



## Rapport

Datum: 2020-03-30

Diariernr: SSM2018-5179

Dokumentnr: SSM2018-5179-9

Process: 7.3

Handläggare: Bengt Hedberg

---

Arbetsgrupp: Pål Andersson, Maria Bergström, Patrik Borg, Annika Bratt, Erica Brewitz, Elena Calota, Michael Egan, Elisabet Höge, Markos Koufakis, Sara Lindgren, Jinsong Liu, Maria Nordén, Carl-Henrik Pettersson, Åke Rosen, Karolina Stark, Erik Strindö, Bo Strömberg, Sara Sundin, Anders Wiebert, Biruk Woldemedhin, Åsa Zazzi, Jenny Zettersten, Henrik Öberg.

Beredning: Ansi Gerhardsson, Eva Gimholt, Johan Anderberg

Beslut: Nina Cromnier

---

## Granskning och utvärdering av Fud-program 2019





# Innehåll

Innehåll .....	3
Sammanfattning .....	5
Inledning .....	5
SSM:s sammanfattande synpunkter på SKB:s Fud-program 2019 .....	6
Remissinstansernas övergripande synpunkter på SKB:s Fud-program 2019 .....	12
1 Inledning .....	15
1.1 Allmänt om programmet .....	15
1.2 Förutsättningar för SSMs granskning och utvärdering .....	16
1.3 SSM:s beredning av ärendet .....	20
1.4 Granskningsrapportens struktur .....	20
2 Övergripande synpunkter på Fud-program 2019 .....	23
2.1 Struktur och innehåll i SKB:s redovisning .....	23
2.2 Remissinstanserna allmänna synpunkter .....	25
3 Verksamhet och handlingsplan .....	33
3.1 Inledning .....	33
3.2 Förutsättningarna för SKB:s verksamhet .....	34
3.3 Övergripande beskrivning av SKB:s verksamheter .....	35
3.4 Plan för genomförandet .....	40
3.5 Handlingsalternativ vid förändrade förutsättningar .....	43
3.6 Fortsatt forskning och utveckling .....	45
3.7 SKB:s ledning och styrning av verksamheten .....	47
3.8 Bevarande av kunskap och information .....	55
3.9 Andra metoder för slutförvaring .....	56
3.10 Övervakning under uppförande och drift .....	57
3.11 SSM:s samlade bedömning av SKB:s verksamhet och handlingsplan .....	58
4 Omhändertagande av låg- och medelaktivt avfall .....	61
4.1 Genomförandeplan för mycket lågaktivt avfall .....	61
4.2 Genomförandeplan för omhändertagande av låg- och medelaktivt avfall .....	64
4.3 SSM:s samlade bedömning .....	67
5 Slutförvaret för långlivat avfall .....	69
5.1 SFL säkerhetsvärdering .....	69
5.2 Lokalisering av SFL .....	75



5.3	SSM:s samlade bedömning.....	79
6	Det låg- och medelaktiva avfallet .....	81
6.1	Processförståelse .....	81
6.2	Nuklidinventarium .....	85
6.3	Acceptanskriterier för avfall till SFL och det utbyggda SFR .....	86
6.4	Avfallsbehållare .....	89
6.5	SSM:s samlade bedömning.....	90
7	Omhändertagande av använt bränsle .....	91
7.1	Genomförandeplan för använt kärnbränsle.....	91
7.2	Använt kärnbränsle .....	93
7.3	Kapsel .....	102
7.4	SSM:s samlade bedömning.....	120
8	Transporter .....	123
9	Kärnämneskontroll.....	127
9.1	Övergripande .....	127
9.2	Slutförvaret för långlivat avfall (SFL).....	127
9.3	Slutförvarssystemet för använt kärnbränsle.....	128
10	Slutförvarsgemensam forskning och teknikutveckling.....	131
10.1	Cementbaserade material .....	131
10.2	Buffert, återfyllning och förslutning .....	139
10.3	Berg.....	160
10.4	Ytekosystem.....	178
10.5	Klimat och klimatrelaterade processer.....	186
10.6	SSM:s samlade bedömning slutförvarsgemensam forskning och teknikutveckling.....	192
11	Avveckling av kärntekniska anläggningar.....	195
11.1	Förutsättningar för avveckling.....	195
11.2	Planering för avveckling inom Sydkraft Nuclear Power AB.....	202
11.3	Planering för avveckling inom Vattenfall.....	206
11.4	Planering för avveckling av SKB:s anläggningar .....	209
11.5	Fortsatta aktiviteter inom avveckling.....	210
11.6	SSM:s samlade bedömning avseende avveckling.....	215
12	Referenser .....	217



# Sammanfattning

## Inledning

Enligt förordningen (1984:14) om kärnteknisk verksamhet (kärnteknikförordningen) ska Strålsäkerhetsmyndigheten (SSM) granska och utvärdera det program för forskning, utveckling och demonstration med mera (Fud-program) som reaktorinnehavarna enligt lagen (1984:3) om kärnteknisk verksamhet (kärntekniklagen) ska upprätta och vart tredje år redovisa.

Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB) har på uppdrag av reaktorinnehavarna tagit fram Fud-program 2019 och i enlighet med kärnteknikförordningen lämnat det till myndigheten i september 2019. Fud-program 2019 består av tre delar; Del I, Verksamhet och handlingsplan; Del II, Avfall och slutförvaring; och Del III, Avveckling av kärntekniska anläggningar.

SSM har granskat och utvärderat Fud-program 2019 i fråga om planerad forsknings- och utvecklingsverksamhet, redovisade forskningsresultat, alternativa hanterings- och förvaringsmetoder samt de åtgärder som avses bli vidtagna (26 § kärnteknikförordningen). Denna rapport redogör för resultaten av granskningen och utvärderingen.

För att inhämta synpunkter har SSM skickat Fud-program 2019 på en bred remiss till ca 50 organisationer. Vid utgången av remisstiden, den 31 december 2019, hade 23 av dessa svarat, varav tio meddelat att de valt att inte lämna synpunkter. En översikt av remissinstansernas synpunkter redovisas i anslutning till SSM:s sammanfattande synpunkter på SKB:s program. Därutöver redovisas remissinstansernas synpunkter i anslutning till relevanta granskningsavsnitt.

SKB:s redovisning omfattar verksamheter med hantering och slutförvaring av kärnavfall och använt kärnbränsle samt avveckling av kärntekniska anläggningar. Redovisningen avser både verksamheter och anläggningar som har tillstånd och står under myndighetens tillsyn samt sådana som är på planeringsstadiet, under lokalisering och utveckling eller i tillståndsprövning. Pågående större prövningsärenden som beslutas av regeringen omfattar SKB:s ansökningar om att uppföra en inkapslingsanläggning i anslutning till mellanlagret för använt bränsle (Clab), att öka kapaciteten i Clab från 8 000 till 11 000 ton lagrat kärnbränsle, att uppföra en slutförvarsanläggning för använt bränsle och att få bygga ut slutförvaret för kortlivat radioaktivt avfall (SFR). SSM har som beredande myndighet granskat ansökningarna enligt kärntekniklagen och lämnat yttranden till regeringen. SSM föregriper i granskningen av SKB:s Fud-program 2019 varken regeringens prövning i dessa ärenden eller myndighetens ställningstaganden i tillsynen över tillståndsgivna verksamheter.

## SSM:s sammanfattande synpunkter på SKB:s Fud-program 2019

### SKB:s redovisning i Fud-program 2019

SSM bedömer att SKB vid utarbetandet av Fud-program 2019 har hörsammat villkoren i regeringens beslut över Fud-program 2016, liksom att SKB i allt väsentligt har beaktat de synpunkter som SSM och Kärnavfallsrådet fört fram i yttranden över Fud-program 2016.

SSM bedömer att SKB:s redovisning av Fud-program 2019 är ändamålsenlig i förhållande till lagstiftarens syfte med programmet och de krav som ställs på reaktorinnehavarna. SSM bedömer vidare att de förändringar i redovisningen som föranletts av regeringens villkor samt SSM:s och Kärnavfallsrådets synpunkter angående Fud-program 2016 utgör förbättringar i det avseendet.

SSM bedömer att del I av SKB:s Fud-program är en bra introduktion till såväl SKB:s pågående verksamheter som planer för framtida verksamheter, i syfte att omhänderta det använda bränslet och det kärnavfall som uppstår vid drift och avveckling av reaktorinnehavarnas och SKB:s kärntekniska anläggningar. Introduktionen i kapitel 1 tillsammans med övergripande beskrivningar av avfallssystemet i kapitel 2 samt övergripande genomförandeplaner i kapitel 3, medger en bra insikt i SKB:s verksamhet som grund för att värdera och bedöma Fud-programmet i sin helhet.

SSM bedömer i det avseendet att den tillkommande redovisningen av genomförandeplanen för mycket lågaktivt avfall bidrar till att öka förståelsen för förutsättningarna för avbördning av också denna kategori avfall, som utgör en stor del av det kärnavfall som uppstår i samband med nedmontering och rivning av avställda kärnkraftsreaktorer, och som inte kan friklassas. SSM bedömer att Fud-redovisningen härigenom förbättrats i avseendet att ge en bra översikt och förståelse för reaktorinnehavarnas planer för omhändertagande av alla kategorier av avfall från drift och avveckling av kärnkraftsreaktorerna.

SSM finner det rimligt att SKB utgår från planerade drifttider för reaktorerna vid planeringen av omhändertagande av använt bränsle och kärnavfall. Givet de osäkerheter och den flexibilitet som krävs med de långa tider som programmet omfattar bedömer SSM att SKB:s beskrivningar av handlingsalternativ vid förändrade förutsättningar är rimligt realistiska och åskådliggörande.

SSM bedömer i anslutning till detta, utifrån de förutsättningar som ligger till grund för SKB:s redovisning, att de alternativa åtgärder som redogörs för i rapporten, i syfte att vid behov åstadkomma ytterligare lagringskapacitet för använt bränsle i Clab, innebär att det kan förväntas att finnas tillräckligt utrymme för mellanlagring av använt kärnbränsle i anläggningen för överskådlig framtid. SSM bedömer likaledes att redovisningen i Fud-programmet avseende behov av mellanlagringskapaciteter för låg- och medelaktivt rivningsavfall bekräftar att reaktorinnehavarnas planering medger tillräcklig flexibilitet för att kunna hantera förändrade förutsättningar över tid.

