



Regeringskansliet, Miljödepartementet

103 33 STOCKHOLM

## Yttrande

Datum: 2019-09-30

Er referens: M2018/00221/Ke

Diarienum: SSM2019-3168

Dokumentnr: SSM2019-3168-7

Handläggare: Michael Egan

Telefon: 08 799 43 14

## Remiss av Svensk Kärnbränslehantering AB:s kompletterande yttrande i ärende om tillståndsprövning enligt lagen (1984:3) om kärnteknisk verksamhet av anläggningar i ett sammanhängande system för slutförvaring av använt kärnbränsle och kärnavfall

### Strålsäkerhetsmyndighetens yttrande

Strålsäkerhetsmyndigheten (SSM) lämnar följande övergripande synpunkter efter granskning av Svensk Kärnbränslehantering AB:s (SKB) kompletterande yttrande i ärende om tillståndsprövning enligt lagen (1984:3) om kärnteknisk verksamhet (kärntekniklagen) av anläggningar i ett sammanhängande system för slutförvaring av använt kärnbränsle och kärnavfall (M2018/00221/Ke).

Den 16 mars 2011 lämnade SKB in ansökningar om tillstånd att få bygga en inkapslingsanläggning och ett slutförvar för använt kärnbränsle. Efter en omfattande granskning och flera kompletteringar av underlaget tillstyrkte SSM i januari 2018 SKB:s ansökan enligt kärntekniklagen och överlämnade ärendet till regeringen. Samma dag lämnade även mark- och miljödomstolen sitt yttrande till regeringen, med rekommendationen att ytterligare underlag behövs, särskilt avseende kopparkapselns långsiktiga beständighet, för att regeringen ska kunna ta beslut om tillåtlighet enligt miljöbalken.

SKB har till regeringen lämnat ett utökat underlag till sina ansökningar enligt kärntekniklagen som huvudsakligen är inriktat på de frågor som lyftes av mark- och miljödomstolen. SSM anser, efter att ha granskat det kompletterande underlaget, att SKB på ett tillfredsställande sätt har utrett och svarat på domstolens specifika frågor om kapselns integritet mot eventuella degraderings- och korrosionsprocesser. SKB:s kompletterande vetenskapliga studier och experiment har tillfört betydande ny information och ger en fördjupad förståelse för dessa processer och deras betydelse i slutförvarsmiljön relativt den redovisning som fanns tillgänglig i den ursprungliga tillståndsansökan. SKB för också ett utvidgat resonemang kring de olika processernas betydelse för en samlad bedömning av slutförvarets skyddsförmåga i förhållande till riskkriteriet i 5 § Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter och allmänna råd (SSMFS 2008:37) om skydd av människors hälsa och miljön vid slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle och kärnavfall.

SSM:s bedömning är att SKB väl har underbyggt och förstärkt slutsatserna i det tekniska underlaget som var tillgängligt under SSM:s beredning av ärendet och som myndigheten tidigare har analyserat och granskat i detalj. SKB har på ett tillförlitligt sätt visat att de



utredda processerna har en liten påverkan på slutförvarets sammantagna skyddsförmåga. SSM finner därför ingen anledning att ändra sina tidigare ställningstaganden, dvs. att SKB:s föreslagna plats är lämplig och metoden genomförbar med avseende på förutsättningarna att uppfylla högt ställda krav på strålsäkerhet efter förslutning, och att tillåtlighet enligt miljöbalken respektive tillstånd enligt kärntekniklagen därmed kan tillstyrkas.

SSM delar mark- och miljödomstolens konstaterande att kopparkapseln har en nyckelroll i slutförvarets skyddsförmåga. SSM vill dock särskilt framhålla att kapseln tillsammans med buffert och berg upprätthåller samverkande barriärfunktioner i slutförvarssystemet, vilket behöver vägas in vid en samlad bedömning av slutförvarets långsiktiga säkerhet och påverkan på människors hälsa och miljön. SSM anser att SKB genom sina platsundersökningar har visat att Forsmarksplatsen är lämplig för ett slutförvar och att bergets egenskaper på förvarsdjup ger goda förutsättningar att förhindra och begränsa spridning av radioaktiva ämnen. Även den buffert som omger kapseln bidrar i en betydande utsträckning till att begränsa påverkan på kapseln genom olika degraderings- och korrosionsprocesser samt till att begränsa spridning av radioaktiva ämnen för det fall en eller flera kapslar av någon anledning skulle falla.

SSM anser mot denna bakgrund att SKB har visat att slutförvarssystemets referensutformning som helhet är robust och att det av myndigheten föreskrivna riskkriteriet kan uppfyllas med betydande säkerhetsmarginaler. Riskkriteriet innebär enligt myndighetens föreskriftskrav att slutförvaret ska utformas så att den maximala årliga risken för människors hälsa inte överstiger en på miljonen, vilket i praktiken motsvarar en individdos på en hundradel av den naturliga bakgrundsstrålningen. Detta helhetsperspektiv på slutförvarssystemets robusthet och förmåga att skydda människor och miljön stöds av de beräkningar av möjliga omgivningskonsekvenser som har genomförts för ett antal olika scenarier. Därutöver visar såväl SKB:s redovisning som myndighetens egna analyser på att konsekvensen av ett tänkt bortfall av samtliga kapslars inneslutningsfunktion, dvs. ett scenario i vilket kapselns långsiktiga beständighet fullständigt har missbedömts, är begränsad till en individdos i närheten av slutförvaret som är i nivå med den naturliga bakgrundsstrålningen.

