM2011-2426-60 Begäran om komplettering av ansökan om slutförvaring av använt kärnbränsle – tillverkningsaspekter för ingående delar i kapseln
- Dnr SSM2011-2426-63 Begäran om komplettering av ansökan om slutförvaring av använt kärnbränsle – frågor om kriticitet
- Dnr SSM2011-2426-68 Begäran om komplettering av ansökan om slutförvaring av använt kärnbränsle – inverkan av vätgas på bränsleupplösning.

Samtliga begäranden om kompletteringar redovisas i sin helhet nedan. SSM:s begäranden om kompletteringar och förtydliganden redovisas även tillsammans med SKB:s svar under SSM:s ärende med diarienummer SSM 2011-2426, samt på Slutförvarssidan på SSM:s web-plats, efter hand som de kommer in.

Bilaga 1a. Dnr SSM2011-2426-16 Begäran om komplettering av ansökan om slutförvaring av använt kärnbränsle – kopparkorrosion

Kompletteringar

SSM begär kompletterande information angående korrosion av koppar i syrgasfritt vatten som underlag för tillståndsprovningen av Svensk Kärnbränslehantering AB:s (SKB) tillståndsansökan för ett slutförvar i Forsmark. SSM önskar klargörande om hur denna korrosionsprocess kan påverka kopparkapslarnas långsiktiga integritet och säkerhetsanalysens resultat. De punkter som SSM i det här skedet önskar kompletterande information om är:

1. Inverkan av en representativ grundvattenkemi på den termodynamiska drivkraften för kopparkorrosion i syrgasfritt vatten (som enligt ”what-if” fall i SKB TR-10-66 endast representeras av ett jämviktstryck för processen i rent vatten).
2. Inverkan av mikrobiell aktivitet med avseende på omfattningen av kopparkorrosion i syrgasfritt vatten på deponerade kapslar med använt kärnbränsle både för förhållandet av en intakt buffert (omättade och mättade betingelser) och en delvis eroderad bentonitbuffert.
3. Inverkan av en samtidigt pågående korrosion orsakad av syrgasfritt vatten och sulfidkorrosion.
4. ”What-if” beräkningsfallet i [SKB TR-10-66] för en omättad buffert behöver kompletteras med beräkning av masstransport av väte genom en omättad buffert efter att gasvolymen uppnått jämviktstrycket för vätgas.
5. Inverkan av vätgasbildande korrosion orsakad av korrosion i syrgasfritt vatten eller genom sulfidinnehåll i grundvattenmiljön på koppars innehåll av väte behöver kompletteras med avseende på bildning av vätgasbubblor i kopparmaterialet som kan verka försprödande.

Skälen för begäran om komplettering

Hantering av kopparkorrosion i syrgasfritt vatten inom SR-Site har utförts i form av en ”what if” beräkning och har klargjorts ytterligare i inskickad komplettering till SSM [SKBdoc 1323955]. SKB:s ståndpunkt i SR-Site [SKB TR-10-66] är att det vetenskapliga stödet för korrosionsmekanismen i syrgasfritt vatten är svagt och att genomförda försök av Hultquist m.fl. behöver upprepas av andra forskare. SSM har dock alldeles nyligen avslutat en oberoende studie som har utförts vid Studsvik Nuclear [Becker, 2011]. De experimentella resultaten bekräftar att vätgasutveckling sker då koppar exponeras i rent vatten utan löst syrgas. Dessa experiment genomfördes under betingelser som i stort sätt motsvarar Hultquist ursprungliga försök. SSM gör därmed bedömningen att det finns vetenskapligt stöd för processen dels baserat på de egna experimenten, dels på de tidigare experimentella och teoretiska studier som har publicerats [Evans, 1926/ Hultquist, 1986/ Hultquist, 1989/ Hultquist, 2008/ Hultquist, 2009/ Hultquist, 2011/ Szakálos, 2007/ Macdonald, 2011].

SSM bedömer därför att SKB bör komplettera med ytterligare underlag avseende denna process för att SSM ska kunna bedöma uppfyllelse av 9§ i SSMFS 2008:21. SSM önskar en utförligare redovisning av vilken betydelse korrosionsmekanismen kan ha för ett slutförvars långsiktiga säkerhet. Det skulle också underlätta SSM:s framtida bedömning om SKB kunde presentera en vetenskaplig förklaring av uppmätta vätgasstryck vid kemisk jämvikt.



SKB baserar sitt ”What-if” beräkningsfall på uppmätt jämviktstryck av vätgas vid kemiska förhållanden som motsvarar helt rent syrgasfritt vatten, vilket inte är representativt för slutförvarsmiljön. Det är dock sannolikt att den aktuella grundvattenkemin har en betydande påverkan på processen. Den kan t.ex. förväntas att höga kloridhalter med komplexbindning av frigjord koppar i lösning har en betydande påverkan.

Karsten Pedersen har i sin omfattande forskning kring mikrobiella processer visat att väte är en viktig komponent i ett mikrobiellt kretslopp djupt ner i berggrunden [Pedersen, 2000]. Det finns en risk att korrosionsmekanismen kan påverkas av mikrobiella processer, dels för en intakt buffert (omättad respektive mättad), dels för en partiellt eroderad buffert. Mikrobiella processer kan vara viktiga i synnerhet för ett fall i vilket bentonitbufferten har påverkats av buffererosion. SKB behöver därför klargöra vilka faktorer som kan påverka en samverkan mellan produktion av vätgas från kopparkorrosion och mikrobiell aktivitet.

En möjlig kopparkorrosion orsakad av syrgasfritt vatten i slutförvarsmiljö fortskrider inte nödvändigtvis oberoende av sulfidkorrosion, eventuella kopplingar mellan dessa korrosionstyper behöver därför belysas. Denna typ av koppling önskas beskriven med olika antaganden gällande erosionsmodell enligt figur 5-8 i [SKB TR-10-66] och samtidig inverkan av mikrobiell aktivitet.

För ”what-if” beräkningsfallet med en omättad buffert, där inverkan av korrosion i syrgasfritt vatten inträffar tidigt efter deponering av kapslarna och där kapseln kan vara i förbindelse med en gasvolym, önskas kompletterande beräkning avseende vad som sker efter att ett jämviktstrycket av vätgas uppnåtts och diffusion av vätgas genom omättad buffert kan förväntas. I detta sammanhang bör inverkan av ytans storlek i gasvolymen för masstransport samt diffusionskoefficienten för en omättad buffert beaktas

Vätgasutvecklande korrosion kan medföra att väte diffunderar in i kopparmaterialet och eventuellt att vätgasbubblor bildas i kopparmaterialet som kan verka försprödande. Bakgrunden för denna process är att [Hultquist 2008] visat att vätehalten i kopparfolie efter exponering i syrgasfritt vatten ökat cirka 10 ggr, elektrokemiskt väteladdning vid rumstemperatur av koppar ökar vätehalt upp till 100 ggr [Martinsson, 2008] samt att [Wampler, 1976] visat att vätgasbubblor kan bildas i koppar vid rumstemperatur med cirka 5 ppm (vikt) väte.