SSM vill lyfta fram kapitel 4 om fortsatt forskning och utveckling, och kapitel 5 om arbetssätt resurser och kompetens i SKB:s redovisning, som introducerades i Fud-program 2016, som särskilt viktiga i Fud-programmet. Redovisningen utgör en viktig länk mellan redovisningen av genomförandeplaner i del I, som översiktligt beskriver vad som återstår

att genomföras för resterande delar av slutförvarsprogrammet, och det mer konkreta forsknings- och utvecklingsarbete som planeras att genomföras under kommande Fud-period, enligt redovisningen i del II. SSM bedömer därmed att Fud-programmet har utvecklats till att motsvara SSM:s förväntningar med avseende på koppling mellan redovisning av de strategiska planerna och de mer konkreta insatserna som planeras att genomföras under kommande sex år.

SSM bedömer sammanfattningsvis att redovisningen i Fud-program 2019 ger en tillräcklig överblick av reaktorinnehavarnas och SKB:s program, och tillräcklig insikt i planerade insatser kommande Fud-period för att myndigheten ska kunna bedöma att programmet uppfyller lagens krav.

## Omhändertagande av mycket lågaktivt avfall

SSM bedömer att SKB och reaktorägarna har redovisat en lämplig sammanfattning av markförvarens roll vid omhändertagande av det mycket lågaktiva avfallet. Givet en situation där tillstånd för deponering av lågaktivt rivningsavfall i markförvaren ännu inte meddelats bedömer SSM att det är viktigt att SKB:s och reaktorägarna fortsätter interagera i syfte att klargöra förutsättningarna för avbördning av det mycket lågaktiva avfallet från nedmontering och rivning av kärnkraftreaktorerna, och eventuellt behov av deponering av mycket lågaktivt avfall i slutförvaret för kortlivat låg- och medelaktivt avfall, SFR. SSM bedömer i anslutning till detta att det är positivt att SKB vid dimensionering av slutförvarskapacitet i SFR tar hänsyn till olika handlingsalternativ för bortskaffande av det mycket lågaktiva avfallet.

## Omhändertagande av låg- och medelaktivt avfall

### Låg- och medelaktivt avfall

SSM ser positivt på det utvecklingsarbete som SKB genomfört avseende metodutveckling för mätning av svärmätbara nuklider. SSM ser att det finns ett fortsatt behov av att utveckla bland annat verifieringen av de modeller som används. På en övergripande nivå ser SSM också positivt på de studier som pågår för att fördjupa kunskapen avseende nedbrytningsprodukter från organiskt material och dess interaktioner med radionuklider.

### Slutförvaret för kortlivat avfall (SFR)

SSM bedömer att SKB:s redovisning av programmet för framtida utvecklingsinsatser avseende utbyggnaden av SFR som väl motiverat och med relevant inriktning. SKB har redovisat en lämplig sammanfattning av det arbete som ligger till grund för SKB:s ansökan om att bygga ut SFR för att medge slutförvaring av låg- och medelaktivt avfall från rivningen av kärntekniska anläggningar, främst reaktorerna.

### Slutförvaret för långlivat avfall (SFL)

I anslutning till SSM:s granskning av Fud-program 2019 har SKB publicerat en tidig säkerhetsanalys, en s.k. säkerhetsvärdering, för det planerade slutförvaret för långlivat avfall (SFL). SSM:s granskning av SKB:s Fud-redovisning tar till del stöd av säkerhetsvärderingen med tillhörande underlagsdokument.

SSM bedömer att det är ändamålsenligt att SKB baserar arbetet med att utveckla konceptet för SFL på erfarenheter från motsvarande processer som använts för utveckling och lokalisering av slutförvaren för använt bränsle och för ett utbyggt SFR.

SSM bedömer vidare att SKB presenterar relevanta planer för det fortsatta arbetet med att erhålla fördjupad kunskap om betong- och bentonitbarriärernas utveckling över tid, liksom utveckling av metoder för utvärdering av säkerheten efter förslutning. SSM bedömer samtidigt att underlaget ännu inte är tillräckligt utvecklat för att myndigheten ska kunna avgöra om den konceptuella utformning som använts för säkerhetsvärderingen har de egenskaper som behövs för att leverera erforderlig skyddsförmåga efter förslutning, för de långa tidsrymder som krävs. SSM bedömer att SKB i det fortsatta utvecklingsarbetet behöver beakta eventuella behov av förstärkta barriärfunktioner, primärt för den konceptuella utformningen av bergrummet för historiskt avfall.

SSM instämmer i SKB:s slutsats att det är viktigt att minska osäkerheterna i det prognosticerade nuklidinventariet för det avfall som planeras att slutförvaras i SFL. SSM bedömer SKB:s planerade aktiviteter för att minska osäkerheterna i prognosticerat nuklidinventarium för hårdkomponenter från reaktorerna som ändamålsenligt. SSM bedömer vidare att det är viktigt att SKB avsätter tillräckliga resurser och lägger tillräckligt fokus på att minska osäkerheterna också i prognosticerat nuklidinventarium för det historiska avfall som ska slutförvaras i SFL. SSM bedömer därför att det är viktigt att SKB i erforderlig grad interagerar med Svafo och andra avfallsproducenter på Studsviksområdet i syfte att erhålla en bättre förståelse för det nuklidspecifika innehållet i detta avfall, som underlag för fortsatt utveckling av SFL liksom för framtagandet av acceptanskriterier för avfallet.

SSM ger stöd för SKB:s avsikt att genomföra en öppen och transparent, stegvis lokaliseringsprocess för etableringen av SFL. SSM ser också positivt på att SKB under den kommande Fud-perioden avser inleda MKB-samråd med bland annat berörda myndigheter och de kommuner som hittills identifierats för det planerade lokaliseringsarbetet för SFL. SSM anser att SKB bör säkerställa att det formella samrådet har en tillräcklig bredd både i fråga om teknisk utformning av förvarsdelarna och i fråga om lokaliseringen av anläggningen. SKB har dialog med SSM avseende den tekniska utformningen av förvarsdelarna och lokaliseringen av anläggningen, vilket fortsatt kan utvecklas även i anslutning till SKB:s samrådsprocess för SFL.

### **Slutförvaring av annat radioaktivt avfall**

SKB:s slutförvarsanläggningar för låg- och medelaktivt avfall, både det befintliga SFR och planerade SFL, konstrueras för att slutförvara även sådant kärnavfall som uppstår vid andra kärntekniska verksamheter än reaktorerna, liksom för radioaktivt avfall från icke kärntekniska verksamheter. SKB:s och reaktorinnehavarnas gemensamma system för att omhänderta och slutförvara drift- och rivningsavfall från reaktorerna bidrar med andra ord till att erbjuda slutförvaringslösningar även för sådant radioaktivt avfall som uppkommer i andra delar av samhället, t.ex. inom sjukvård, industrier och forskning. Denna uppgift ingår inte i reaktorinnehavarnas lagstadgade skyldigheter att omhänderta och slutförvara använt kärnbränsle och radioaktivt avfall från drift och avveckling av reaktorerna, utan genomförs baserat på civilrättsliga avtal och affärsmässiga grunder.

Inslaget av annat radioaktivt avfall i de anläggningar som etableras för slutförvaring av kärnavfall från reaktorerna behöver beaktas i SKB:s säkerhetsanalyser och underlag i övrigt för anläggningarnas uppförande och drift samt långsiktiga säkerhet efter förslutning, baserat på det faktiska avfallsinventarium som planeras för att slutförvaras i anläggningen, oavsett avfallets ursprung.

SSM bedömer med anledning av ovanstående att det är viktigt att de planer för etablering av framtida slutförvarsanläggningar som SKB redovisar i kommande Fud-program även fortsättningsvis omfattar samtliga de avfallskategorier som i praktiken förväntas att omhändertas i respektive anläggning.

SSM konstaterar även att på lång sikt, när slutförvarsanläggningarna som ingår i det svenska kärnkraftsprogrammet slutligt förslutits, kommer andra lösningar för slutförvar av övrigt kärnavfall och radioaktivt avfall från icke-kärntekniska verksamheter att behövas.

## Omhändertagande av använt kärnbränsle

På motsvarande sätt som vid bedömningen av föregående Fud-program bedömer SSM att SKB i Fud-program 2019 har redovisat en lämplig sammanfattning av det arbete som ligger till grund för fortsatt arbete att etablera ett slutförvarssystem för använt kärnbränsle. SSM bedömer också att SKB:s redovisning av framtida utvecklingsinsatser som väl motiverat och med relevant inriktning. SSM bedömer på motsvarande vis att SKB:s planerade insatser rörande fortsatt utveckling av förvarets barriärfunktioner, inklusive konstruktion och tillverkning samt kontroll och provning, förefaller ändamålsenliga.

## Transportsystemet och dess komponenter

SSM bedömer att SKB:s redovisning kopplat till transportsystemet och dess komponenter är av tillräcklig omfattning och detaljeringsgrad för att på ett rättvisande sätt beskriva pågående och planerade verksamheter, och därmed uppfyller syftet med Fud-programmet.

SSM bedömer att SKB har utvecklat redovisningen i Fud-program 2019 i linje med vad SSM framförde i granskning och utvärdering av föregående Fud-program. SSM bedömer vidare att SKB:s redovisning av transportlogistik och transportsystemets kapacitet bekräftar att transportsystemet har förutsättningar att kunna hantera den ökade transportverksamheten som följer av avvecklingen av kärnkraftreaktorerna.

SSM noterar att planerna för hantering av reaktortankar ändrats jämfört med redovisningen i föregående Fud-program och att aktuell planering innebär att tankarna ska segmenteras och deponeras inom ramen för det existerande transporthanteringssystemet.