## Ärendet

Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB) har till Strålsäkerhetsmyndigheten (SSM) lämnat in en ansökan om tillstånd enligt kärntekniklagen till anläggningar i ett sammanhängande system för slutförvaring av använt kärnbränsle och kärnavfall. SSM har berett ansökan och överlämnat frågan med eget yttrande till regeringen den 23 januari 2018. SKB har efter föreläggande inkommit med ett kompletterande yttrande i ärendet [1]. SSM har fått SKB:s kompletterande underlag på remiss från miljödepartementet [2] och lämnar i denna skrivelse myndighetens synpunkter på detta underlag.

## Material som har granskats av SSM

Den större delen av SKB:s kompletterande material består av ett bemötande av fem huvudfrågor som togs upp i mark- och miljödomstolens yttrande till regeringen över SKB:s motsvarande ansökan om tillstånd enligt miljöbalken. Samtliga frågor avser processer som kan påverka beständigheten hos den kapsel som avses innesluta det använda kärnbränslet, och därmed dess roll i förhållande till slutförvarets skyddsförmåga på sikt. SKB:s svar presenteras i en teknisk rapport på engelska [3] samt en kortare sammanfattning på svenska [4]. Dessa dokument bygger på analys av resultaten från SKB:s senaste forskningsinsatser (dvs. arbete som har avslutats och avrapporterats under perioden efter SSM:s granskning av säkerhetsanalysen SR-Site med komplettering) samt

övriga forskningsresultat från studier som har utförts på uppdrag av SKB såväl som av andra aktörer. Som en del av kompletteringen har SKB även genomfört en uppdaterad konsekvensanalys för strålsäkerhet efter slutförvarets slutliga förslutning.

SKB har också yttrat sig angående sina ansökningar om tillstånd enligt kärntekniklagen med material [1] som avser

- en uppdatering av förslag på sådana tillståndsvillkor som regeringen kan meddela i samband med beslut enligt kärntekniklagen,
- kommentar på SSM:s yttrande till regeringen den 23 januari 2018, och
- yttranden och skrivelser till regeringen från tredje part.

### **Förutsättningar för SSM:s granskning**

SSM har granskat SKB:s kompletterande redovisning med avseende på bolagets presentation och tolkning av de senast genomförda vetenskapliga studierna med fokus på de osäkerheter som mark- och miljödomstolen har identifierat i sitt yttrande, samt med hänsyn till forskningsresultatens betydelse för bedömning av slutförvarets strålsäkerhet efter förslutning. Resultaten från myndighetens analys av SKB:s kompletterande underlag i kapselfrågor redovisas i SSM:s granskningsrapport (bilaga 1).

I denna granskning har SSM även inhämtat externt expertstöd i frågor om korrosionsprocesser och konsekvensanalys. Experternas uppdrag har varit att stödja myndigheten genom att granska och genomföra beräkningar samt analysera och kommentera SKB:s underlag utifrån de av mark- och miljödomstolen identifierade kompletteringsbehoven. Beräkningar som har utförts inom ramen för två modelleringsuppdrag bekräftar i huvudsak SKB:s motsvarande resultat i kompletteringen. Vidare har två av varandra oberoende grupperingar granskat SKB:s redovisning av korrosionsprocesser, i huvudsak de fem punkter som identifierades i domstolens yttrande. Den ena av dessa grupper är väsentligt mer kritisk till SKB:s resultat i sin rapport. SSM har i granskningen värderat SKB:s redovisning och experternas rapporter, liksom annan tillgänglig information, gjort egna bedömningar baserat på de resultat och argument som framförts och sammanställt resultatet i bilagd granskningsrapport, med analys och sammanvägda bedömningar.

SSM har förståelse för att det finns olika uppfattningar i frågan om ett slutförvar för använt kärnbränsle hos experter, intresseorganisationer och allmänhet, liksom en oro över hur säkerheten kan garanteras i hundratusentals år efter förslutning. Slutförvarsfrågan är komplex och kräver såväl systemförståelse som detaljerad teknisk och vetenskaplig kunskap. SSM kan konstatera att öppenheten i en lång process med lokalisering, metodutveckling och prövning av slutförvaret, inklusive det finansiella stödet till intresseorganisationer och berörda kommuner, skapat goda förutsättningar för dessa att aktivt bygga kunskap och bidra med synpunkter. Många viktiga och relevanta frågor har ställts till SSM under granskningen av SKB:s ansökningar vilket också bidragit till att kvalitets-säkra myndighetens bedömningar.

SSM vill erinra om att myndigheten i samband med sin beredning av SKB:s ansökningar enligt kärntekniklagen har detaljgranskat till ansökan hörande underlag, inklusive kompletterande tekniska redovisningar, avseende de frågor som togs upp av mark- och miljödomstolen<sup>1</sup>. SSM:s bedömningar av SKB:s kompletterande redovisning till regeringen ska därför läsas mot bakgrund av den omfattande analys av frågor som rör strålsäkerhet efter slutförvarets förslutning [5] som myndigheten redovisade i samband med sitt yttrande över bolagets ansökningar enligt kärntekniklagen [6] i januari 2018.

---

<sup>1</sup> Motsvarande underlag lämnades inte in i samband med bolagets ansökan enligt miljöbalken.

## Strålsäkerhetsmyndighetens synpunkter

### SKB:s kompletteringar avseende kapselns beständighet och slutförvarets skyddsförmåga

#### Samlad bedömning

SSM bedömer sammanfattningsvis att SKB:s kompletterande utredningar har tillfört betydande ny information om de processer som omnämndes i mark- och miljödomstolens fem punkter. Redovisningen ger en fördjupad förståelse för processerna och en ännu mer detaljerad bild av deras betydelse i en slutförvarsmiljö, i jämförelse med den redovisning som fanns tillgänglig i den ursprungliga tillståndsansökan. En av de processer som tidigare uteslutits från konsekvensanalysen har nu tagits med i beräkningarna, vilket dock inte annat än på marginalen förändrar bilden av slutförvarets långsiktiga skyddsförmåga. Mer specifikt, en form av gropkorrosion som SKB benämner mikrogalvanisk korrosion, som med ett pessimistiskt parameterintervall antas äga rum i eroderade deponeringshål, kan ge en brantare ökning av risk i ett visst tidsintervall (efter flera tiotusentals år) men innebär ingen signifikant ökning av de beräknade maximala radiologiska konsekvenserna.