Denna begäran om komplettering har beretts i tillståndsprövningsprojektets SIR grupp (Safety integration review team) och föredragits av Jan Linder.

Ansi Gerhardsson
Projektledare TPP

Bilaga 1b. Dnr SSM2011-2426-57 Begäran om komplettering av ansökan om slutförvaring av använt kärnbränsle – degraderingsprocesser för kapseln

Kompletteringar

1. Redovisning av kopparkorrosion innan återmättnad av buffert då kapseln är i kontakt med en gasfas.
2. Utökad analys och redovisning av risk för lokal kopparkorrosion i såväl syrgasinnehållande som syrgasfritt grundvatten. Redovisningen bör även belysa eventuell risk för saltanrikning i närheten av kapselytan innan bufferten är återmättad och hur sådana avlagringar kan påverka gropfrätningspotentialen.
3. Utökad redovisning med argument för att kloridassisterad kopparkorrosion kan uteslutas för klorikoncentrationer $< 2M$ (säkerhetsfunktionsindikator R1f).
4. Utökad underlag som stöd för antagandet att korrosion orsakad av HS- är masstransportbegränsad i slutförvaringsmiljö.
5. Inverkan av läckströmmar från högspänningskablar på kopparkorrosion.
6. Kopparkorrosion på kopparkapseln insida orsakad av kvarvarande vatten i bränsleelementen och lättflyktiga fissionsämnen.
7. Redovisning av hur kalldeformationsgraden påverkar kopparkorrosion.
8. Spänningskorrosion av koppar orsakad av radiolysprodukter eller sulfidinnehållande syrgasfria vattenmiljöer.
9. Redovisande underlag som visar att försprödning av koppar orsakad av reduktion av kopparoxid inte sker vid exempelvis upptag av atomärt väte i koppar från korrosionsreaktioner.
10. Inverkan av bestrålning på den gjutna segjärnsinsatsen materialegenskaper.

Skälen för begäran om komplettering

Kopparkorrosion

SKB har redovisat att kopparkorrosion innan vattenmättnad av buffert endast sker med tillgängligt syre i deponeringstunnlarna efter förslutning /TR-10-46/, kap 3.5.4. SSM anser att SKB bör redovisa orsaken till att atmosfärisk kopparkorrosion innan vattenmättnad av buffert dessutom inte kan ske med andra lösta gaser i grundvattnet exempelvis H_2S , vilka kan stå i jämvikt med gasfasen i deponeringstunnlarna /Szakálos, Seetharaman, 2012/. Gasfasens sammansättning i jämvikt med grundvattnet och som ett resultat av gammarradiolys i gasfas såväl som vattenfas bör i detta sammanhang beaktas. För den tid innan tillfartstunnlarna har återförslutits bör även en bedömning göras av hur syregasutbytet mellan tillfartstunnlarna och deponeringstunnlarna inverkar på korrosionen.

SKB redovisar att lokal korrosion (gropfrätning) möjligen kan ske tidigt efter deponering när syrgas finns närvarande i grundvattnet /TR-10-46/. Denna bedömning av lokal korrosion grundas på bedömning att skillnaden mellan gropfrätningspotentialen (E_b) och korrosionspotentialen är tillräckligt stor. SSM anser att SKB bör redovisa ytterligare stöd för detta angreppssätt genom att redovisa en probabilistisk bedömning av risk för lokal korrosion på kapslar i såväl syrgasinnehållande som syrgasfritt grundvatten. Den probabilistiska bedömningen av risk för lokal korrosion bör dels innehålla hur stor potentialskillnad mellan gropfrätningspotentialen och korrosionspotentialen som är tillräcklig för att initiering av gropfrätning ska anses som försumbar, dels att SKB bör presentera en modell som beskriver korrosionspotentialens och gropfrätningspotentialens förväntade utveckling med avseende på grundvattnets kemiska sammansättning, gammarradiolys och temperatur /Scully, Hicks, 2012/. I den förväntade utvecklingen av

den kemiska sammansättningen i grundvattnet bör även dels saltanrikning i närheten av kapselytan innan buffert är återmättad beskrivas och dels redogöra för inverkan av avlagringar på gropfrätningspotentialen.

SKB fastslår dels att koppar är termodynamiskt immunt i syrgasfritt grundvatten /TR-10-46/ dels att kloridjoner inte kan delta i kopparkorrosionsreaktioner då $Cl^- < 2M$ /TR-11-01 vol. II/. Vad gäller korrosion av koppar i syrgasfritt vatten är de kompletteringar som tidigare lämnats in till SKB (SSM2011-2426-16) fortsatt giltiga. Till dessa kompletteringar bedöms även att SKB bör redogöra för orsaken till varför korrosion i syrgasfria grundvattenmiljöer innehållande kloridjonkoncentrationer $< 2M$ för olika kopparjonkoncentrationer inte kan påverka kopparkorrosion efter att kapslarna deponerats. SKB har även analyserat kopparkorrosion i syrgasfritt rent vatten som ett restskenario i /TR-10-66/ genom att använda experimentellt uppmätta vätgastryck från /Szakálos, Hultquist, Wikmark, 2007/. Dessa analyser i /TR-10-66/ bygger på antagandet att kopparkorrosion i syrgasfritt rent vatten begränsas av bortdiffusion av vätgas genom vattenfasen i bufferten. SSM anser att SKB måste belägga antagandet att kopparkorrosion begränsas av masstransport av vätgas bort från kapseln i syrgasfritt grundvatten.

Kopparkorrosion i syrgasfritt grundvatten orsakad av HS- beskrivs av SKB som masstransportbegränsad /TR-10-46/. SKB har emellertid inte i tillräcklig utsträckning visat att korrosionshastigheten för koppar i sulfidhaltig grundvattenmiljö stökiometriskt begränsas av masstransport av HS- /Scully, Hicks, 2012/. Baserat på detta anser SSM att SKB bör redovisa experimentellt underlag eller presentera utförligare underlag som tydligt visar att masstransport av HS- i syrgasfritt grundvatten avgör hur fort koppar korroderar.

SKB anser att korrosion från läckströmmar begränsas av närvaro av lösta ämnen i grundvattnet och att nuvarande högspänningskabel eller framtida endast kommer att förekomma under kort tid jämfört med förverkets förväntade skyddsförmåga. SSM anser att SKB bör redovisa hur stora korrosionshastigheter beroende på läckströmmar som kan förväntas vid olika återmättnadsgrader för bufferten. I denna bedömning bör även hänsyn tas till reduktion av vatten som trolig katodreaktion. Detta beroende på att koppar inte kan anses som termodynamiskt immunt i rent vatten /Szakálos, Seetharaman, 2012/ och att undersökningar pågår för att beskriva experimentella resultat med kopparkorrosion i syrgasfritt vatten. Dessutom önskas även att risk för gropkorrosion i samband med läckströmmar bedöms probabilistiskt enligt komplettering nummer 2. Baserat på att framtidens situation med högspänningskablar är svåra att bedöma önskas i ett BAT-perspektiv även en redovisning av hur eventuella läckströmmar kan påverka kopparkorrosion som funktion av förvarsdjup.