## Kärnämneskontroll

SSM bedömer att SKB:s redovisning kopplat till kärnämneskontroll är av tillräcklig omfattning och detaljeringsgrad för att på ett rättvisande sätt beskriva pågående och planerade verksamheter.

SSM kan konstatera att material som klassas som kärnämne avses deponeras i slutförvaret för långlivat avfall (SFL) vilket innebär att SFL kommer att vara föremål för kärnämneskontroll. SSM bedömer därför att det är viktigt att SKB prioriterar arbetet med att utveckla grundläggande principer för hur kraven på kärnämneskontroll för SFL kan tillgodoses. Kunskap behöver upprätthållas om det material som lagras i Studsvik avseende konditionering och efterföljande transport av detta material för slutförvaring i SFL.

SSM bedömer att de grundläggande principerna för tillämpning av kärnämneskontrollen behöver vara fastlagda när uppförandet av kärnbränsleförvaret och inkapslingsanläggningen påbörjas. Detta avser såväl anläggningarna i sig som det systemövergripande perspektivet med hänsyn till de starka kopplingarna mellan hanteringen av kärnämne vid Clab/Clink och Kärnbränsleförvaret.

## Planer för fortsatt slutförvarsgemensam forskning och utveckling

SSM anser att den slutförvarsgemensamma forskning och utveckling som redovisas i Fud-program 2019 i allt väsentligt är rimlig och adekvat.

SSM:s bedömning är att SKB:s planerade insatser för ökad processförståelse för cementbaserade material är omfattande och ändamålsenliga. SSM anser att kunskapsnivån inom området är god men att ytterligare experimentella studier i laboratoriemiljö och på fältskalan kan behövas för att belysa t.ex. degraderingsförloppet för betong i grundvatten med höga salthalter. Dessutom vill SSM påtala vikten av verifikationsmöjligheter rörande funktionskrav och långsiktiga säkerhetsfunktioner hos betongkonstruktioner, samt analyser av hur dessa kopplas till krav under uppförandefasen.

SSM bedömer att SKB:s forskning inom området buffert, återfyllning och förslutning är vetenskapligt välgrundad och att resultaten är väl underbyggda. SSM anser att fördjupad förståelse för vilka parametrar som styr olika mekanismer för sulfidbildning respektive syreförbrukning i slutförvarsmiljön skulle underbygga analysen av utvecklingen hos de tekniska barriärerna. SSM bedömer vidare att det är viktigt att SKB kvantifierar graden av inhomogenitet efter svällning med avseende på vattenupptag i och återmätning av bufferten, samt dess betydelse för den långsiktiga strålsäkerheten, speciellt kopplat till SFL. Ytterligare områden där SSM anser att utveckling behövs är bland annat bentonitexpansion och inverkan av instängd luft på tillverkningsprocessen.

SSM anser att SKB:s program kopplat till bergets egenskaper generellt är lämpligt och bedömer att SKB har ett ändamålsenligt program för att adressera kopplade processer i berggrunden. Resultat från denna typ av forskning bedöms både kunna bli användbar för optimering av slutförvarsanläggningarnas detaljkonstruktion samt ge grund för att analysera långsiktig påverkan på grundvattenströmning i det spricknätverk som omger anläggningarna. Gällande den framtida utvecklingen av grundvattenflödesmodellering ser SSM ett behov av en utvärdering av nyttan med en gradvis ökande komplexitet i förhållande till de konceptuella osäkerheter som föreligger när det gäller vattenflöde i sprickigt berg. Insatser behövs för att långsiktigt bevara kompetens och uppdatera tillgänglig information inom även andra områden kopplade till berggrundens betydelse för säkerheten efter förslutning, så som sorptionsforskning och paleoseismisk aktivitet.

SSM anser att SKB:s forskningsprogram för ytekosystem utgår från en helhetssyn och har ett tydligt syfte. Omfattande insatser har redan genomförts och SSM vill därför betona

vikten av att databaser och beräkningsprogram underhålls, uppdateras och utvecklas. SSM anser därutöver att det är särskilt viktigt att den kompetens som utvecklades under platsundersökningsprogrammet för kärnbränsleförvaret bevaras.

SSM bedömer att planerade insatser inom området klimatrelaterade processer avseende glacial erosion, havsnivåvariationer och strandlinjeförskjutning som ändamålsenliga.

## Bevarande av information och kunskap genom generationer

SSM anser att bevarande av kunskap kring slutförvaren är viktigt för att bidra till att minska risken för framtida intrång. SSM bedömer att SKB:s planerade insatser för detta utgör en ändamålsenlig ansats i det avseendet.

## Alternativa hanterings- och förvaringsmetoder

SSM bedömer att SKB:s ansats att försättningvis följa utvecklingen och att bevaka relevant forskning som genomförs i vetenskapssamhället i stort avseende borrhning och deponering i djupa borrhål är rimlig.

## Avveckling av kärntekniska verksamheter

SSM bedömer att redovisningen i del III i Fud-program 2019 medger en tillräcklig förståelse för planerade avvecklingsverksamheter liksom för de förutsättningar som ligger till grund för avveckling av de kärntekniska anläggningarna.

SSM bedömer vidare att SKB har beaktat SSM:s synpunkter från föregående Fud-granskning och utvecklat och förtydligat bland annat redovisningen avseende vilka mängder av kärnavfall som uppkommer vid nedmontering och rivning samt strategier och planer för att säkerställa eventuellt behov av mellanlagring av rivningsavfallet.

SSM bedömer också att redovisningen avseende avveckling av kärnkraftreaktorerna är adekvat och i princip överensstämmande med den redovisning som SSM erhåller från tillsynen av pågående avvecklingsprojekt.

SSM noterar att redovisningen i Fud-program 2019 baseras på att Vattenfall ansökt om att överta de kärntekniska tillstånden för reaktorerna Ringhals 1 och 2 inför deras nedmontering och rivning. SSM noterar i anslutning till detta att Vattenfall därefter har dragit tillbaka ansökan.

SSM noterar att redovisningen i Fud-program 2019 innehåller en översiktlig sammanställning över totalt prognostiserade mängder rivningsavfall från de svenska kärnkraftverken per avbördningsväg. SSM bedömer att redovisningen skulle vinna på att sammanställningen kompletteras med prognosticerade mängder rivningsavfall per avfallskategori.

SSM efterfrågar avslutningsvis en mer omfattande diskussion på en övergripande nivå om branschgemensamma utmaningar i redovisningen, såsom kompetensuppbyggnad och kompetensförsörjning, tillgång till och konkurrens om externa resurser för genomförandet av nedmontering och rivning av reaktorerna, etc.



## Remissinstansernas övergripande synpunkter på SKB:s Fud-program 2019

För att inhämta synpunkter har SSM skickat Fud-program 2019 på en bred remiss till ca 50 organisationer. Av dessa har 23 inkommit med svar, varav tio meddelat att de valt att inte lämna synpunkter.

Följande organisationer har lämnat synpunkter; *Kungliga Vetenskapsakademien (KVA)*, *Kävlinge kommun*, *Lokala säkerhetsnämnden vid Oskarshamns kärnkraftverk*, *Luleå tekniska universitet (LTU)*, *Länsstyrelsen Kalmar län*, *Länsstyrelsen Uppsala län*, *Miljövännen för kärnkraft (MFK)*, *Naturskyddsföreningen*, *Jordens Vänner och Miljöorganisationernas kärnavfallsgranskning (MKG)*, *Oskarshamns kommun*, *Statens geotekniska institut (SGI)*, *Stockholms universitet*, *Styrelsen för ackreditering och teknisk kontroll (Swedac)* och *Vetenskapsrådet*.

*Östhammars kommun* har avstått från att yttra sig över Fud-program 2019 med hänvisning till Riksgäldens beslut om att stöd i form av medel från kärnavfallsfonden inte får användas till att lämna remissynpunkter på Fud-program.

En sammanställning av remissinstansernas allmänna synpunkter tillsammans med myndighetens övergripande synpunkter redovisas i avsnitt 2 i denna rapport. De mer detaljerade synpunkterna redovisas i berörda granskningsavsnitt. SSM har i genomförandet av utvärderingen beaktat de remissvar som inkommit. En separat remissammanställning har också tagits fram.

Större frågor som lyfts av remissinstanserna omfattar bl.a. följande.

*Kungliga vetenskapsakademien (KVA)* framför vissa allmänna synpunkter avseende de områden i programmet som rör fortsatt forskning och teknikutveckling mot ökad processförståelse och kunskap.

*Kävlinge kommun* lyfter konsekvenserna av att slutförvar för rivningsavfall från reaktorerna i Barsebäck inte finns på plats och att tidplanerna förskjuts, vilket innebär att det mellanlager Barsebäck Kraft AB anlagt på området måste stå kvar till någon gång mellan 2045-2050. Kommunen anser att hantering och förvar av långlivat kärnavfall bör tydliggöras under programperioden och att slutförvaret SFL tidigareläggas.

*Lokala säkerhetsnämnden vid Oskarshamns kärnkraftverk* ställer sig bakom yttrandet från Oskarshamns kommun. Nämnden konstaterar att det fortfarande saknas ett antal anläggningar i slutförvarskedjan som behöver utvecklas och beslutas om, såsom ett utbyggt slutförvar för kortlivat radioaktivt avfall (SFR), slutförvar för långlivat avfall (SFL) samt byggnation och utbyggnad av befintliga markförvar för mycket lågaktivt avfall. Nämnden lyfter i anslutning till detta frågor om mellanlagring av avfallet i avvaktan på att slutförvarskapacitet etableras. Nämnden pekar också på Clab:s lagringskapacitet och att beslut ännu inte tagits om inkapslingsanläggning och slutförvar för använt kärnbränsle.

*Luleå tekniska universitet (LTU)* lämnar omfattande geotekniska kommentarer. LTU understryker att SKBs framtida forskning bör inriktas mot de tekniska barriärernas design och funktion och optimeringen av dessa, snarare än mot den hydrauliska och mekaniska funktionen hos den bergvolym som rymmer förvaret. En mer angelägen forskningsuppgift



är enligt LTU hur närfältbergets stabilitet påverkas av spänningsändringar orsakade av krypdeformationer på grund av värmeöverföring under de första tusentalen år. LTU ser även deponering i djupa borrhål som ett intressant alternativ och ser positivt på att SKB avser att hålla sig bekant med den internationella forskningen inom området.