Beträffande de övriga processerna anser SSM att SKB på ett tillförlitligt sätt har visat att de inte har någon påverkan av betydelse för slutförvarets skyddsförmåga. SSM betonar att med *förvarets skyddsförmåga* avses samtliga barriärers kombinerade funktion snarare än enbart kapselns funktion. SSM:s bedömning, att SKB har visat att förläggningsplatsen är lämplig, att metoden är genomförbar och att SKB har förutsättningar att uppfylla samtliga av SSM:s relevanta föreskriftskrav, kvarstår. Med *förutsättningar att uppfylla krav* menas här att SSM förväntar sig att SKB, efter att ha

- konstruerat tillfartsvägar till förvarsdjup och ytterligare har undersökt Forsmarksbergets egenskaper,
- vidareutvecklat tillverknings- och provningsmetoder för tekniska barriärer för tillämpning i industriell skala, samt
- slutfört utredningar föranledda av SSM:s tidigare granskningskommentarer,

kommer att kunna ge den information som krävs för att myndigheten i behörig ordning kan godkänna påbörjad provdrift, dvs. deponering av de första förslutna kopparkapslarna med använt kärnbränsle.

#### Allmänt om SSM:s ställningstagande

SSM vill, liksom i tidigare granskning av SKB:s ansökan, understryka att slutförvarets skyddsförmåga endast kan utvärderas om hela systemet med samtliga barriärfunktioner beaktas. Tillämpningen av flera barriärer och barriärfunktioner i KBS-3-systemet, både tekniska barriärer (kapsel och buffert) och den naturliga bergbarriären, innebär att den långsiktiga strålsäkerheten baseras på grundläggande principer som fullständig inneslutning samt fördröjning, långsam transport och avklingning av radioaktiva ämnen. Att enbart fokusera på en enda barriär och de processer som på sikt skulle kunna påverka dess beständighet ger därför en otillräcklig förståelse för SKB:s ansökan och ett vid Forsmarksplatsen lokaliserat KBS-3-slutförvars möjliga omgivningspåverkan.

Etableringen av ett slutförvar för använt kärnbränsle kräver, på samma sätt som för andra mycket långsiktiga miljöfrågor, att en värdering och analys av osäkerheter måste göras inom ramen för en övergripande analys (i detta fall säkerhetsanalysen SR-Site inklusive uppdateringar), samt att forskning kring vissa specifika osäkerheter inte nödvändigtvis kan slutföras vid en specifik tidpunkt utan behöver fortgå under lång tid. I detta sammanhang fram till driftsättningen och under själva driften av ett slutförvar, i syfte att optimera och



vidareutveckla slutförvarets säkerhetsfunktioner. Med tanke på bland annat de mycket långa tidsskalor som behöver hanteras i säkerhetsanalysen kan inte SSM kräva att definitiva svar kan ges på samtliga relevanta granskningsfrågor vid en tidpunkt. Vissa frågor behöver kunna hanteras med en värdering av olika typer av argument samt en analys av systemets känslighet och osäkerheter. SSM:s uppgift som beredande myndighet i prövningen av ett tillstånd enligt kärntekniklagen innebär att värdera enskilda osäkerhetens betydelse och att bedöma om slutförvarssystemet i sin helhet kan uppfylla myndighetens högt ställda krav på strålsäkerhet.

Bergets egenskaper har stor betydelse vid geologisk slutförvaring av använt kärnbränsle 500 meter under markytan. SSM bedömer att SKB:s platsundersökningar har visat att Forsmarksplatsen är lämplig för ett slutförvar och ger en tydlig bild av bergets och den nuvarande biosfärens egenskaper. Den konstaterade låga frekvensen av vattenförande sprickor på runt 500 meters djup vid Forsmark innebär att deponeringshålen förväntas ha få eller inga direkta transportvägar till omgivande berg. De grundvattenkemiska förhållandena är också gynnsamma för de tekniska barriärernas långsiktiga integritet. Detta bedöms vara positiva egenskaper som i hög utsträckning minskar risken för kapselskador och spridning av radioaktiva ämnen från slutförvaret. SSM lyfte i sin tidigare granskningsrapport [5] särskilt upp betydelsen av förståelse för den period som bufferten ännu är omättad. SKB har tillfört ny information om denna aspekt i sin kompletterande redovisning av utvecklingen av slutförvarsmiljön [3].

Berget och bufferten i slutförvarssystemet har vardera två betydelsefulla säkerhetsfunktioner som behöver vägas in vid bedömningen av SKB:s uppdaterade redovisning av kopparkapseln. Den första funktionen hos berget avser att tillgodose stabila gynnsamma kemiska förhållanden och begränsa grundvattenflöden. Därmed begränsas transport av korroderande ämnen och omfattning av korrosionsangrepp på kopparkapseln. Även bufferten bidrar i en betydande utsträckning till att begränsa transport av lösta ämnen i grundvatten, vilket också bidrar till att reducera omfattningen av kapselkorrosionsprocesser. Den andra funktionen avser att begränsa och fördröja transport av upplösta radioaktiva ämnen från det använda kärnbränslet för det fall kapselbrott av någon anledning skulle förekomma. Specifika vetenskapliga och tekniska frågor i SKB:s kompletterande redovisning [3] behöver värderas med hänsyn tagen till dessa två säkerhetsfunktioner och det föreslagna flerbarriärssystemets totala skyddsförmåga. I detta avseende behöver man skilja mellan å ena sidan att en viss nivå av osäkerhet kan kvarstå även efter att en process som kan påverka kopparkapseln har blivit grundligt undersökt, å andra sidan betydelsen av en sådan kvarstående osäkerhet för en bedömning av slutförvarssystemets sammantagna skyddsförmåga, dvs. dess möjliga framtida påverkan på människors hälsa och miljön.