SKB beskriver i /TR-10-46, kap. 2.5. 2/ att vatteninnehåll i bränsleelement maximalt kan uppgå till 600 g. Detta vatten antas av SKB konsumeras via korrosion av den gjutna insatsen, och reaktionsprodukter från radiolys endast kommer att ge upphov till korrosionsreaktioner med den gjutna insatsen. SSM anser att SKB bör redogöra för bakgrunden till detta antagande och exempelvis beskriva varför kondensering på kopparkapselns inre yta inte kan ge upphov till kopparkorrosion på lokalt avgränsade ytor på kapseln insida. I denna redovisning bör även ingå att beskriva hur korrosionen på kapselns insida påverkas av lättflyktiga fissionsämnen som exempelvis jod.

SKB redovisar i TR-10-46 att galvaniska celler mellan kallbearbetade områden och icke kallbearbetade områden på koppar troligen inte kommer att bildas. Stödjande referenser som SKB åberopar visar att korrosionshastigheten för koppar ökar med avseende på kallbearbetningsgrad men även att inverkan på kallbearbetningsgrad kan vara miljöberoende /Songbo, Yin 2005/. De kallbearbetade områden som SKB bedömer i detta avseende är kallbearbetning uppkommen genom intryck och skrapmärken från hantering

och transport av kapseln innan deponering. SSM bedömer att kallbearbetning från hantering och transport kan betraktas som relativt ytliga. SKB har emellertid i /TR-10-14/ redovisat att kallbearbetade områden inte kan undvikas vid tillverkning av kopparkapselns lock och botten. Dessa kallbearbetade områden anser SSM inte vara tillräckligt belysta med avseende på dess eventuella påverkan på kopparens korrosionshastighet. SSM anser mot denna bakgrund att SKB bör ta fram ytterligare redovisning avseende bildande av galvaniska celler och korrosionshastigheten för aktuell koppar och kallbearbetningsgrader i syrgasfria såväl som syrgasinnehållande grundvattenmiljöer.

Spänningskorrosion

SKB har i processrapporten /TR-10-46/ inte redovisat hur oxidanter som bildas vid radiolys påverkar tendens för spänningskorrosion. SSM anser att SKB måste redogöra om orsaken till varför inverkan av radiolys dels inuti kapseln dels utanför kapseln på risk för spänningskorrosion kan uteslutas.

Risk för spänningskorrosion utan närvaro av syrgas men med närvaro av HS-i grundvatten har av SKB bedömts som försumbar /TR-10-46/. Denna uppfattning finner SSM inte vara helt övertygande eftersom att experimentellt underlag visat att SCC kan ske i dessa typer av miljöer /Taniguchi, Kawasaki 2008/. Dessutom har SKB lyft fram en tänkbar mekanism för spänningskorrosion i syrgasfria sulfidhaltiga miljöer "Aaltonen mekanismen" /TR-10-04/. SSM anser av denna anledning att SKB bör redogöra varför risken för spänningskorrosion i syrgasfria sulfidhaltiga vattenmiljöer är försumbar trots att experimentella resultat förekommer som visar motsatsen.

Väteförspredning

En form av väteförspredning av koppar som inte berörts i TR-10-46 är förspredning av koppar orsakad av reduktion av kopparoxider som kan förekomma i kopparmaterialet. Kopparoxider kan exempelvis bildas vid FSW svetsning och under tillverkningen av kopparkapseln. Denna mekanism är känd under namnet "våtesjuka" och är exempelvis beskriven i /Ransley 1939/. SSM anser att SKB bör presentera underlag varför denna förspredningsmekanism inte är verksam i slutförvarsmiljö vid exempelvis upptag av atomärt väte i kopparmetallen från korrosionsreaktioner och därmed uteslutits från redovisning i SR-site.

Effekt av gammabestrålning på materialegenskaper

För att undvika förspredning av den gjutna segjärnsinsatsen kravsätter SKB halten av koppar i insatsen till max 0.05%. Detta krav baseras på beräkningar av lågkolhaltiga stål /Brissonneau, Barbu, Bocquet, 2004/. SSM anser att SKB bör redogöra varför gammastrålningsförspredning av lågkolhaltiga stål ger ett representativt underlag för att bedöma hur gjutet segjärn med annorlunda kemisk sammansättning, mikrostruktur och betydligt större inslag av segring av legeringselement jämfört med lågkolhaltigt stål påverkas av gammastrålning. Dessutom önskar SSM att SKB presenterar någon form av experimentell verifiering av bedömningen att gammabestrålning inte påverkar materialegenskaperna för segjärn. Därutöver bör SKB bedöma om och i förekommande fall vilka konsekvenser av strålningsinducerad segring av fosfor till korngränserna i de gjutna segjärnsinsatserna.



De kompletteringar som begärs handlar samtliga om processer som kan påverka kopparkapselns funktion efter förslutning i enlighet med SSMFS 2008:21 5§.

Denna begäran om komplettering har beretts i tillståndsprövningsprojektets SIR grupp (Safety integration review team) och föredragits av Jan Linder.

Ansi Gerhardsson
Projektledare

Jan Linder
Handläggare



Referenser

Brissoneau L, Barbu A, Bocquet J-L, 2004. Radiation effects on the long-term ageing of spent fuel storage containers. *Packaging, Transport, Storage and Security of Radioactive Material*, 15, pp 121–130.

Ransley, C., E., 1939, The diffusion of oxygen in copper, *Journal of the Institute of Metals*, Vol. 65pp. 147-142. NNA.890921.0092.

Scully, J., R., Hicks., T., W., 2012, Initial review phase for SKB's safety assessment SR-site: corrosion of copper, SSM2012:21.

Songbo Y., Li, D., Y., 2005, Effects of cold work on corrosion and corrosive wear of copper in HNO₃ and NaCl solutions, *Materials Science and Engineering A* 394, pp. 266-276.

Szakálos, P., Hultquist, G., and Wikmark, G., 2007, Corrosion of copper by water, *Electrochem. and Solid State Letters*, 10 (11) pp. C63-C67.

Szakálos, P., Seetharaman, S., 2012, Corrosion of copper canister, SSM2012:17.

Taniguchi, N., Kawasaki, M., 2008, Influence of sulfide concentration on the corrosion behavior of pure copper in synthetic seawater, *Journal of Nuclear Materials*, 379, pp.154-161.