*Länsstyrelsen i Kalmar län* anser att Fud-program 2019 håller en hög kvalitet och har en viktig funktion. Länsstyrelsen konstaterar att nedmonterings- och rivningsavfall kommer behöva mellanlagras på plats vid verksamheterna som en följd av pågående avveckling av Oskarshamsreaktorerna och att slutförvar för avfallet inte färdigställts. Länsstyrelsen anser att diskussioner kring former och tidsaspekter avseende framtida behov av mellanlagring bör ske i Fud-programmet. Länsstyrelsen lyfter också behovet för en diskussion om förändrade förutsättningar för länsstyrelsen efter det att mark- och byggnader friklassats och länsstyrelsen övertagit tillsynsansvaret.

*Länsstyrelsen Uppsala län* anser att regeringen bör ge uttryck för klimatlagens innehåll i de villkor som beslutas gällande nästkommande Fud-program. Länsstyrelsen lämnar som villkorsförslag att ”kommande Fud-program ska söka och utvärdera samt utveckla lösningar för hantering av kärnavfall med så låg klimatpåverkan som möjligt”.

*Miljövänner för kärnkraft (MFK)* finner att det är ett mycket omfattande program som går mycket längre i ansvar för såväl miljö som människors hälsa än några andra program för omhändertagande av miljöfarligt avfall. MFK anser att hela Fud-programmet bör kompletteras med information som sätter rimliga proportioner på riskerna med det radioaktiva avfallet.

*Naturskyddsföreningen, Jordens Vänner och Miljöorganisationernas kärnavfallsgranskning (MKG)* har lämnat in ett gemensamt yttrande över Fud-program 2019. Föreningarna lämnar vissa övergripande synpunkter på brister i det svenska kärnavfallssystemet och tar specifikt upp SKB:s så kallade LOT-försök i Äspölaboratoriet. Föreningarna menar att det är viktigt att regeringen i sin tillåtlighets- och tillståndsprövning av kärnbränsleförvaret har tillgång till analyser av omfattningen av den kopparkorrosion och annan påverkan på koppar som skett i de upptagna LOT-försökspaketet. Föreningarna föreslår att regeringen tar ett beslut rörande Fud-programmet som innebär att SKB omedelbart ska tillgängliggöra försöken till de forskargrupper som vill studera materialet i sin helhet. Föreningarna anser i övrigt att tillståndsprövningen för utökad kapacitet i Clab bör kopplas loss från den pågående kärnbränsleförvarsprövningen. Föreningarna framför att tillbyggnaden av förvaret för kortlivat låg- och medelaktivt radioaktivt rivningsavfall i Forsmark (SFR) inte ska ges tillstånd och att redan deponerat avfall ska återtas och mellanlagras torrt i minst 400 år i avvaktan på en bättre slutförvarslösning. Föreningarna framför också att det inte är acceptabelt att mycket lågaktivt avfall långsiktigt förvaras i så kallade markförvar och att regeringen inte kan ge tillåtlighet eller tillstånd till ett förvar för använt kärnbränsle enligt KBS-metoden. Vidare framför föreningarna att SKB bör ta initiativ till såväl svensk forskning och utveckling som internationellt samarbete om metoden djupa borrhål.

*Oskarshams kommun* anser att det är mycket värdefullt att det pågår forskning och utveckling för att klarlägga vilka förutsättningar som krävs för att etablera fungerande slutförvar för det svenska kärnavfallet. Kommunen påtalar att fortsatt arbete med lokalisering av slutförvaret för långlivat avfall (SFL) kan baseras på erfarenheter från motsvarande process som genomförts för kärnbränsleförvaret. Kommunen lyfter fram Äspölaboratoriet som en viktig nationell infrastruktur till nytta för forskning och



kompetensutveckling även i framtiden, både inom kärnavfallsområdet och andra discipliner. Även Oskarshamns kommun pekar på frågan om ytterligare mellanlagringskapacitet för rivningsavfall från kärnkraftverken i avvaktan på etableringen av slutförvar för låg- och medelaktivt avfall.

*Statens geotekniska institut (SGI)* lämnar omfattande synpunkter rörande bergtekniska frågor inför kommande etablering av slutförvarsanläggningar samt även långsiktiga klimatförändringar och följd effekter av dessa. SGI efterfrågar bl.a. en mer konkret redovisning och föreslår vissa forskningsinsatser som rör SKB:s undersökningsprogram, inklusive utveckling av metodik och verktyg för att identifiera kritiska bergstrukturer och ge bättre processförståelse för spricknätverket, inför bergarbeten, lokalisering av deponeringshål, m.m., i syfte att uppnå säkerhet efter förslutning.

*Stockholms universitet* anser att SKB redovisar ett vetenskapligt välunderbyggt och professionellt genomfört forskningsprogram rörande hantering och slutförvaring av använt kärnbränsle i Sverige, inklusive planer för fortsatta studier. Universitetet lämnar omfattande tekniskt vetenskapliga synpunkter. Universitetet anser att vissa frågor behöver kompletteras med ytterligare forskning eller motivering och noterar att Fud-programmet bör ta tydligare hänsyn till och referera till publikationer i internationella, peer-review tidskrifter utöver de referenser som görs till SKB-rapporter. Universitetet betonar också frågan om kompetensförsörjning på lång sikt.

*Styrelsen för ackreditering och teknisk kontroll (Swedac)* anser att det är av vikt att det säkerställs att den aktör som senare utför kontroll och provning är oberoende och opartisk samt har rätt kompetens för verksamheten.

*Vetenskapsrådet* har inget att erinra mot förslagen i Fud-program 2019 och instämmer med SKB:s slutsatser rörande långsiktig kompetensförsörjning.

# 1 Inledning

## 1.1 Allmänt om programmet

### 1.1.1 Kärntekniklagens krav på redovisning av Fud-program

Enligt kärntekniklagens 12 § ska den som har tillstånd att inneha eller driva en kärnkraftsreaktor i samråd med övriga reaktorinnehavare upprätta eller låta upprätta ett program för den allsidiga forsknings- och utvecklingsverksamhet och de övriga åtgärder som behövs för säker hantering av kärnavfall och använt kärnbränsle samt säker avveckling och rivning av kärntekniska anläggningar (Fud-program). Programmet ska dels innehålla en översikt över samtliga åtgärder som kan bli behövliga, dels närmare ange de åtgärder som avses bli vidtagna inom en tidrymd om minst sex år. Programmet ska vart tredje år lämnas in till regeringen eller den myndighet som regeringen bestämmer för att granskas och utvärderas. I samband med granskningen och utvärderingen får regeringen ställa de villkor som behövs avseende den fortsatta forsknings- och utvecklingsverksamheten.

Reaktorinnehavarna har uppdragit åt SKB att i samarbete med dem upprätta Fud-programmen. Dessa ska i enlighet med kärnteknikförordningen lämnas in till Strålsäkerhetsmyndigheten (SSM) för granskning och utvärdering i september vart tredje år. SSM ska enligt samma förordning genomföra en granskning och utvärdering av programmet i fråga om planerad forsknings- och utvecklingsverksamhet, redovisade forskningsresultat, alternativa hanterings- och förvaringsmetoder samt de åtgärder som avses bli vidtagna. Myndigheten ska lämna sitt yttrande över programmet och handlingarna i ärendet till regeringen.

### 1.1.2 Regeringens beslut över Fud-program 2016

Myndighetens yttrande över Fud-program 2016 överlämnades till regeringen i mars 2017 och regeringen fattade beslut över programmet i mars 2018. I linje med SSM:s yttrande uttryckte regeringen i sitt beslut den 21 mars 2018 att Fud-program 2016 uppfyllde kärntekniklagens krav. Regeringen ställde också följande villkor för den fortsatta forsknings- och utvecklingsverksamheten;

- Redovisningen ska omfatta forskning och utveckling avseende avveckling, nedmontering och rivning samt hantering och slutförvaring av kärnkraftens restprodukter.
- Reaktorinnehavarna och Svensk Kärnbränslehantering AB ska i kommande redovisning av Fud-program behålla den struktur och indelning som använts för Fud-program 2016.
- Reaktorinnehavarna och Svensk Kärnbränslehantering AB ska beakta hur Fud-programmet bättre kan bidra till öppenhet och insyn i hur arbetet med forskning, utveckling och demonstration av metoder för hantering och slutförvaring av kärnavfall bedrivs.
- Kommande Fud-program ska innehålla en beskrivning av hur kompetensutvecklingen och kompetensförsörjningen ska säkras i ett tidsperspektiv på 50-100 år.

- Planer, strategier och forskning avseende slutförvaret för långlivat avfall ska redovisas.
- Fud-programmet ska omfatta en tydligare sammanhållen systemövergripande beskrivning av logistiken för hanteringen av rivningsavfallet, inklusive transporter.
- Reaktorinnehavarna och Svensk Kärnbränslehantering AB ska även noga överväga de övriga påpekanden som såväl Strålsäkerhetsmyndigheten och Kärnavfallsrådet som andra instanser gjort vid granskningen av Fud-program.

## 1.2 Förutsättningar för SSMs granskning och utvärdering

### 1.2.1 Fud-programmets övergripande syfte

SKB:s program för forskning, utveckling och demonstration och de övriga åtgärder som behövs för säker hantering av kärnavfall och använt kärnbränsle samt säker avveckling och rivning av kärntekniska anläggningar har pågått sedan slutet av 1970-talet. Fud-processen etablerades genom riksdagens beslut 1984 att anta lagen (1984:3) om kärnteknisk verksamhet (kärntekniklagen). Beslutet innebar att tydliga förutsättningar och ansvarsförhållanden etablerades för genomförandet av verksamheter för att hantera och slutförvara använt kärnbränsle och kärnavfall som uppstår som en konsekvens av drift och avveckling av kärnkraftsreaktorer.