En värdering av argument för och emot en viss process betydelse för slutförvarets skyddsförmåga behöver sträcka sig bortom frågan om huruvida processen finns överhuvudtaget eller om den kan inträffa i slutförvarsmiljön. Bland de övriga frågor som SSM tillämpar i sin granskning och utvärdering av SKB:s underlag finns följande:

- Har processen en betydande påverkan eller kan den försummas helt?
- Vilka faktorer i slutförvarsmiljön påverkar processen?
- Kan den själv eller i samband med andra processer orsaka kapselbrott eller skador på andra barriärer i slutförvarssystemet?
- Hur många deponeringshålspositioner kan påverkas och vilken tidshorisont är aktuell?
- Vad har processen för betydelse för uppfyllelse av SSM:s föreskriftskrav, så som uppfyllelse av riskkriteriet och krav på optimering av systemkonstruktionen?



SSM sammanfattar nedan sin bedömning av hur väl SKB:s uppdaterade redovisning täcker in de fem punkter som mark- och miljödomstolen tog upp i sitt yttrande med hänsyn tagen till dessa perspektiv.

Myndigheten har i sitt tidigare granskningsarbete identifierat ett utvecklingsbehov kopplat till SKB:s angreppssätt för analys av konceptuella osäkerheter i samband med förhållandevis tidiga kapselbrott [5]. SSM:s granskningskommentarer i detta avseende omfattade lokala korrosionsprocesser i samband med de initialt omättade förhållandena i bufferten, vilket även mark- och miljödomstolen tog upp i sitt yttrande, men även andra frågor såsom kapselns tålighet mot krypdeformation. SSM konstaterade att SKB:s säkerhetsanalys var något knapphändig i sin hantering av dessa processer och att det inte alltid var enkelt att fullt ut utröna innebörden och säkerhetsbetydelsen av processer som inte hade hanterats explicit i scenarioanalysen, utan som istället hade adresserats genom olika uteslutningskriterier.

Med tanke på att konceptuell osäkerhet kring processer och framtida förhållanden i slutförvarsmiljö oftast inte helt kan elimineras, bedömde SSM att SKB:s analys skulle gynnas av att tillföras fler scenarier och beräkningsfall som motsvarar de av SSM föreskrivna scenariokategorierna *mindre sannolika scenarier* respektive *restscenarier*. Myndighetens motivering var att avsaknad av en explicit hantering i scenario- och känslighetsanalys skulle kunna medföra begränsningar med avseende på underlaget för såväl optimering av slutförvarets skyddsförmåga som utveckling av de tekniska barriärerna. Denna slutsats ska dock inte tolkas som att samtliga tänkbara processer behöver hanteras på detta sätt. Enligt SSM:s detaljerade bedömning i specifika frågor (se nedan) behövs inga särskilda scenarier för flertalet av de processer som SKB har hanterat i sin komplettering.

En av de processer som tidigare uteslutits från konsekvensanalysen (gropkorrosion) har nu explicit tagits med i SKB:s riskberäkningar, där resultat visar att processen inte annat än på marginalen förändrar bilden av slutförvarets långsiktiga skyddsförmåga. SKB har också, både i samband med sina ansökningar och sitt kompletterande underlag till regeringen, genomfört analyser av fall med tänkta och långtgående bortfall av barriärer och säkerhetsfunktioner för individuella barriärer. Dessa resultat ger en grundläggande förståelse för hur de olika barriärerna både enskilt och i samverkan med varandra bidrar till slutförvarets långsiktiga strålsäkerhet. SSM anser att de konsekvensanalyser som påvisar begränsning av omgivningskonsekvenser även vid tänkta bortfall av säkerhetsfunktioner och enskilda barriärer ger tilltro till att slutförvarssystemet som helhet är robust. Resultaten bidrar enligt myndighetens uppfattning till att belysa frågor kring SKB:s bevisbörda med hänsyn till hur stor risken är att miljö- eller hälsopåverkan uppkommer och förstärker bedömningen att SKB har lagt fram tillräckligt belägg i frågor om kapselns beständighet för att bolagets val av plats och metod ska kunna godtas.

SSM har med stöd av externa experter under sin beredning av SKB:s ansökan enligt kärntekniklagen låtit utföra en rad studier för att verifiera SKB:s konsekvensanalys. Experterna har bl.a. analyserat konsekvenserna av ett tänkt bortfall av inneslutningsfunktionen hos samtliga kapslar i ett KBS-3-slutförvar vid Forsmark under de specifika tidsintervall som anges nedan [7]. Dessa beräkningsfall var inte relaterade till någon specifik mekanism för kapselbrott och skiljer sig i viss utsträckning från de hypotetiska scenarier som har redovisats av SKB. De mest pessimistiska fallen, där kapselbrott antogs uppstå i samtliga kapselpositioner under perioder av 100, 300 respektive 1000 år, tyder på maximala årliga indosor för den mest exponerade gruppen i intervallet 0,3–1 mSv, vilket är i nivå med den naturliga bakgrundsstrålningen.