Bilaga 1c. Dnr SSM2011-2426-58 Begäran om komplettering av ansökan om slutförvaring av använt kärnbränsle – kapselns mekaniska integritet

Kompletteringar

1. Konsekvenser på kapselns integritet vid skjuvning nära kapselns topp och botten.
2. Redovisning av hur det förenklade antagandet att insatsens stållock är en integrerad del av insatsen, påverkar den mekaniska responsen vid insatsens stållock.
3. Redovisning av hur hållfastheten för locket av stål i botten och toppen av insatsen påverkas av lastfallet skjuvdeformation i samband med jordbävning.
4. Redovisning av stöd för att kunna utnyttja de plastiska egenskaperna och brottagenskaperna i den utsträckning som nu görs för insatsen.
5. Redovisning av mekanistisk förståelse för hur fosfortillsatsen i koppar påverkar kopparkapselns krypduktilitet.
6. Ytterligare experimentellt underlag för att verifiera användande av 2 mm stabil spricktillväxt i segjärn som en brottmekanisk material-egenskap för skadetålighetsanalysen.
7. Verifiering av att brottsegheten för provstavar uttagna i radiell riktning motsvarar brottsegheten för provstavar uttagna i insatsens axiella riktning.
8. Redovisning av skadetålighetsanalys för PWR-insatsen inklusive en statistisk analys för variationen i materialdata (brottseghet, brottöjning).
9. Redovisning av inverkan av restspänningar efter gjutningen på skadetålighetsanalysen för BWR respektive PWR insatserna.
10. Inverkan av hydrostatiska tryck på segjärnets plastiska egenskaper och hur detta påverkar skadetåligheten.
11. Redovisning av sambandet mellan skjuvrörelsens storlek och antalet kapslar som går till brott i samband med jordskalv.
12. Inverkan av det kombinerade lastfallet böjspänning från ojämn svällning samt skjuvlast från jordbävning och hur det påverkar kapselns mekaniska integritet och acceptabla defektstorlekar.
13. Inverkan av beräkningsteknisk förenkling mellan insats och kanalrör på skadetålighetsanalysen.
14. Analyser hur tillverkningstoleransen för avståndet mellan kanalrören och insatsens ytteryta (H) påverkar kapselns mekaniska integritet.
15. Inverkan av olikformig fördelning av gapet mellan insats och kapsel.
16. Inverkan av långa och ojämna återmätningstider för bufferten på kapselns spänningstillstånd.
17. Ytterligare redovisning av inverkan av skjuvspänningar som verkar på kapseln vid gradienter av buffertens densitet.

Skälen för begäran om komplettering

Kapselns mekaniska integritet

- SSM anser att SKB bör analysera konsekvenser av 5 cm horisontell skjuvning av kapseln vid ett jordbävninglastfall nära kapselns botten och topp. För dessa områden kan inte den gjutna insatsens lastbärande förmåga anses likvärdig som då horisontell skjuvning sker mitt på kapseln.
- Vid analysen av skjuvlastfallet har SKB beroende på konvergensproblem vid FEM beräkningen antagit att insatsens stållock är en integrerad del av insatsen.

SKB bör av denna anledning redovisa hur denna förenkling kan påverka den mekaniska responsen vid locket lokalt. I denna analys bör även inverkan av materialdata för stållocket, geometri för ventil för införande av inert atmosfär till insatsen och packningsmaterial analyseras.

- Locket av stål i botten och toppen av insatsen har inte analyserats för lastfallet skjuvdeformation på grund av jordbävning vilket bör göras av SKB.
- Brottvillkoret för plastisk kollaps respektive spricktillväxt som används i /TR-10-28/ med brotttöjningen dividerad med en säkerhetsfaktor $SF = 2$ samt brottsegheten vid 2 mm stabil spricktillväxt dividerat med $SF = 2$, innebär att det gjutna segjärnets plastiska egenskaper och brottegenskaper utnyttjas i en utsträckning som inte är jämförbar med andra industriella tillämpningsområden av segjärn. SSM anser att SKB bör presentera mer stöd för att kunna utnyttja de plastiska egenskaperna och brottegenskaperna i så hög grad som nu görs för insatsen.
- Kopparhöljets töjning till brott under krypbelastning specificeras i /TR-10-14/ av SKB till att vara $>15\%$. Att kopparmaterialet uppfyller detta krav hänvisar SKB till ett stort antal utförda krypprov /TR-09-32/. Enligt SKB upprätthålls krypduktiliteten genom en tillsats av fosfor mellan 30-100 ppm. Mekanismen för att tillsatts av fosfor ger tillräcklig hög krypduktilitet har beskrivits i /TR-07-02/. Denna mekanism har baserat på experimentella resultat starkt ifrågasatts av /Pettersson, 2010/. Baserat på att SKB:s resultat från utförd krypprovning byggs upp från krypprover som pågår i storleksordning år och att dessa resultat extrapoleras till att förutsäga kryptöjningar efter tusentals år, anser SSM att SKB bör redovisa en trovärdig mekanism för fosfors inverkan på kryptöjningen i syrefri koppar.
- Eftersom att SKB använder sig av brottseghetsdata vid 2 mm stabil spricktillväxt men endast redovisat experimentellt underlag upp till 1.6 mm bör SKB komplettera med experimentellt underlag där brottsegheten bestämts upp till 2 mm stabil tillväxt.
- SKB behöver visa att brottseghet för provstavar uttagna radiell riktning motsvarar brottseghet för provstavar uttagna i insatsens axiella riktning. I underlaget saknas data för provstavar uttagna axiellt.
- Analysen av kapselns strukturella integritet bygger huvudsakligen på materialdata från den uppgjutna BWR insatsen. SKB behöver av denna anledning även utföra och presentera en statistisk analys för variationen i materialdata (brottseghet, brotttöjning) för PWR insatsen. Dessutom bör skadetålighetsanalysen för skjuvlastfallet även kompletteras att innehålla PWR insatsen.
- Skadetålighetsanalysen för BWR och PWR insatserna bör innehålla en analys hur restspänningar från tillverkningen av insatserna påverkar skadetålighetsanalysen för olika lastfall. De hittills uppmätta restspänningarna vid ytan av insatsen påvisade relativt höga kompressiva restspänningar. Dessa kan längre in i insatsen kompenseras av stora restspänningar av dragkaraktär. Visar det sig genom analyser med simulerade restspänningar att dessa har stor påverkan på skadetålighetsanalysen bedöms att mer arbete behöver göras för att experimentellt karakterisera restspänningar i insatserna i radiell och axiell led med exempelvis djuphålsborrning (DHD) som är en teknik som har goda förutsättningar att mäta restspänningar även djupare in i tjocka material.
- SKB:s analys av skjuvlastfallet i kombination med en hög hydrostatisk last (orsakad av ett tjockt täcke av inlandsis) visar att detta kombinerade lastfall inte är värre en skjuvlast utan hydrostatisk islast. SSM anser emellertid att höga hydrostatiska tryck kan påverka materialets plastiska egenskaper och bedömer därför att SKB behöver redovisa inverkan av treaxlighet på det använda segjärnets plastiska egenskaper och hur detta påverkar skadetåligheten.