Enligt 10 § kärntekniklagen ska den som bedriver kärnteknisk verksamhet svara för de åtgärder som behövs för att på ett säkert sätt avveckla och riva anläggningar samt hantera och slutförvara använt kärnbränsle och kärnavfall. 11 § föreskriver att den som har tillstånd att driva en kärnkraftsreaktor ska svara för den allsidiga forsknings- och utvecklingsverksamhet som behövs för att fullgöra skyldigheterna i 10 §. Enligt 12 § ska den som har tillstånd att inneha eller driva en kärnkraftsreaktor i samråd med övriga reaktorinnehavare upprätta eller låta upprätta ett program för den allsidiga forsknings- och utvecklingsverksamhet och de övriga åtgärder som behövs för säker hantering av kärnavfall och använt kärnbränsle samt säker avveckling och rivning av kärntekniska anläggningar (Fud-program). Programmet ska vart tredje år granskas och utvärderas av SSM som med eget yttrande överlämnar programmet till regeringen för beslut. Förfarandet medger en möjlighet för regeringen att ställa de villkor som behövs med avseende på programmets fortsatta inriktning i en robust men samtidigt flexibel process.

### 1.2.2 Avgränsning mot tillsyn av kärnteknisk verksamhet

För att bedriva kärnteknisk verksamhet krävs tillstånd enligt 5 § kärntekniklagen. Frågor om tillstånd prövas av regeringen eller den myndighet som regeringen bestämmer. Vidare gäller enligt 8 § kärntekniklagen att regeringen eller den myndighet som regeringen bestämmer får, när ett tillstånd meddelas eller under dess giltighetstid, besluta om de villkor som behövs med hänsyn till säkerheten. Dessutom föreskrivs i 4 § kärntekniklagen att regeringen eller den myndighet som regeringen bestämmer får meddela närmare föreskrifter om åtgärder för att upprätthålla säkerheten i den kärntekniska verksamheten.

Motsvarande mandat att utfärda föreskrifter och villkor avseende strålskyddet ges i strålskyddslagen (2018:396) med tillhörande förordning (2018:506).

SSM har till stöd för tillsynen av säkerheten och strålskyddet vid kärnteknisk verksamhet utfärdat föreskrifter. De mest centrala föreskrifterna för kärnteknisk verksamhet återfinns i Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter och allmänna råd om säkerhet i kärntekniska anläggningar (SSMFS 2008:1)<sup>1</sup>. Andra relevanta föreskrifter är Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter om mekaniska anordningar i vissa kärntekniska anläggningar (SSMFS 2008:13), Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter och allmänna råd om säkerhet vid slutförvaring av kärnämne och kärnavfall (SSMFS 2008:21) och Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter och allmänna råd om skydd av människors hälsa och miljön vid slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle och kärnavfall (SSMFS 2008:37).

I praktiken innebär regelverket att den myndighetstillsyn som behövs av verksamheter, efter att tillstånd medgivits, bedrivs genom tillsyn av efterlevnad av relevanta tillståndsvillkor och föreskrifter inom ramen för givet tillstånd. Detta gäller också eventuella villkor om att genomföra erforderlig forsknings- och utvecklingsverksamhet utöver vad som följer av Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter och allmänna råd om säkerhet i kärntekniska anläggningar (SSMFS 2008:1).

En särskild aspekt som bör betonas i detta sammanhang är att processen för att etablera en kärnteknisk anläggning efter att tillstånd erhållits följer ett strikt formaliserat och kontrollerat förfarande, som är reglerat i SSM:s föreskrifter. Förfarandet innebär att etablerandet sker i en stegvis process, där faktisk kravuppfyllnad i olika avseenden verifieras utifrån det underlag som underbyggt myndighetens beredning av ansökan och regeringens medgivande att bevilja tillstånd för verksamheten. I SSM:s föreskrifter SSMFS 2008:1 finns t.ex. föreskrivet flera tydliga hållpunkter där tillståndshavaren måste få ett formellt medgivande från myndigheten innan nästa fas i verksamheten får inledas. Till exempel krävs myndighetens godkännande innan själva uppförandet inleds, innan provdrift får påbörjas och innan anläggningen får tas i rutinmässig drift. Regeringen kan om det anses behövt ställa krav på ytterligare hållpunkter när tillstånd för verksamheten medges.

Som framgår ovan är huvudsyftet med granskning och utvärdering av successivt uppdaterade Fud-program att bedöma om reaktornnehavarnas program för planerade åtgärder gör troligt att de kommer att uppfylla sina allmänna skyldigheter enligt 10 § kärntekniklagen. Processen är i första hand avsedd att fungera som ett strategiskt verktyg för att övergripande successivt granska och utvärdera planerade verksamheter under utvecklingsfasen. I Fud-programmet redovisas översiktligt reaktornnehavarnas övergripande strategier och planerade åtgärder för att uppnå det långsiktiga målet, det vill säga ett säkert

---

<sup>1</sup> För närvarande genomförs en omfattande översyn av SSM:s föreskrifter

slutligt omhändertagande av allt använt kärnbränsle och kärnavfall och en säker avveckling av anläggningar.

Tillståndsgivna kärntekniska verksamheter är föremål för myndighetstillsyn av efterlevnaden av tillståndsvillkor och tillämpliga föreskrifter. Av det följer att verksamheter som bedrivs inom ramen för ett givet tillstånd redovisas i ett mer övergripande systemperspektiv i Fud-programmet jämfört med verksamheter som ännu inte medgivits tillstånd och för vilka lösningar för omhändertagande och slutförvar ska utvecklas.

Sammanfattningsvis kan konstateras att krav på forskning och utveckling för verksamheten vid en anläggning som behövs för slutförvaring av använt kärnbränsle eller kärnavfall finns etablerade i två olika avseenden. Dels som ett allmänt krav i 2 kap. 10 § SSMFS 2008:<sup>1</sup> riktat mot tillståndshavaren för anläggningen i syfte att upprätthålla strålskyddet och säkerheten i verksamheten, kompletterad av 2 kap. 1 § SSMFS 2008:<sup>2</sup> som avser strålsäkerheten efter förslutning. Dels som ett krav i 11 § kärntekniklagen i form av en allmän skyldighet för en reaktorinnehavare att svara för den allsidiga forsknings- och utvecklingsverksamhet som behövs för att utveckla och implementera de återstående verksamheter som behövs för att omhänderta allt använt bränsle och allt kärnavfall som uppstår vid drift av kärnkraftreaktorerna. Redovisningen i Fud-program 2016 syftar alltså till att svara upp mot det senare kravet.

### 1.2.3 Avgränsning mot tillståndsprövning av kärnteknisk verksamhet

SKB lämnade i mars 2011 in ansökningar enligt kärntekniklagen om att dels uppföra en inkapslingsanläggning i anslutning till mellanlagret för använt bränsle (Clab) i Oskarshamn, för att drivas som en integrerad anläggning Clink, dels om att uppföra en slutförvarsanläggning för använt bränsle i Forsmark. Efter granskning och beredning tillstyrkte SSM SKB:s ansökningar i yttrande till regeringen den 23 januari 2018. Den 1 oktober 2019 yttrade sig SSM även över vissa kompletteringar som regeringen begärt att SKB skulle inkomma med.

SKB lämnade i december 2014 in en ansökan om tillstånd att få bygga ut slutförvaret för kortlivat radioaktivt avfall (SFR) i Forsmark. Efter granskning och beredning tillstyrkte SSM SKB:s ansökan i yttrande till regeringen den 22 oktober 2019.

SKB:s redovisning i Fud-program 2019, avseende både slutförvaret för kortlivat radioaktivt avfall, SFR, och slutförvarssystemet för använt bränsle, motsvarar i allt väsentligt sådan information som SSM granskat inom ramen för beredningen av SKB:s ansökningar.

---

<sup>2</sup> Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter om säkerheten i kärntekniska anläggningar, SSMFS 2008:1

<sup>3</sup> Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter om säkerhet vid slutförvaring av kärnämne och kärnavfall, SSMFS 2008:21

Granskningen av Fud-programmet har inte omfattat värderingar av kravuppfyllnad för de ansökta verksamheterna, utan har inriktats på den utveckling och de planer SKB redovisar på en övergripande systemnivå för hantering och slutförvar av använt kärnbränsle och radioaktivt avfall från driften och avvecklingen av reaktorer.

SSM:s granskning och utvärdering avseende redovisningen av de åtgärder som avses att bli vidtagna inom en tidsrymd av sex år fokuserar i första hand på SKB:s arbete relaterat till utveckling av slutförvaret för långlivat avfall (SFL), och på den slutförvarsgemensamma, mer långsiktiga, forsknings- och utvecklingsverksamhet som SKB bedriver, men även på åtgärder kopplade till den avveckling och rivning som planeras genomföras den närmaste sexårsperioden.

SSM:s bedömningar i övrigt avser programmets funktion att översiktligt redovisa samtliga de åtgärder som kan bli behövliga, framför allt i syfte att granska och utvärdera systemövergripande aspekter.

#### 1.2.4 Avgränsning mot slutförvar av annat radioaktivt avfall

De allmänna skyldigheterna i kärntekniklagen ålägger reaktorägare att bedriva den forskning och utveckling som behövs för att omhänderta använt kärnbränsle och kärnavfall från drift och avveckling av kärnkraftsreaktorer. Omfattningen av reaktorinnehavarnas skyldigheter är alltså i praktisk omsättning begränsat till radioaktivt avfall från de verksamheter som bedrivs av reaktorägarna på respektive förläggningsplats och de verksamheter som bedrivs av SKB. Reaktorägarnas skyldigheter omfattar i formell mening därmed inte kärnavfall från övrig kärnteknisk verksamhet och inte heller radioaktivt avfall från icke kärnteknisk verksamhet.

SSM konstaterar samtidigt att rektorägarna i praktiken, genom SKB och baserat på civilrättsliga avtal, åtagit sig att slutförvara även övrigt kärnavfall och radioaktivt avfall från icke kärnteknisk verksamhet i de slutförvarsanläggningar som etablerats för omhändertagandet av kärnkraftens drift- och rivningsavfall. I Fud-programmet redovisas att sådant avfall redan har deponerats i slutförvaret för kortlivat avfall, SFR, liksom planer som omfattar ett motsvarande förfarande för det planerade slutförvaret för långlivat avfall.