Som framgick inledningsvis stärker SKB:s kompletterande information SSM:s tidigare slutsats att SKB genom slutförvarets lokalisering och konstruktion har förutsättningar att uppfylla myndighetens krav med avseende på långsiktig strålsäkerhet efter förvarets slutliga förslutning. Ett flertal osäkerheter som SSM identifierat i sin tidigare granskningsrapport [5] har med hjälp av den nya informationen klargjorts och belysts på ett mer fullständigt sätt. SSM anser, liksom i sin tidigare bedömning, att dessa osäkerheter genomgående avser frågan om processer som har befunnits ha ingen eller en begränsad betydelse för slutförvarets långsiktiga risk och skyddsförmåga. SSM:s specifika bedömningar angående SSM:s senaste kompletterande underlag i de olika områdena sammanfattas nedan under motsvarande rubriker.

### **Korrosion av koppar i rent syrgasfritt vatten**

Enligt SSM:s bedömning har processen korrosion av koppar i rent syrgasfritt vatten en försumbar betydelse med avseende på strålsäkerheten för ett slutförvar med använt kärnbränsle inneslutet i kopparkapslar. Den vetenskapliga grundfrågan huruvida en korrosionsreaktion överhuvudtaget äger rum i rent syrgasfritt vatten har inte varit avgörande för denna slutsats, utan snarare att den studerade reaktionen inte avser den kemisk reducerande sulfidmiljö som förväntas i slutförvaret, samt att omfattningen av reaktionen enligt etablerad kunskap är så liten att den knappast ens kan mätas och än mindre påverka kapslar med ett fem centimeter tjockt kopparhölje placerade i ett slutförvar på 500 meters djup. För att en korrosionsprocess inte bara ska initieras utan även fortskrida krävs ett materieutbyte med omgivningen. Processen kontrolleras därför av såväl den mycket begränsade termodynamiska drivkraften för reaktionen som de låga materieöverföringshastigheterna i slutförvarsmiljön.

SSM konstaterar att ett betydande antal experimentella studier kring processen har slutförts på uppdrag av såväl SKB som av andra aktörer. Den vätgasutveckling som har kunnat uppmätas i olika typer av försöksuppställningar har generellt sett varit avtagande och mycket liten. Även om den skulle ha orsakats av den föreslagna korrosionsprocessen är betydelsen i kontexten slutförvaring liten. För att kunna verifiera att uppmätt vätgasutveckling verkligen har orsakats av kopparkorrosion och inte av någon annan orsak krävs att den har åtföljts av bildning av en korrosionsprodukt med högre termodynamisk stabilitet i jämförelse med kända fasta faser i systemet. Ingen information har kommit fram som verifierar att en hittills okänd korrosionsprodukt har bildats under dessa försök, som skulle kunna medföra en avgörande inverkan på kopparkapselns korrosionsförlopp.

SSM anser att inga ytterligare studier behövs utöver dem som SKB hittills har låtit utföra för att påvisa vätgasutveckling och korrosion för kopparprover exponerade i rent syrgasfritt vatten. Det behövs heller inga särskilda scenarier inom säkerhetsanalysen för att ytterligare belysa korrosion i rent syrgasfritt vatten.

### **Gropkorrosion på grund av reaktion med sulfid**

SSM anser att SKB, genom den betydande omfattningen av studier och experiment som utförts och som redovisas i det kompletterande underlaget, har fördjupat förståelsen för lokala korrosionsangrepp i sulfidmiljö och deras betydelse i slutförvarsmiljön. SKB har, baserat på sitt utökade experimentella underlag, definierat trovärdiga gränsvärden avseende tillförsel av sulfid samt sulfidhalt i närheten av kapselns yta under vilka gropkorrosion inte förväntas kunna ske.

SKB visar, med beaktande av bentonitlerans och bergets egenskaper, att en tillräckligt stor tillförsel av sulfid för att gropkorrosion ska kunna äga rum är svår att erhålla i ett KBS-3-slutförvar vid Forsmark. Särskilt fokus har lagts på att analysera möjligheter för att gas-



formig vätesulfid skulle transporteras till kapselytan under bentonitbuffertens initiala omättade fas. SSM konstaterar att SKB genom sitt utökade experimentella underlag har tillfört information som inte tidigare funnits tillgänglig avseende potentiella korrosionsangrepp under denna buffertfas. SSM bedömer att SKB har visat att de sulfidflöden som förväntas i slutförvarsmiljön under denna tidsperiod kan begränsas så att de vida under-skrider det gränsvärde för sulfidflöde som bolaget definierar för gropkorrosion.

I det kompletterande underlaget bedömer SKB att risken för en form av gropkorrosion under senare faser i slutförvarets utveckling inte helt kan uteslutas. SKB har därför integrerat ett beräkningsfall i huvudscenariot för slutförvarets utveckling som beaktar effekten av gropkorrosion, där processen antas inträffa i samband med buffererosion. SSM konstaterar att även ett explicit beaktande av gropkorrosion inte innebär någon signifikant ökning av de beräknade maximala radiologiska konsekvenserna.

### Spänningskorrosion av koppar i sulfidmiljö

Spänningskorrosion är en lokal korrosionsform som är förhållandevis komplex då den innefattar en samverkan mellan kemiska och mekaniska förhållanden. Generellt fordras en bildning av en passiverande film på metallytan i kombination med att dragspänningar föreligger i metallen. SSM konstaterar att inget tillgängligt experimentellt underlag föreligger, varken från studier utförda i SKB:s regi eller från andra forskare, som visar på att sprickbildning av koppar som följd av spänningskorrosion förekommer vid sulfidhalter i närheten av de som förväntas i slutförvarsmiljön vid Forsmark. SSM anser att SKB:s kompletterande insatser, vilket innefattar studier för att förstå processens mekanismer, kapselns spänningstillstånd samt analys av materietransport av sulfid i deponeringshålen har ökat tilltron till att risken är mycket liten för att processen ska initieras och propageras vid låga sulfidhalter och låga sulfidflöden motsvarande de som förväntas i slutförvarsmiljön.