- SKB har utfört en deterministisk skadetåligghetsanalys med avseende på acceptabla defekter i insatserna för en maximalt 5 cm stor skjuvrörelse i samband med jordbävning. SSM anser att SKB till den deterministiska skadetåligghetsanalysen behöver utföra en känslighetsanalys där sambandet bestäms mellan olika antagna skjuvrörelser och tillhörande antal kapslar som går till brott med olika acceptabla storlekar på defekter i insatsen.
- SKB bör analysera lastfall med kombinerad böjspänning orsakad av ojämn svällning av bentoniten och skjuvlast från jordbävning. Detta lastfall omnämns i /TR-10-28/ men finns inte analyserat i ansökansunderlaget. SSM anser att SKB behöver analysera detta kombinerade lastfall med avseende på kapselns strukturella integritet och betydelsen för acceptabla defektstorlekar i insatsen.
- SKB har vid finita element beräkningar av kapselns strukturella integritet inte använt sig av kontaktelement mellan kanalrören av stål och den gjutna insatsen utan har istället modellerat dessa som integrerade i ett stycke. SKB bör redovisa hur stor inverkan detta antagande har på kapselns strukturella integritet och för de acceptabla defektstorlekarna i insatsen.
- Toleransen för det minsta avståndet mellan kanalrören och insatsens ytteryta (H) redovisas i /TR-10-14/ till att vara ± 10 mm. Det nominella värdet på H anges för BWR och PWR insatsen till 33.3 mm respektive 37.3 mm. Eftersom SKB redovisat i /R-10-11/ att området med minst godstjocklek utanför kanalrören är känsligt för defekter vid skjuvbelastning, bör SKB utföra ytterligare analyser hur tillverkningstoleransen för avståndet (H) påverkar kapselns integritet dels avseende på plastisk kollaps och dels avseende acceptabel defektstorlek för de två insatserna.
- Det maximala axiella gap som kan förväntas mellan insatsen och kapsel är cirka 4.8 mm enligt SKBdoc1333256. En spänningsberäkning för detta fall finns redovisat i /TR-09-32 kap.11.2/. Denna beräkning bygger på antagandet att bentoniten sväller likformigt vid kapseln botten och topp. SSM anser att SKB bör presentera orsaken till att hela denna axiella förskjutning enbart kan vara lokaliserat mot kapselns lock, dvs. att bufferten återmättas olika fort i toppen och botten. SKB bör även analysera fallet då hela gapet är lokaliserat till kapselns topp.
- I spänningsanalysen av kapsel antas att kapselns övre del fylls buffertmaterial och att ett svälltryck skapas lika fort i detta område som i buffertmaterialet vid kapseln sidor. SKB bör motivera vad som ligger bakom detta antagande. Dessutom anser SSM att en kompletterande analys bör utföras med ett svälltryck från buffertmaterialet vid kapselns sidor men utan att ett svälltryck utbildas som mottryck vid kapselns övre fläns.
- Gradienter i vertikalled av buffertens densitet kan resultera i skjuvspänningar som verkar på kopparhöljet samt dragspänningar i insats och kopparhölje. Ett sådant lastfall är analyserat i /TR-09-32, kap. 11.4/ där slutsatsen dras att det är ingen risk att kapseln skadas. Baserat på den knapphändiga information som ges i /TR-09-32/, är det inte möjligt att granska analysen för detta lastfall. Fler grafer som visar resultat för spänningar och töjningar är önskvärt. Det är dessutom oklart hur friktionen mellan kopparhöljet och insatsen samt mellan bentonit och kopparhöljet har beaktats.



De kompletteringar som begärs handlar samtliga om processer som kan påverka kapselns funktion efter förslutning i enlighet med 5 § SSMFS 2008:21.

Denna begäran om komplettering har beretts i tillståndsprövningsprojektets SIR grupp (Safety Integration Review team) och föredragits av Björn Brickstad.

Ansi Gerhardsson
Projektledare

Björn Brickstad
Handläggare

Referenser

Pettersson, K., 2010, A study of grain boundary sliding in copper with and without an addition of phosphorus, Journal of Nuclear Materials, Volume 405, Issue 2, Pages 131-137.

Bilaga 1d. Dnr SSM2011-2426-59 Begäran om komplettering av ansökan om slutförvaring av använt kärnbränsle – kontroll och provning för fastställande av kapselns initialtillstånd

Kompletteringar

1. *Redovisning av kvalificeringsprocess:* Kvalificeringsprocessen för de ingående provningssystemen för kopparkapseln och dess insats är inte beskriven eller motiverad.
2. *Redovisning av defektkaraktistik som behövs för att verifiera provningsteknik samt redovisa en metod för att framställa dessa defekter i testblock.*
3. *Redovisning av defektstorlekar för detektering samt krav för storleksbestämning av dessa defekter:* Det saknas en fullständig beskrivning avseende de defekter som ska detekteras för respektive redovisad provningsvolym. Det saknas även en kravspecifikation på karakterisering och storleksbestämning av detekterade defekter.
4. *Redovisning av detektionsförmåga i kopparkapslar med hög medelkornstorlek:* Verifiering av detekteringsförmåga av defekter behöver tas fram för den högsta tillåtna medelkornstorleken i kopparkapseln.
5. *Redovisning av teknisk motivering för undantag av ytbrytande sprickor i kopparkapseln:* SKB har inte postulerat möjlig förekomst av ytbrytande sprickor på kopparkapseln inner- eller ytterytor, detta ställningstagande har inte tekniskt motiverats eller underbyggs i tillräcklig omfattning.

Skälen för begäran om komplettering

Kvalificeringsprocess

SSM anser att det är viktigt hur tillförlitligheten hos provningssystemet som ska användas vid bestämning av kapselns initialtillstånd säkerställs genom en kvalificering. SKB har inte beskrivit kvalificeringsprocessen för provningssystemet som är avsett för kontroll av kapselns olika delar uppfyller initialtillståndet enligt /TR-10-14/. Kvalificeringsprocessen behöver omfatta detaljerade tillvägagångssätt och krav vid kvalificering av provningssystemet med samtliga ingående moment. Med provningssystem avses provningsprocedur, provningsutrustning och provningspersonal. SSM behöver beskrivning och motivering av kvalificeringsprocessen för att kunna bedöma tillförlitligheten hos de provningssystem som ska användas vid provning av kapseln

Relevanta defekter vid verifiering av provningsteknik

För verifiering av tillförlitligheten hos provningssystemets förmåga att detektera, karakterisera och storleksbestämma defekter bedömer SSM att defekter som ur ett OFP perspektiv ger ett relevant signalsvar måste användas. Hittills har SKB endast redovisat resultat från utprovning med förenklade artificiella defekter såsom flatbottenhål (FBH). De defekter som används vid verifiering av provningstekniken behöver tekniskt motiveras med avseende på dess relevans ur ett OFP perspektiv. De defekter som ska användas vid verifiering och kvalificering av provningssystemet måste vara möjliga att tillverka i testblock i hela provningsvolymen. SSM bedömer att SKB behöver redovisa vilken defektkaraktistik dessa defekter bör ha för att ge ett relevant signalsvar samt redovisa en metod att framställa dessa defekter.