SSM:s granskning och utvärdering av Fud-program 2019 tar avstamp i vad som är föreskrivet i 10-12 §§ i kärntekniklagen. SSM:s granskning och utvärdering avser alltså redovisning av forskning och utveckling avseende avveckling, nedmontering och rivning samt hantering och slutförvaring av kärnkraftens avfall. Slutförvaring av kärnavfall från andra avfallsproducenter än kärnkraftverken samt icke kärnkraftsanknutet avfall i de anläggningar som etableras för slutförvaring av kärnavfall, behöver beaktas i de säkerhetsanalyser och underlag i övrigt som redovisas i en ansökan om tillstånd för uppförande, innehav, och drift enligt 5 § kärntekniklagen, och vid regeringens prövning av en sådan ansökan. En formell ansökan om tillstånd för en slutförvarsanläggning enligt kärntekniklagen behöver baseras på det faktiska avfallsinventarium som planeras för att slutförvaras i anläggningen, oavsett dess ursprung.

SSM noterar i anslutning till detta att regelverket som ligger till grund för omhändertagande av icke-kärnkraftsanknutet avfall liksom kärnavfall från andra verksamheter än från drift och avveckling av kärnkraftverken inte omfattar motsvarande krav på forskning och utveckling för att åstadkomma detta.

SSM bedömer med anledning av ovanstående att det är viktigt att SKB:s planer för etablering av framtida slutförvarsanläggningar som redovisas i kommande Fud-program även fortsättningsvis omfattar samtliga de avfallskategorier som i praktiken förväntas att omhändertas i respektive anläggning.

### **1.3 SSM:s beredning av ärendet**

SKB lämnade den 30 september 2019 till SSM Fud-program 2019, program för forskning, utveckling och demonstration av metoder för hantering och slutförvaring av kärnavfall.

Utgångspunkter för granskningen har varit tillämpliga krav i kärntekniklagen och kärnteknikförordningen, regeringens beslut över Fud-program 2016, SSM:s synpunkter på tidigare Fud-program samt SSM:s erfarenheter av tillsyn och prövning av berörda verksamheter.

För att inhämta synpunkter som är av betydelse för myndighetens granskning och utvärdering har SSM gått ut med en riktad inbjudan till ett 50-tal remissinstanser om att lämna synpunkter på programmet. Av dessa har 23 remissinstanser inkommit med svar varav tio har avstått från att lämna synpunkter på programmet. SSM har i granskningen av Fud-program 2019 beaktat de remissvar som inkommit och refererar i denna rapport till de remissynpunkter som ansetts tillföra relevant information. SSM har därutöver sammanställt inkomna remissynpunkter i en särskild bilaga som bifogas SSM:s yttrande till regeringen.

### **1.4 Granskningsrapportens struktur**

SSM:s granskningsrapport följer till del den övergripande strukturen i Fud-program 2019, men avviker i vissa avseenden. För att förenkla för läsaren och underlätta förståelsen för sammanhanget har SSM valt att redovisa integrerade bedömningar utifrån granskning och utvärdering av genomförandeplaner för programmets olika delar i del I i Fud-programmet med bedömningar utifrån granskning och utvärdering av den mer detaljerade, sakinriktade, redovisningen för programmets olika delar i del II.

Redovisningen är i tillämplig omfattning strukturerad enligt underrubriker i SKB:s redovisning, remissinstansernas synpunkter och SSM:s bedömning.

Kapitel 2 innehåller SSM:s övergripande synpunkter på Fud-program 2019 och utgör en inledning till myndighetens mer detaljerade bedömningar och synpunkter som redovisas i efterföljande kapitel.

Kapitel 3 innehåller myndighetens bedömningar av SKB:s övergripande verksamhet och handlingsplan, för att utveckla och implementera de verksamheter som behövs för omhändertagande och slutförvaring av kärnkraftsprogrammet restprodukter. Kapitlet innehåller också myndighetens bedömningar av SKB:s redovisning avseende bevarande av kunskap och information och redovisning av andra metoder för slutförvaring av använt bränsle.



I kapitel 4 redovisas myndighetens övergripande bedömningar av SKB:s redovisning avseende genomförandeplaner för omhändertagande och slutförvaring av låg- och medelaktivt avfall.

Kapitel 5 innehåller myndighetens bedömningar av SKB:s fördjupade redovisning av slutförvaret för långlivat avfall (SFL) och i kapitel 6 redovisas myndighetens bedömningar av SKB:s fördjupade redovisning avseende det låg- och medelaktiva avfallet.

I kapitel 7 redovisas myndighetens samlade bedömningar av SKB:s redovisning avseende omhändertagande och slutförvaring av använt kärnbränsle.

Kapitel 8 innehåller myndighetens bedömningar av SKB:s redovisning av transportsystemet och i kapitel 9 redovisas myndighetens bedömningar av SKB:s redovisning kopplat till kärnämneskontroll.

Kapitel 10 innehåller myndighetens bedömningar av SKB:s redovisning avseende den slutförvarsövergripande forskning och teknikutveckling som behövs för att lösa förvarens utformnings- och konstruktionsfrågor, samt den forskning som behövs för att genomföra analys av förvarens säkerhet efter förslutning.

I kapitel 11 redovisas avslutningsvis myndighetens bedömningar av SKB:s redovisning avseende avveckling av kärntekniska anläggningar.



## 2 Övergripande synpunkter på Fud-program 2019

### 2.1 Struktur och innehåll i SKB:s redovisning

#### *SKB:s redovisning*

Fud-program 2019 är uppdelat i tre delar; I) SKB:s verksamhet och handlingsplan, II) Avfall och slutförvaring, och III) Avveckling av kärntekniska anläggningar.

SKB redogör i ett avsnitt för utvecklingen jämfört med redovisningen i Fud-program 2016. SKB lyfter särskilt fram följande milstolpar och utveckling:

- Att SSM i januari 2019 tillstyrkte att SKB ges tillstånd enligt miljöbalken att bygga ut SFR och att huvudförhandlingen i mark- och miljödomstolen genomförs hösten 2019.
- Att en värdering med avseende på säkerheten efter förslutning för föreslaget slutförvarskoncept för SFL genomförts, och att resultaten indikerar att förvarskonceptet har förutsättningar att uppfylla kraven på säkerhet efter förslutning, givet att platsen uppvisar tillräckligt goda egenskaper vad gäller att begränsa ämne-transport i berget.
- Att strategin för att mellanlagra långlivat avfall i det utbyggda SFR har ändrats och att nuvarande planering innebär att mellanlagring av långlivat avfall istället kommer att ske antingen på reaktorinnehavarnas kraftverksområden eller på annan plats.
- Att strategin för att slutförvara hela reaktortankarna från BWR och PWR i SFR respektive SFL har ändrats. Enligt nuvarande planering kommer BWR-reaktortankarna att segmenteras och avfallet att deponeras i SFR. Det finns också ett inriktningsbeslut att segmentera PWR-reaktortanken från Ringhals 2 inför framtida deponering i SFL. Beslut gällande reaktortankarna för Ringhals 3 och 4 kommer att fattas i närmare anslutning till avvecklingen av dessa reaktorer.

Därefter följer redovisning av SKB:s verksamhet och handlingsplan för att ta hand om och slutförvara radioaktivt avfall och använt kärnbränsle från driften och avvecklingen av de svenska kärnkraftsreaktorerna. Dessutom redovisas en översikt av handlingsalternativ vid eventuella framtida förändrade förutsättningar. Utgående från handlingsplanen motiveras och sammanfattas de planerade insatserna inom forskning och teknikutveckling som behövs för att genomföra de återstående delarna av systemet och för att avveckla kärnkraftsreaktorerna och andra kärntekniska anläggningar. Där beskrivs också det systematiska arbetssätt som SKB har utvecklat för att genomföra den forskning, utveckling och demonstration som behövs för att kunna realisera planen och ta hand om radioaktivt avfall och använt kärnbränsle på ett säkert och kostnadseffektivt sätt. Här redovisar SKB också information om bevarande av information och kunskap över generationer liksom SKB:s planer för att fortsätta att bevaka utvecklingen av andra metoder för slutförvaring av använt kärnbränsle.

I del II beskrivs planerade forsknings- och teknikutvecklingsinsatser under denna Fud-period. Fokus ligger på de frågor som SKB identifierat som prioriterade för den fortsatta hanteringen och slutförvaringen av radioaktivt avfall respektive använt kärnbränsle.

Beskrivningen av planerade insatser presenteras för det låg- och medelaktiva avfallet, det använda kärnbränslet och slutförvarssystemens olika delar, vilket innebär att forskningen och teknikutvecklingen beskrivs integrerat för de tre slutförvarerna. Nulägesbeskrivningen av kunskapsläget redovisas översiktligt och hänvisar till mer detaljerad resultatredovisning i underlagsrapporter.

I del III presenteras planeringen för avvecklingen av kärnkraftsreaktorerna och SKB:s anläggningar liksom de beroenden och den flexibilitet som finns i systemet samt planering för fortsatt utvecklingsarbete.

Som redogjorts för ovan ställde regeringen i sitt beslut över Fud-program 2019 som villkor att reaktorinnehavarna och SKB ska i kommande redovisning av Fud-program behålla den struktur och indelning som använts för Fud-program 2016. SKB har utformat Fud-program 2019 med struktur och indelning som använts för Fud-program 2016 men med vissa mindre förändringar med hänsyn till de övriga villkor som regeringen ställt, och med avseende på de övriga synpunkter som SSM och Kärnavfallsrådet förde fram i sina respektive yttranden över Fud-program 2016.

Den viktigaste förändringen i Fud-program 2019 jämfört med föregående Fud-program avseende struktur och indelning är att SKB redovisar ett särskilt kapitel om slutförvaret för långlivat avfall, SFL, med fokus på dels utfallet från genomförd säkerhetsvärdering, dels redovisning av planer för fortsatt arbete, huvudsakligen avseende de föreslagna koncepten för tekniska barriärer för förvarets olika delar och planer för processen att lokalisera anläggningen.