SSM konstaterar att SKB har utfört ett betydande antal nya studier för att belysa förutsättningarna för att en passiverande film ska kunna bildas, i första hand för att studera gropkorrosion men resultaten har även bäring på förutsättningarna för att de flesta former av spänningskorrosion ska kunna initieras. Dessa resultat visar generellt på att passiverande sulfidfilmer inte bildas vid låga sulfidhalter och låga sulfidflöden. SKB har även utfört beräkningar för att kartlägga kapselns spänningstillstånd och identifiera positioner i höljet med dragspänningar, vilket är en annan förutsättning för att spänningskorrosion ska kunna initieras.

Buffertens status har en betydande påverkan på materieöverföring av sulfid, vilket är av relevans för bedömning av spänningskorrosion eftersom tillförseln av sulfid avgör om en spänningskorrosionsspricka inte bara kan initieras utan även propageras i en utsträckning så att kopparhöljets integritet påverkas. SKB:s komplettering visar på ett mer utförligt och väl underbyggt sätt än tidigare hur förhållanden i ett förslutet slutförvar begränsar sulfid-tillförsel under omättade buffertförhållanden. Under mättade buffertförhållanden konstaterar SSM att tillförseln av sulfid till kapselytan från omgivande grundvatten är mycket begränsad vilket medför att SSM bedömer att risken för att spänningskorrosion är mycket liten under denna tidsperiod. Avseende eroderade deponeringshål instämmer SSM med SKB i att dessa förhållanden är relevanta för gropkorrosion (se ovan) snarare än för spänningskorrosion, bland annat eftersom buffertens svälltryck eliminerats och eftersom fallet inträffar mycket lång tid efter pålastningen av kapseln.

SSM:s övergripande slutsats är att SKB:s insatser för att ytterligare belysa processens förutsättningar i sulfidmiljö har skapat en än större tilltro till att det råder mycket liten sannolikhet för att sprickor uppstår som kan tillskrivas spänningskorrosion vid de låga





sulfidhalter som förväntas i slutförvarsmiljö. Processens komplexitet medför dock att det finns ytterligare frågor som kan utforskas för att belysa möjligheterna för att vidare optimera slutförvarets konstruktion.

### Saunaeffektens betydelse

SKB:s beaktande av saunaeffekten i deponeringshål beskrivs i ett enskilt kapitel av rapporten. Frågan redogörs därmed inte integrerat med redovisningen av groppkorrosion respektive spänningskorrosion, dvs. inte helt i enlighet med hur mark- och miljödomstolen tar upp frågan. Oavsett detta bedömer SSM att SKB:s redovisning av ytterligare och fördjupade experimentella och teoretiska utredningar kring saunaeffekten är vetenskapligt välgrundad, trovärdig och godtagbar. Vidare har SSM förståelse för att SKB, genom att hålla diskussionen om saunaeffekten skild från redovisningen av korrosionsprocesser, har försökt renodla rapporteringen för att inte komplicera sin analys i onödan.

SSM anser att dessa kompletterande utredningar, i synnerhet SKB:s senare uppsättning av tester med bentonitblock och överslagsberäkningar, har bekräftat de antaganden som ligger bakom valet av parametrar i motsvarande teoretiska modellering och har förstärkt bolagets tidigare slutsatser kring saunaeffektens försumbara inverkan på korrosion av kapseln i slutförvarsmiljön.

### Väteförspredning

Beträffande väteförspredning har SKB sammanfattat den tillgängliga informationen om väteets inverkan på koppars materialegenskaper i slutförvaret. Redovisningen omfattar både det initiala innehållet av syre respektive väte i kapselns kopparhölje efter tillverkningen samt tänkbara mekanismer för väte tillförsel i slutförvarsmiljön och deras betydelse.

SKB har i samarbete med Posiva i Finland under de senaste åren på ett betydande sätt vidareutvecklat svetsmetoden för en kapsel tillverkad med OFP-koppar för att undvika och minimera förekomst av oxidföreningar. SSM bedömer att detta arbete visar att SKB i samband med drift av inkapslingsanläggningen kommer att kunna åstadkomma förslutningssvetsar med tillräckligt låg syrehalt med syftet att eliminera risken för s.k. vätesjuka på grund av oxidföreningar. SKB har även genomfört nya laboratorieundersökningar för att utvärdera andra effekter av artificiell väteladdning av koppar, förutom vätesjuka kopplat till oxidföreningar, så som yttlig sprickbildning och förändrade krypegenskaper vid förhöjda vätehalter.

SSM bedömer att sulfidkorrosion av koppar är mest relevant som tänkbar drivkraft för bildning av väte och väteladdning av koppar i ett slutförvar, men att effekten oavsett detta skulle vara mycket liten för det stora flertalet kopparkapslar som en följd av långsamma grundvattenflöden och den generellt begränsade tillgången på sulfidjoner i berget. Den långt mer begränsade tänkbara inträngning av väte i slutförvarsmiljö i jämförelse med de experimentella studier där fenomenet har studerats medför lägre halter av väte i koppar och en mindre potentiell påverkan på koppars materialegenskaper än vad som observerats i experimenten. Lokal tillförsel av väte i korngränser i samband med lokala korrosionsprocesser skulle kunna ha en betydelse men SSM bedömer att sannolikheten för ett sådant fall är låg eftersom tillgängliga sulfidjoner som tillförs utifrån förväntas kunna konsumeras över hela kapselytan.