Redovisning av defektstorlekar för detektering samt krav för storleksbestämning av dessa defekter

SKB har inte på ett tydligt sätt redovisat i ansökan eller i dess refererade rapporter vad detekteringsmålet är för de angivna referensmetoderna i respektive definierad provningsvolym. För varje angiven provningsvolym ska ett detekteringsmål anges för plana ytbrytande defekter, inneslutna plana defekter och inneslutna volymetriska defekter. För varje detekteringsmål ska huvudriktningen för defekten anges med dess variation i lutning och vridning. För varje provningsvolym behöver det även anges vilka krav avseende toleranser för storleksbestämningen som kommer att ställas samt inom vilket intervall storleksbestämningen kommer att ske. SSM bedömer att information om detekteringsmål och krav på storleksbestämningen av detekterade defekter för respektive provningsvolym behöver kompletteras både för PWR och BWR kapselns ingående delar.

Detektionsförmåga i kopparkapslar med hög medelkornstorlek

Vid ultraljudprovning av kapselns yttre kopparhölje har SKB redovisat förekomst av stora områden med hög dämpning av ultraljudssignalen i /TR-10-14/. Orsaken till den högre dämpningen av ultraljudssignalen är enligt SKB att kornstorleken för dessa områden är större än för det omgivande materialet. SKB anger vidare att den acceptabla kornstorleken, $\leq 360 \mu\text{m}$, för kopparkapseln är högre än den nivå som ger ökad dämpning av ultraljudet. SKB redovisar i /TR-10-14/ att inledande försök att beskriva tillförlitligheten för ultraljudsprovning av kapselns yttre kopparhölje har utförts. För detta ändamål har en sannolikhetsbaserad metod (POD) använts för att undersöka detektionsförmågan av defekter med en 90% sannolikhet med en 95% konfidens, vilken benämns $a_{90/95}$. SSM anser att den använda POD metoden är tillämplig men att SKB bör ta fram $a_{90/95}$ för en medelkornstorlek för kopparöret i närheten av den tillåtna maximala medelkornstorleken. SSM bedömer att denna information är nödvändig för att bedöma tillförlitligheten hos provningssystemet att detektera, karakterisera och storleksbestämma defekter i kopparröret.

Ytbrytande sprickor i kopparkapseln

Ingående kontroll och provning kommer att vara en central del i arbetet med att säkerställa nödvändig kvalitet hos kapslar med dess insatser. Denna kontroll och provning behöver baseras på noggrann utredning av vad som behöver kontrolleras i olika skeden och på vilket sätt. Såväl möjliga tillverkningsdefekter som oförutsedda brister av olika slag behöver ingå i de förutsättningar som ska ligga till grund för kontroll- och provningskraven. SKB har redovisat ett antal möjliga defekter för kopparkapseln och dess insats. För insatsen har SKB givit information om att utvändiga sprickor kan förekomma. För andra delar av kapseln kan endast volymetriska defekter eller repor uppstå enligt SKB. SKB har redovisat i en tidigare utgåva av /SKB rapport 11752087/ att ”speed cracking” och ”hot tearing” kan förekomma i tillverkningsprocessen av kopparkapseln, vilket kan leda till att ytbrytande sprickor kan uppstå. SKB redovisar att med anledning av vald kopparkvalitet kan dessa källor till defekter uteslutas. I samma dokument anger SKB att det är ommöjligt att utesluta förekomst av andra defekter än de som är redovisade. SSM bedömer att SKB behöver komplettera ansökan med en motivering av SKB:s ställningstagande att det är helt uteslutet att det kan uppstå invändiga och utvändiga ytbrytande defekter vid tillverkningen av kopparkapseln.



De kompletteringar som begärs handlar samtliga om tillverkningsprocesser som kan påverka kopparkapselns funktion efter förslutning i enlighet med SSMFS 2008:21 9§.

Denna begäran om komplettering har beretts i tillståndsprövningsprojektets SIR grupp (Safety integration review team) och föredragits av Richard Sundberg.

Ansi Gerhardsson
Projektledare

Rickard Sundberg
Handläggare

Bilaga 1e. Dnr SSM2011-2426-60 Begäran om komplettering av ansökan om slutförvaring av använt kärnbränsle – tillverkningsaspekter för ingående delar i kapseln

Kompletteringar

1. Redovisning hur variationer i kemisk sammansättning för ingående koppardelar i kapseln motsvaras av tänkta provpunkter samt hur variationer i kemisk sammansättning kan påverka kopparens materialegenskaper.
2. Risk för att tillverkningsdefekter orsakade av att tillverkningen av koppardetaljer i kapsel sker i närvaro av luft bör beskrivas ytterligare liksom de kontroller som planeras för att detektera eventuella defekter.
3. Belägg för att koppar med en syrehalt på några tiotals ppm uppfyller materialkrav på exempelvis krypduktillitet.
4. Inverkan av oxidinneslutningar som bildas vid FSW svetsningen på kopparhöljets mekaniska integritet inklusive krypegenskaper bör beskrivas ytterligare.
5. Samband mellan foglinjeböjningens radiella utbredning och bildandet av oxidinneslutningar vid FSW svetsning som funktion av processparametrar som skulderdjup.
6. Redovisning av mekaniska egenskaper inklusive krypegenskaper och defektfördelning i provresultat från områden med hög dämpning vid ultraljudsprovning.
7. Redovisning av hur kallbearbetningsgraden i kopparlocken locken påverkar de mekaniska egenskaperna och hur graden av kallbearbetning planeras att styras och kontrolleras under produktion.
8. SKB bör tydligt ange vilka materialkrav som gäller för de två typerna av gjutna insatser (BWR, PWR), för att den lastupptagande funktionen för kapseln ska upprätthållas.

Skälen för begäran om komplettering

Tillverkning av koppardelar till kapsel

Tillverkningen av kopparrör inkluderar gjutning av solida koppargöt och extrudering till ett sömlöst rör. Enligt inspektionsprocessen för detta rör /TR-10-14 kap. 5.3.1/ kommer den kemiska sammansättningen bestämmas vid koppargötets båda ändar. SSM önskar att SKB kompletterar hur den kemiska sammansättningen för dessa provpunkter representerar sammansättningen i radiell och längsgående led för det extruderade röret. SSM önskar även att SKB bedömer hur variationer i kemisk sammansättning för det extruderade röret kan påverka materialegenskaperna som är viktiga för kapseln långsiktiga integritet.

Tillverkning av kopparlock inkluderar gjutning av ett solitt koppargöt som därefter smids och mekaniskt bearbetas till slutlig dimension. Analys av kopparlockens kemiska sammansättningen utförs vid koppargötens båda ändar varefter det smids. SSM önskar att SKB kompletterar med hur den kemiska sammansättningen för dessa provpunkter representerar sammansättningen i radiell led för de smidda och mekaniskt bearbetade locken. SSM önskar även att SKB bedömer hur variationer i kemisk sammansättning för de smidda delarna kan påverka materialegenskaperna som är viktiga för kapseln långsiktiga integritet.

Eftersom att gjutning av koppargöt till såväl extrudering av kopparrör och till ämnen för kopparlocken utförs i närvaro av luft bör SKB ytterligare beskriva risk för och vilka nivåer av oxidinneslutningar i kopparrör och kopparlock som är acceptabla och hur kontroll av

oxidinneslutningar eller sprickor som kan bildas under tillverkningen av koppardelarna kommer att ske.