Övriga förändringar utgörs av att särskilda redovisningar tillkommit för följande områden:

- Genomförandeplan för mycket lågaktivt avfall
- Genomförandeplan för transporter
- Övervakning under uppförande och drift
- Granskning, öppenhet och tillsyn
- Upprätthållande av kompetens på lång sikt

### ***SSM:s bedömning***

SSM konstaterar att SKB:s redovisning Fud-program 2019 bibehållit den struktur och indelning som användes för Fud-program 2016, med vissa mindre förändringar med hänsyn till de övriga villkor som regeringen ställt, och med avseende på de övriga synpunkter som SSM och Kärnavfallsrådet förde fram i sina respektive yttranden över Fud-program 2016.

SSM bedömer, på motsvarande sätt som för granskning och utvärdering av Fud-program 2016 (SSM 2017:17), att redovisningen i Fud-program 2019 är tydlig och väl strukturerad samt klargör hur forsknings- och utvecklingsåtgärder planeras, motiveras och utvärderas. Redovisningen av hur framtida aktiviteter relaterar till olika hållpunkter i den stegvisa process för uppförande och driftsättning av en kärnteknisk anläggning bedöms som särskilt värdefull med avseende på utomståendes förståelse dels för projektens genomförande i ett övergripande och längre perspektiv, dels för kopplingar till den konkreta tillsyn av uppfyllande av tillstånds- och föreskriftskrav som kommer att bedrivas inom ramen för SSM:s tillsyn av verksamheter som bedrivs under ett tillstånd. SSM bedömer att redovisningen i det avseendet bidrar till att uppfylla regeringens villkor om hur Fud-

programmet bättre kan bidra till öppenhet och insyn i hur arbetet med forskning, utveckling och demonstration av metoder för hantering och slutförvaring av kärnavfall bedrivs.

SSM konstaterar i anslutning till detta att redovisningen i rapporten är både mycket omfattande och detaljrik, samt åberopar ca 600 referenser. Utöver till publikationer i SKB:s rapportserier omfattar referenslistan ett stort antal artiklar från internationella vetenskapliga tidskrifter, doktorsavhandlingar, samt artiklar från konferenser och tekniska rapporter från myndigheter, från andra nationella och internationella organisationer och från konsultbolag.

SSM bedömer vidare att SKB har beaktat regeringens villkor om att kommande Fud-program ska innehålla en beskrivning av hur kompetensutvecklingen och kompetensförsörjningen ska säkras i ett tidsperspektiv på 50-100 år, genom att införa ett särskilt avsnitt (avsnitt 5.5.5) avsnitt som redogör för den specifika aspekten.

SSM bedömer också att SKB beaktat regeringens villkor om att planer, strategier och forskning avseende slutförvaret för långlivat avfall ska redovisas. SKB har i föreliggande program dedikerat ett särskilt kapitel (kapitel 6) som avhandlar det som efterfrågas.

SSM bedömer att redovisningen i Del III svarar upp mot regeringens villkor om att Fud-programmet ska innehålla en tydligare sammanhållna systemövergripande beskrivning av logistiken för hanteringen av rivningsavfallet, inklusive transporter.

SSM bedömer avslutningsvis att reaktorinnehavarna och SKB i allt väsentligt och i erforderlig omfattning har beaktat övriga påpekanden från såväl Strålsäkerhetsmyndigheten och Kärnavfallsrådet som andra instanser.

## **2.2 Remissinstanserna allmänna synpunkter**

I detta avsnitt redogörs för remissinstansernas mer allmänna synpunkter och i slutet redogörs kortfattat för de allmänna och principiella frågor som har uppmärksamrats i inkomna remissvar. Mer tekniska och detaljerade synpunkter redovisas i anslutning till respektive avsnitt i rapporten i anslutning till SSM:s bedömningar.

*Miljövänner för kärnkraft (MFK)* anser att hela Fud-programmet bör kompletteras med information som sätter rimliga proportioner på riskerna med det radioaktiva avfallet. MFK anser vidare att man tydligt bör tala om att radioaktivitet och den därav följande joniserande strålningen, är helt naturliga miljöfaktorer som funnits sedan universum bildades. MFK anser också att man bör sätta de stråldoser som det radioaktiva avfallet kan orsaka människor i relation till den naturliga stråldos vi får, stråldosens variation med olika platser på jorden och olika aktiviteter, till exempel flyg, som vi ägnar oss åt utan tanke på strålningseffekter.

MFK anser att risker som finns med joniserande strålning från kärnavfallet, också måste jämföras med riskerna från annat miljö- och hälsofarligt avfall som vi människor åstadkommer. MFK anser vidare att därmed ska också riskerna för avfallen under de omständigheter som de planeras att förvaras under, jämföras på så likvärdigt sätt som möjligt. Det vill säga att kärnavfall som hanteras enligt SKB:s planer ska jämföras med andra avfall som är omhändertagna på sätt som är planerade för dessa.

*Länsstyrelsen i Uppsala län* anser att det är nödvändigt att kommande Fud-program beaktar innehållet i det klimatpolitiska ramverket. Enligt Länsstyrelsens uppfattning behöver SSM i sitt kommande yttrande till regeringen lyfta fram att regeringen bör ge uttryck för klimatlagens innehåll i de villkor som brukar inkluderas i regeringens beslut gällande nästkommande Fud-program.

Länsstyrelsen lämnar följande villkorsförslag: ”Kommande Fud-program ska söka och utvärdera samt utveckla lösningar för hantering av kärnavfall med så låg klimatpåverkan som möjligt.”

*Sveriges geotekniska institut (SGI)* anser överlag att SKB har ett välunderbyggt program för forskning, utveckling och demonstration. Dock tycker SGI att omfattningen i programmen i många avseenden är desamma som i Fud-program 2016, och det är inom några områden oklart vilken forskning som har pågått under dessa år, samt vilka resultat det har föranlett som grund till det nu förslagna programmet. SGI noterar att i vissa kapitel saknas hänvisning till resultatredovisning av forskning utförd efter Fud-program 2016.

*Luleå tekniska universitet (LTU)* yttrande över SKBs Fud-program 2019 för långlivat och högaktivt radioaktivt avfall avser i första hand *Planerad forskning och teknikutveckling, Deponering i djupa borrhål, Kärnbränsleförvarets stabilitet*. LTU anser att de flesta ämnena beskrivs i form av ”genomförandeplaner” bland annat för olika slag av radioaktivt avfall med knapphändig redovisning av nuläget för mycket lågaktivt, låg- och medelaktivt avfall samt för använt kärnbränsle, som detta yttrande särskilt avser. LTU anser vidare att när det gäller kärnbränsleförvarets stabilitet är beskrivningarna av närfältbergets mekaniska stabilitet och lerbuffertens kemiska och mineralogiska stabilitet, vilka båda avgör lermaterialets avfallsisolerande kapacitet i kort och långt tidsperspektiv, inte up-to-date vad gäller de kemiska processerna som leder till omvandling. LTU anser också att Fud-program 2019 har påtaglig övervikt av skeenden i ett mycket långt tidsperspektiv och teoretisk modellering av storskaliga processer som inte är tillräckligt välkända för att beskrivas ens i bench-scale. LTU anser att sådan kunskap hade kunnat byggas upp genom mer ingående tolkning av undersökningarna av naturliga analogier, såsom den ordoviciska Kinnekullebentoniten och de något yngre Margaretebergslerna. LTU anser att SKB negligerar denna möjlighet till förståelse av storskaliga processer i övre jordskorpan.

LTU uppmärksammar att SKB:s forskning och utveckling bedrivits seriöst inom flera vidsträckta vetenskapliga/tekniska områden. LTU anser att om Fud-programmet 2019 börjar tillämpas kommer allt fler relativt perifera ämnesområden att konkurrera om finansieringen av fortsatt arbete med avfallsdeponering vilket gör att de för förvarets säkerhet mest betydelsefulla frågorna inte längre står i centrum, nämligen kapslarnas och lerbarriärernas stabilitet. LTU anser vidare att i verkligheten är det så att om kapslarnas förmåga att tillräckligt väl isolera det använda bränslet under upp till hundratusen år sviktar kan tillämpning av KBS-3 konceptet (pkt. 9.1; 9.2; och 9.3) innebära livshotande förhållanden, och om lerbufferten stelnar redan i ett inledande skede kan kapslarnas integritet och buffertens täthet mot genomläckning av radioaktivt vatten förloras tidigt. LTU vill därför i remissvaret särskilt understryka vad som påpekades redan i LTU:s yttrande över Fud-program 2016, det vill säga att: SKBs framtida forskning bör inriktas mera mot ingenjörbarriärernas design och funktion, speciellt när det gäller sådana ändringar av geometriska mått och materialval som vid kommande designarbete ska optimeras (pkt 11.4), och mot närfältberget, än mot den hydrauliska och mekaniska funktionen hos den vanligtvis komplext sammansatta, mer än tio miljoner kubikmeter

stora, bergvolym som rymmer KBS-3 förvaret. Den innehåller naturliga svagheter i form av skjuvspänningsutsatta och tektoniskt aktiverade sprickzoner som undergår krypning och icke förutsebara förskjutningar ledande till förändrad strukturell konstitution och mekanisk och hydraulisk funktion.