SSM anser att ytterligare experimentella studier med hög känslighet och detektionsförmåga som simulerar väteladdning av koppar i slutförvarsmiljö, samt inverkan av väteladdning i perspektivet spänningskorrosion och krypdeformation av kopparhöljet är berättigade fram till en kommande ansökan om driftstart. Syftet bör vara att underbygga krav på kapselns detaljutformning. Relevanta faktorer avser exempelvis inverkan av dragspänningarnas omfattning och placering i samband med uppbyggnaden av buffertens svälltryck respektive av definition av deformationer av kopparhöljet med avseende på placering och magnitud som inte äventyrar kapselns integritet.

### Strålningens inverkan på gropkorrosion, spänningskorrosion och väteförspredning

I SKB:s kompletterande redovisning framkommer att bolaget har låtit utföra ytterligare undersökningar och beräkningar med bäring på frågan om strålningens inverkan på korrosion och materialegenskaper. Den uppdaterade bilden av strålningskemiska processer, med hänsyn tagen till den begränsade tidsperioden under vilken förhöjda gamma-doser varar, visar att bildning av oxidanter på ett obetydligt sätt bidrar till allmän-, grop- och spänningskorrosion samt att väteförspredning till följd av väteladdning förväntas vara mycket liten jämfört med det som kan uppstå från den betydligt mer uthålliga sulfidkorrosionen.

SSM konstaterar att SKB redovisar nytt underlag även för den direkta effekten av neutron- och gammastrålning inuti kapselmateriel (både koppar och gjutjärn), en fråga som inte specifikt nämns i mark- och miljödomstolens fem punkter. Myndigheten bedömer att de nya beräkningarna och försöken på ett trovärdigt sätt bekräftar att eventuella strålnings-inducerade skador i kapselmateriel inte har någon mätbar betydelse för materialets mekaniska egenskaper, elektriska ledningsförmåga eller kemiska sammansättning.

### Säkerhetsbetydelse och konsekvensberäkningar

SKB:s analys av risker i samband med kapselbrott i SR-Site och även i den senaste redovisningen illustrerar vikten av ett helhetsperspektiv när det gäller att beakta det mycket begränsade antal deponeringshål där de övriga två barriärerna förutom kapseln (bufferten och berget) kan förväntas bli försvagade eller där deras funktioner helt har fallerat som resultat av den långsiktiga utvecklingen av slutförvarssystemet. Detta kräver antingen en kombination av buffeterosion och korrosion i deponeringshål med förhållandevis höga grundvattenflöden alternativt mekaniska kapselskador på grund av jordskalvris i deponeringshål som korsas av stora strukturer i berggrunden. SSM instämmer med SKB:s argument att de processer som skulle kunna påverka kapselns beständighet har visats ha ringa konsekvenser, mot bakgrund av kapselns utformning, så länge de övriga barriärerna uppfyller de säkerhetsfunktioner som tilldelas dem.

SSM anser det motiverat att beakta gropkorrosion i riskberäkningarna givet den argumentation som SKB för avseende tröskelvärden på sulfidflöden över vilka initiering av en lokal korrosionsprocess inte helt kan uteslutas. Detta kan under ett visst tidsintervall i förvarets senare utveckling (efter flera tiotusentals år) ge en något snabbare ökning av den potentiella risken, men har ingen betydande inverkan på förvarets beräknade omgivningspåverkan. SSM har upprepat en delmängd av SKB:s beräkningar och bedömer SKB:s tillvägagångssätt i samband med den utökade analysen av kravuppfyllelse för riskkriteriet som rimligt.

SSM anser att SKB:s redovisning av beräkningsfall som innefattar tänkta eller mycket pessimistiska antaganden om tidiga kapselskador är betydelsefull. SSM menar att konsekvensanalyser som påvisar begränsning av omgivningskonsekvenser även vid tänkta

bortfall av säkerhetsfunktioner och enskilda barriärer ger tilltro till att slutförvarssystemet som helhet är robust. Resultat som presenteras i SKB:s kompletterande redovisning är beroende av användningen av ett mindre pessimistiskt sätt att modellera biosfären jämfört med den tidigare säkerhetsanalysen SR-Site. Detta tillvägagångssätt kan vara motiverat men utan en mer djupgående beskrivning av de antaganden som ligger bakom biosfärsmodellen avstår SSM från att kommentera de specifika dosvärden som har beräknats. SSM har dock under sin beredning av SKB:s ansökan enligt kärntekniklagen låtit utföra en rad studier för att verifiera SKB:s konsekvensanalys. Bland annat har SSM:s externa experter analyserat konsekvenserna av ett tänkt bortfall av inneslutningsfunktionen hos samtliga kapslar i ett KBS-3-slutförvar vid Forsmark under olika tidsintervall [7]. Dessa beräkningsfall använder SKB:s ursprungliga, mer pessimistiska biosfärsmodeller och ger, från SSM:s ståndpunkt, tilltro till att de maximala årliga individdoserna för den grupp som utsätts för den största risken inte överstiger ett värde som är i nivå med den naturliga bakgrundsstrålningen, dvs. för ett scenario i vilket kapselns långsiktiga beständighet fullständigt har missbedömts.

## SKB:s kompletteringar i övriga frågor

### Förslag till villkor

SKB gör, i avsnitt 2 i yttrandet till regeringen [1], en fullständig redovisning av sina yrkanden och förslag till villkor för tillstånd enligt kärntekniklagen för de två ansökningar som gäller Clab/Clink respektive kärnbränsleförvaret. SKB anger att de ursprungliga texterna till dessa har justerats ”i enlighet med formuleringar som föreslagits av SSM” i sitt yttrande till regeringen den 23 januari 2018 [6], med tilläggsförslag att ett särskilt tillstånd med tillhörande villkor ges för utökad mellanlagring i Clab.