Nyligen har presenterats att oxidinneslutningar bildas vid FSW svetsning av syrefri (OFP) koppar i luft /Savolainen, K., 2012/. SSM anser att SKB bör komplettera ansökan med hur denna defekttyp påverkar den mekaniska integriteten för kapseln. Dessutom bör SKB beskriva hur processfönstret för FSW beskrivet i /TR-10-14/ tar hänsyn till denna defekttyp. Därtill anser SSM att SKB bör redovisa inverkan av ytrenhet och förekomst av kopparoxid på kopparytan innan svetsning påverkar bildandet av oxidinneslutningar i svetsgodset och dess eventuella inverkan på kapselns mekaniska integritet.

Vid FSW svetsning så uppträder i alla FSW svetsar en svetsdefekt som benämns foglinjeböjning (JLH). Utsträckningen i radiell led för denna defekt anges i SKBdoc 1175236 till att vara ≤ 5 mm. Eftersom denna svetsdefekt reducerar korrosionsbarriären anser SSM att SKB bör redovisa hur den radiella utsträckningen för denna defekt påverkas av processparametrar som skulderdjup, verktygstemperatur och rotationshastighet. I de designförutsättningar som presenteras i /TR-09-22/ redovisas att koncentrationen av syre i OFP kopparen som används i kapseln tillåts vara några tiotals ppm. Eftersom att SKB:s krav på syre i kopparen är högre än vad som tillåts i ordinär syrefri koppar exempelvis enligt /SKBdoc1064458 v.8, SKBdoc1175208 v.5/ vilket är < 5 ppm bedömer SSM att SKB behöver redovisa att koppar med en syrehalt på några tiotals ppm uppfyller materialkrav på exempelvis krypduktillitet.

SKB redovisar i /TR-10-14/ vid ultraljudsprovning att områden med hög dämpning förekommer i det extruderade kopparröret. Orsaken till uppkomsten av dessa områden är oklar men kornstorleken i dessa områden är större jämfört med närliggande områden med lägre dämpning. SKB anger att medelkornstorleken för områdena med hög dämpning uppfyller materialkrav avseende medelkornstorlek på ≤ 360 μm . SSM anser att SKB ytterligare behöver redovisa resultat gällande områden med hög dämpning med avseende på exempelvis kemisk sammansättning, mekaniska egenskaper inklusive krypegenskaper och defektfördelning och jämföra dessa med motsvarande egenskaper för närliggande områden i samma rör. Dessutom bör SKB redovisa hur medelkornstorleken i områden med hög dämpning ska verifieras vid produktion av extruderade kopparrör.

För den valda smidesmetoden av locken kan enligt SKB inte kallbearbetning av kopparen helt undvikas. SKB redovisar att samtliga lock har områden som är kallbearbetade /TR-10-14, kap 5.4.9/. SKB redovisar även att krypduktilliteten reduceras med ökande grad av kallbearbetning vilket inte är förvånande. SSM anser att SKB bör redovisa variationen av kallbearbetningsgrad samt dess utbredning i locken och hur graden av kallbearbetning planeras att styras och kontrolleras vid produktion.

Tillverkning av gjuten segjärnsinsats

De materialkrav som den gjutna segjärnsinsatsen ska uppfylla är oklara. I /TR-10-14 kap. 5.2 refereras till en teknisk specifikation /KTS011, v.8/ men samtidigt nämns att denna tekniska specifikation kan komma att ändras. SSM anser att SKB tydligt bör ange vilka materialkrav på den gjutna insatsen som gäller för att den lastupptagande funktionen för kapseln ska upprätthållas. Det bör även klart redovisas dels inom vilket område på insatsen (BWR, PWR) dessa materialkrav ska bestämmas och dels att det utvalda provområdet ger en representativ bild av hur materialkraven för resterande del av insatsen uppfylls beroende på typ av insats (BWR, PWR) och gjutprocess.



De kompletteringar som begärs handlar samtliga om tillverkningsprocesser som kan påverka kopparkapselns funktion efter förslutning i enlighet med SSMFS 2008:21 5§.

Denna begäran om komplettering har beretts i tillståndsprövningsprojektets SIR grupp (Safety integration review team) och föredragits av Jan Linder.

Ansi Gerhardsson
Projektledare

Jan Linder
Handläggare

Referenser

Savolainen, K., 2012, Dissertation, Friction Stir Welding of Copper and Microstructure and Properties of the Welds, School of engineering, Department of Engineering Design and Production, Aalto University.

Bilaga 1f. Dnr SSM2011-2426-63 Begäran om komplettering av ansökan om slutförvaring av använt kärnbränsle – frågor om kriticitet

Kompletteringar

1. Utökad redovisning för användning av utbränningskreditering.
2. Systematisk identifiering av händelser och scenarier med avseende på risk för kriticitet.
3. Beskrivning av konsekvenserna vid kriticitet i slutförvaret.
4. Uppdatering av kriticitetssäkerhetsanalys SKBdoc 1193244.
5. Kriticitetssäkerhetsberäkning för bränsle från Ågesta och Studsvik.

Skälen för begäran om komplettering

SKB anger i SR-site att kriticitetssäkerhetsanalyser innefattar användande av utbränningskreditering. Tillämpning av utbränningskreditering i kriticitetssäkerhetsanalyser är under utveckling och har i Sverige endast använts i begränsad omfattning. Mot denna bakgrund anser SSM att SKB bör redovisa principerna för hur utbränningskreditering kommer att tillämpas. Exempel på områden som denna redovisning bör omfatta är vilka internationella standarder som kommer att åberopas, vilka experimentella data kommer att användas för validering av utbränningsgrad och kriticitetsberäkningar och hur kommer valideringen att gå till. Vidare anser SSM att SKB bör beakta nyare versioner och helt nya standarder och guider för kriticitetssäkerhet.

SSM anser att SKB bör redovisa vilken systematik som använts för att identifiera händelser och scenarier som skulle kunna leda till kriticitet i slutförvaret. Vidare bör redovisningen innehålla en beskrivning av de identifierade händelser och scenarier som SKB uteslutit för vidare analys med tillhörande förklaring.

I sektion 13.3 av /TR-11-1 vol III/ redovisar SKB att "The probability of criticality inside or outside the canister is considered to be negligibly small, based on the results reported in /SKBdoc 1193244/ and in /Van Konynenburg 1995, Oversby 1996, 1998, Nicot 2008/" SSM anser att SKB behöver redovisa hur händelsen kriticitet har uppskattats vara obetydligt liten (restrisk) exempelvis enligt de principer som tillämpas inom reaktorsäkerhetsområdet så som 2 § SSMFS 2008:17. Alternativt behöver SKB redovisa konsekvenserna av kriticitet för specifika scenarier vid drift av slutförvaret, hur kriticitet upptäcks samt beredskapsplaner för en kriticitetsolycka. Vidare, med stöd av allmänna råden till 9 § SSMFS 2008:21, anser SSM att SKB, som restskenario, behöver redovisa konsekvenserna av kriticitet efter förslutning av slutförvaret.