SSM anser att SKB:s justerade yrkanden och förslag till villkor är lämpliga och att dessa ska ha företrädare framför tidigare föreslagna yrkanden och villkor. SSM tillstyrker även SKB:s separata yrkande om särskilt tillstånd för utökad mellanlagring i Clab. Det innebär enligt SSM:s uppfattning att det blir enklare att hantera de praktiska följderna av att fortsätta driva mellanlagret fram till den tidpunkt där inkapslingsanläggningen är färdigbyggd. Dessutom konstaterar SSM att SKB:s förslag till ett villkor om att en omarbetad säkerhetsredovisning ska prövas och godkännas av myndigheten innan den slutliga förslutningen av kärnbränsleförvaret får inledas stämmer väl med myndighetens bestämmelser i 11 § Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter och allmänna råd (SSMFS 2008:21) om säkerhet vid slutförvaring av kärnämne och kärnavfall.

### Kommentar på SSM:s yttrande till regeringen den 23 januari 2018

I avsnitt 3 av sitt yttrande [1] uppger SKB att bolaget inte har något att invända mot de förutsättningar för tillstyrkan som anges i SSM:s yttrande över tillståndsansökningarna [6]. SKB planerar att lämna in särskilda redovisningar avseende de utvecklingsbehov som SSM har identifierat i sin granskning av underlaget till ansökningarna samtidigt med de preliminära säkerhetsredovisningar (PSAR) som ska prövas och godkännas av myndigheten innan uppförandet får påbörjas. SSM anser detta vara ett rimligt tillvägagångssätt men kommer utnyttja möjligheten att fortsätta följa SKB:s pågående arbete genom publicerade rapporter och särskilda tekniska avstämningar fram till dess.

SKB ger också en kort översikt över bolagets syn på övriga prövningssteg som identifieras i villkorsförslagen. Diskussionen omfattar, bland annat, SKB:s uppfattning av konceptet ”provdrift” med avseende på kärnbränsleförvaret samt förhållandet mellan ett geologiskt



förvars slutliga förslutning och de nedmonterings- och rivningsaktiviteter som är förknippade med det sista skedet i andra kärnteknikanläggningars livscykel. SSM har inga specifika synpunkter på SKB:s övergripande bild men noterar att det av naturliga skäl återstår mycket detaljarbete med kravställning inför de provningssteg som följer efter ett eventuellt medgivande till att påbörja uppförandet av anläggningarna. För övrigt konstaterar myndigheten att lagutredningen [8] har identifierat ett behov av bestämmelser i kärntekniklagen gällande särskilt tillstånd från regeringen för att få slutligt försluta ett geologiskt slutförvar. SSM anser detta konsekvent med att staten sedermera antar ansvaret för det förslutna slutförvaret och det radioaktiva avfallet som har deponerats.

### Kommentar på vissa andra yttranden och skrivelser inkommande till miljödepartementet

SKB lämnar i avsnitt 5 av sitt yttrande [1] ett kortare bemötande av ett antal yttranden med invändningar mot bolagets föreslagna metod och lokalisering för kärnbränsleförvaret samt det underlag som SKB har utvecklat som stöd för motsvarande ansökan om tillstånd enligt kärntekniklagen. SSM har inga specifika synpunkter att lämna på bemötandet.

---

I detta ärende har generaldirektören Nina Cromnier beslutat. Utredaren Michael Egan har varit föredragande. I den slutliga handläggningen har också avdelningschefen Johan Anderberg, enhetschefen Ansi Gerhardsson och miljörechtsexperterna Tomas Löfgren deltagit.

STRÅLSÄKERHETSMYNDIGHETEN

Nina Cromnier

Michael Egan

Detta ärende expedieras utan underskrifter.

### Bilaga

1. *SSM:s granskning av SKB:s komplettering till regeringen om kapselintegritet, SSM2019-3222-2, 2019-09-30.*

### Referenser

- [1] SKB, *Yttrande enligt kärntekniklagen. Angående ansökningar om tillstånd enligt kärntekniklagen för mellanlagring och slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle och kärnavfall, M2018/00221/Ke, SKBdoc 1699592, Svensk Kärnbränslehantering AB, 2019-04-03*
- [2] Miljödepartementet, *Remiss av Svensk Kärnbränslehantering AB:s kompletterande yttrande i ärende om tillståndsprövning enligt lagen (1984:3) om kärnteknisk verksamhet av anläggningar i ett sammanhängande system för slutförvaring av använt kärnbränsle och kärnavfall, M2018/00221/Ke, 2019-04-25.*



- [3] SKB, *Supplementary information on canister integrity issues*, Technical Report TR-19-15, Svensk Kärnbränslehantering AB, mars 2019
- [4] SKB, *Komplettering om kapselintegritet*, SKBdoc 1718509, Svensk Kärnbränslehantering AB, 2019-04-02
- [5] SSM, *Strålsäkerhet efter slutförvarets förslutning. Beredning inför regeringens prövning: Slutförvaring av använt kärnbränsle*. SSM rapport 2018:07, Strålsäkerhetsmyndigheten, januari 2018
- [6] SSM, *Yttrande över ansökningar om tillstånd till anläggningar för slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle*, SSM2011-1135-23, Strålsäkerhetsmyndigheten, 2018-01-23
- [7] Pensado O, *Radionuclide release rates associated with bounding cases featuring relatively early canister failures in a spent fuel repository*, SSM Technical Note 2017:15, Strålsäkerhetsmyndigheten, 2017-04-07.
- [8] SOU, *Ny kärntekniklag – med förtydligat ansvar*, SOU 2019:16, mars 2019