SSM anser att SKBdoc 1193244 version 4.0 "Criticality safety calculations of disposal canisters" behöver uppdateras vad gäller läsbarhet. Exempel finns på sid. 6, "No of neutrons per generation is 5000 and number of neutrons per generation is 3000". På sid. 40 anges att det är 3003 neutroner per generation vilket inte stämmer överens med någon av siffrorna som anges på sida 6. Vidare på sid. 40 redovisas en konstant $K=1.72$. Vid beräkning av standardavvikelse används sedan $K=1.703$. Vidare på sid. 42 finns teckenfel (+/-) i den löpande texten till figur 27. Även spårbarhet med referenser, alternativt förklarande text, till påståenden och antaganden kan förbättras anser SSM. Exempelvis på sid. 38 där SKB skriver "It is assumed that the burnup could vary 10% from the average at one side of the assembly with the same average value". En beskrivning eller hänvisning till referens som klargör varför det antagandet är adekvat är nödvändig anser SSM.

SSM anser att kriticitetssäkerhetsanalysen i SR-site även måste innefatta bränsle från Ågesta och Studsvik.



Begäran om komplettering gällande kriticitetssäkerhet i Miljökonsekvensbeskrivningen (MKB) hanteras inom granskningsområdet Slutförvarssystemet. Vidare anser SSM att SKB bör förtydliga avsnitt 3.4 i MKB om att neutronstrålning från kärnbränsle behöver tas i beaktan även efter reaktordrift.

Kompletteringar som begärs avser kriticitetssäkerhet och handlar om säkerhetsanalys enligt 4 kap. 1 § SSMFS 2008:1 och 9§ SSMFS 2008:21 samt säkerhetsredovisning enligt 4 kap. 2 § SSMFS 2008:1.

Denna begäran om komplettering har beretts i tillståndsprövningsprojektets SIR grupp (Safety integration review team) och föredragits av Mikael Kjellberg.

Ansi Gerhardsson
Projektledare

Mikael Kjellberg
Handläggare

Bilaga 1g. Dnr SSM2011-2426-68 Begäran om komplettering av ansökan om slutförvaring av använt kärnbränsle – inverkan av vätgas på bränsleupplösning.

Komplettering

SSM önskar en utförligare redovisning av vätgasens inverkan på oxidanter från vattenradiolys orsakad av alfastrålning samt konsekvenser för bränslets upplösningshastighet.

I kompletteringarna bör SKB:s egen sammanhängande förståelse av mekanismer bakom processerna ingå, samt SKB:s egen bedömning av om de experimentella resultat som observeras i korttidsexperiment är representativa för långtidsupplösning av bränslet i slutförvarsmiljön.

Detaljerad specifikation av kompletteringarna är följande:

- En systematisk utvärdering av några typiska relevanta experiment med syftet att leda till en bättre belysning av underliggande mekanismer samt bättre belysning av likheten/avvikelsen av de experimentella villkoren jämfört med slutförvarsmiljön. Specifik hänsyn bör tas till om experimenten görs under dominerande alfastrålning, om tider för experiment är tillräckligt långa för att bränsleupplösligheten inte längre öka, m.m.,
- En presentation av vilken eller vilka mekanismer involverande vätgas som förhindrar bränsleupplösning under alfa-bestrålning, med stöd av etablerade teorier och de framtagna experimentella resultaten. Några exempel på frågor som bör besvaras med mekanismbeskrivningen är: Reagerar vätgas med radikaler som produceras av alfastrålningen och därpå förhindrar bildning av molekyllära oxidanter och minskar oxidation av UO₂ samt bränsleupplösligheten? Reagerar vätgas med de molekyllära oxidanter som redan har bildats genom återkombination av radikalerna? Och/eller reagerar vätgas med någon redan oxiderade uranspecies antingen på ytan av bränslet eller i vattenlösningen?

Skälen för begäran om komplettering

SSM bedömer att SKB:s redovisning om frågan för närvarande är otillräcklig och kompletteringar behövs.

SKB har citerat många publikationer utan fördjupad systematisk analys vilket medför att publikationer med delvis motstridiga slutsatser jämfört med SKB:s egna har citerats utan förklaringar. Ett exempel är att slutsatsen i Broczkowski m.fl. (2007), som citerats i SKB (2010) sid. 59, är ”*There is no conclusive evidence to date, that the presence of dissolved H₂ can lead to the reduction of performed oxidised states on the UO₂ surface.*”, vilket strider mot SKB:s egna ställningstaganden. Ett annat exempel på brist av fördjupad systematisk analys är att ett av SKB:s egna experiment som är relevant för frågan och som visade flera tiopotensers högre bränsleupplöslighet (Röllin et al., 2009) inte har nämnts i SKB:s redovisning om processerna i bränslet (SKB, 2010).

I SKB:s redovisning av processerna i bränslet (SKB, 2010, sid. 60) anges att det grundläggande argumentet för den föreslagna relativt låga bränsleupplösligheten i SR-Site redovisas i King och Shoemith (2004) och Werme m.fl. (2004). Dessa rapporter har dock inte kunnat presentera någon eller några sammanhängande mekanismer bakom processerna. I den förstnämnda rapporten är framställningen delvis inkonsekvent.



SSM anser att bränsleupplösningen är en viktig process inom ramen för den långsiktiga strålsäkerheten av slutförvaret. Att SKB kan presentera en bra förståelse av processen med stöd av sammanhängande mekanismer och tydligt analyserade experimentella resultat som stöd för den relativt låga upplösligheten är mycket viktigt för SSM:s fortsatta granskning av den långsiktiga strålsäkerheten. Frågan om vätgas har eller inte har den förslagna inverkan på bränsleupplösningen har betydelse för SSM:s bedömning av SKB:s tillståndsansökningar (SSMFS 2008:37, § 5).

Referenser

Broczkowski M E, Noël J J, Shoesmith D W, 2007. The influence of dissolved hydrogen on the surface composition of doped uranium dioxide under aqueous corrosion condition. *J. Electroanalytical Chemistry*, 602, 8-16.

King F, Shoesmith D W, 2004. Electrochemical studies of the effect of H₂ on UO₂ dissolution. SKB TR-04-20, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm.

Röllin S, Spahiu K, Eklund U-B, 2001. Determination of dissolution rates of spent fuel in carbonate solutions under different redox conditions with a flow-through experiment, *J. Nucl. Mater.*, 297, 231–243.

SKB, 2010. Fuel and canister process report for the safety assessment SR-Site. SKB TR-10-46, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm.

Werme L O, Johnson L H, Oversby V M, King F, Spahiu K, Grambow B, Shoesmith D W, 2004. Spent fuel performance under repository conditions: A model for use in SR-Can. SKB TR-04-19, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm.

Denna begäran om komplettering har beretts i tillståndsprövningsprojektets SIR grupp (Safety integration review team) och föredragits av Jinsong Liu.

Ansi Gerhardsson
Projektledare

Jinsong Liu
Handläggare