LTU anser att det är orimligt att anta att bergmassans konduktivitet, lokalt och regionalt, bibehålls under längre tid än de få tusentals år som kan föregå nästkommande omfattande nedisning, men frågan är hur man vid funktionsmodellering ska välja materialegenskaper för förutsägelse av bergets funktion för en så begränsad tid. De måste, enligt LTU vara hypotetiska och deras förändring med tiden skulle vara än osäkrare. LTU anser att för en så ytlig förläggning som ett KBS-3 förvar avses få skulle man inte tillräckligt väl kunna prediktera vilken roll som berget kommer att spela när det gäller mekaniskt skydd av avfallskapslarna mot kritiskt stora krypdeformationer i berget i kombination med tektonisk och seismisk påverkan. Den högre porositeten hos sådant ytberg ger, enligt LTU, betydligt sämre isolering av de högaktiva avfallskomponenterna än placering i djupa borrhål därför att mängden permeabla och deformerbara sprickor och sprickzoner är betydligt större än för djupare liggande berg. LTU noterar att enligt SKB:s egna bedömningar är till exempel medelkonduktiviteten på 500 m djup ca  $10^{-11}$  till  $10^{-9}$  m/s och lägre än  $10^{-12}$  m/s på mer än 2000 m djup undantagandes sprickzoner där ingen avfallsdeponering kommer ske. LTU anser att denna betydande skillnad understryker behovet av att närmare undersöka möjligheterna till deponering i djupa borrhål. LTU ser mycket positivt på att SKB enligt Fud-program 2019 avser att hålla sig bekant med utländsk forskningsverksamhet när det gäller förvaring i djupa borrhål.

*Länsstyrelsen Kalmar län* anser att Fud-program 2019 håller en hög kvalitet. Länsstyrelsen anser att nuläget, begränsningar som finns i systemet och frågor som behöver och planeras utredas beskrivs i syfte att säkerställa att kunskap och teknik är tillgänglig när de olika anläggningarna byggs och när de sätts i drift. Länsstyrelsen anser vidare att de insatser som gjorts och planeras verkar ändamålsenliga, relevanta och har god vetenskaplig kvalitet. Länsstyrelsen konstaterar att dispositionen är liknande som Fud-program 2016. Länsstyrelsen uppfattar att programmet nu har blivit ytterligare mer lättillgängligt. De synpunkter som länsstyrelsen lämnat på tidigare Fud-program har beaktats. Länsstyrelsen får intrycket att SKB är lyhörda för och tar till sig synpunkter från olika intressenter och bearbetar dessa i programmet.

*Stockholms universitet* anser att SKB rapporterar om ett vetenskapligt välunderbyggt och professionellt genomfört forskningsprogram rörande hantering och slutförvaring av använt kärnbränsle i Sverige. Universitetet noterar att inkluderat är även planer för fortsatta studier. Efter granskning av rapporten anser universitetet att vissa punkter behöver kompletteras med ytterligare forskning eller motivering. Universitetet noterar också att Fud-programmet bör ta tydligare hänsyn till och referera till publikationer i internationella, *peer-review* tidskrifter utöver de referenser som görs till SKB-rapporter.

*Oskarshamns kommun* synpunkter på Fud-program 2019 är främst relaterade till de delar som berör Oskarshamns kommun, det vill säga Clab, SFL och rivningen av kärnkraftverken på Simpevarpshalvön.

Kommunen anser att det är mycket värdefullt att det pågår forskning och utveckling för att klargöra vilka förutsättningar som krävs för att lyckas med att etablera fungerande



slutförvar för det svenska kärnavfallet. Kommunen anser vidare att det är särskilt värdefullt att forskningsprogrammet granskas av många olika instanser och kompetenser. Kommunen anser därför att det är olyckligt att forskning och utveckling av frågor som rör inkapsling och deponering av det använda kärnbränslet lyfts ut ur Fud-programmet när tillståndet för etableringen är klart.

Kommunen understryker vikten av tillsynsmyndighetens oberoende roll och att SSM har tillgång till lämpliga resurser. Kommunen anser att tillräckliga resurser måste tilldelas myndigheten för granskning av hela slutförvarssystemet och för att de ska kunna hantera den förtida avvecklingen av reaktorerna.

Kommunen anser att det material som tas fram som beslutsunderlag, så långt det är möjligt, måste vara lättillgängligt och begripligt även för lekmän som följer platsvals- och tillståndsprcesser. Kommunen exemplifierar genom att hänvisa till kapitel 14 som innehåller texter som bland annat beskriver de klimatförändringar som är kopplade till inlandsisens utbredning och avsmältning. Kommunen menar att i dessa texter används namn på såväl istider som mellanistider som inte är kända av gemene man. Kommunen anser att detta skrivsätt gör texterna onödigt svårtillgängliga för dem som är lekmän på området. Kommunen menar att till exempel beteckningen Weichsel skulle kunna bytas ut mot den senaste istiden utan att texten skulle ha förlorat sitt informationsvärde. Vidare anför kommunen att författarna i samma kapitel har sprängt in litteraturreferenser och liknande material i den löpande texten vilket, även det, gör materialet mera svårtillgängligt för dem som inte är vana att läsa vetenskapliga texter.

*Lokala säkerhetsnämnden vid Oskarshamns kärnkraftverk framför att den ställer sig bakom yttrandet från Oskarshamns kommun.*

Lokala säkerhetsnämnden vid Oskarshamns kärnkraftverk anser att SKB AB i Fud-program 2019 överskådligt och på ett bra sätt beskriver slutförvarssystemet och dess olika delar. Säkerhetsnämnden anser vidare att avvecklingsfrågorna och frågor som behöver lösas med anledning av förtida avställning av reaktorer beskrivs på ett utförligt sätt.

Säkerhetsnämnden påtalar vikten av tillsynsmyndighetens oberoende roll och vikten av att SSM har tillgång till resurser. Säkerhetsnämnden anser att tillräckliga resurser måste tilldelas myndigheten för granskning av hela slutförvarssystemet och för att kunna hantera förtida avveckling av reaktorer. Säkerhetsnämnden anser vidare att kompetensfrågorna också är av vikt, vilket inte minst SSM:s regeringsuppdrag 2017/18 om långsiktig kompetensförsörjning på strålsäkerhetsområdet visar. Säkerhetsnämnden konstaterar att det krävs kunskaper kring avställning, avveckling och nedmontering för att på ett säkert sätt kunna riva kärnkraftverken. Säkerhetsnämnden konstaterar att det är en unik kunskap som kommer att krävas de kommande åren och i närtid inleds med rivningen av Barsebäcksverkets radiologiska delar.

Säkerhetsnämnden understryker vikten av att analyser och övrigt tekniskt underlag som presenteras i Fud-programmet är tillgängligt och begripligt för olika grupper i samhället eftersom programmet har till uppgift att bidra till öppenhet och insyn i hur arbetet med forskning, utveckling och demonstration av metoder för hantering och slutförvaring av kärnavfall bedrivs.

Säkerhetsnämnden konstaterar att om SKB AB får tillstånd enligt berörda lagar fortsätter prövningen enligt kärntekniklagen i en så kallad stegvis prövning eftersom slutförvarsprojektet är både komplicerat och pågår under lång tid. Säkerhetsnämnden anser att det därför är mycket angeläget att beslutsprocessen rörande slutförvaret även hanteras av den slutliga beslutsinstansen regeringen och inte fördröjs.

Säkerhetsnämnden konstaterar att det fortfarande saknas ett antal anläggningar i slutförvarskedjan, såsom ett utbyggt slutförvar för kortlivat radioaktivt avfall (SFR) för omhändertagande av låg- och medelaktivt kärnavfall, slutförvaret för långlivat avfall (SFL) och byggnation och utbyggnad av befintliga markförvar vid anläggningarna för att ta hand om mycket lågaktivt avfall. Säkerhetsnämnden konstaterar att mark- och miljödomstolen nyligen tillstyrkt SKB:s ansökan om utbyggnad av SFR, men att ett regeringsbeslut dock återstår.

Säkerhetsnämnden konstaterar också att flera komponenter i slutförvarssystemet är försenade och att Clab:s lagringskapacitet inte räcker till eftersom allt använt kärnbränsle finns i det centrala mellanlagret. Säkerhetsnämnden anser att utbyggnaden av Clab, för att kunna utöka den tillåtna mängden från 8 000 ton till 11 000 ton använt kärnbränsle är av stor vikt. Säkerhetsnämnden konstaterar att nödvändigt beslut erfordras som möjliggör detta, vilket hanteras som en del av ansökningarna för hela KBS 3-systemet och nu ligger hos regeringen för beslut om tillåtlighet respektive tillstånd.

*Kungliga Vetenskapsakademien (KVA)* framför allmänna synpunkter och reflektioner och har endast ett fåtal specifika kommentarer till Fud-program 2019, speciellt avseende några av områdena för fortsatt forskning och teknikutveckling mot ökad processförståelse och kunskap (del II).

KVA anser att Fud-program 2019 är välstrukturerat och detaljerat. KVA anser vidare att avsnitten om pågående och planerade forsknings- och teknikutvecklingsinsatser ger en god nulägesbeskrivning som leder till logiska och välmotiverade programförslag för framtiden. Enligt KVA vilar programmet på en omfattande dokumentation. KVA noterar att ingenting nämns om alternativa strategier utöver slutförvaring av kärnavfall och kärnbränsle, men att andra alternativ än slutförvaring är oförenliga med gällande politiska beslut och ligger utanför uppdraget till SKB.

KVA konstaterar att Fud-program 2019 kan ses som en fortsättning och uppföljning av Fud-program 2016, med samma struktur och i huvudsak samma identifierade frågor och teman. KVA konstaterar vidare att programrapporten är omfattande och detaljrik och åberopar totalt 592 referenser varav 303 från perioden 2017-19, och endast 13 är från perioden före år 2000. I referenslistan ingår 272 rapporter i SKBs serier, varav 129 från 2017-19, ca 176 artiklar från internationella vetenskapliga tidskrifter, varav 87 från 2017-19, samt 20 doktorsavhandlingar, varav 12 från 2017-19, samt artiklar från konferens proceedings och tekniska rapporter från myndigheter och i några fall från nationella och internationella konsultbolag. KVA anser att det är uppenbart att betydande delar av den forskning och det utvecklingsarbete som föreslogs i Fud-program 2016 har initierats eller genomförts under den efterföljande 3-årsperioden, dokumenterade genom den omfattande publiceringen under perioden. KVA anser vidare att det bör påpekas, vilket indirekt kan utläsas i Fud-program 2019, att det finns en betydande kunskapsbas inom de flesta forskningsområdena efter snart 45 års forskning och utvecklingsarbete, vilket ej specifikt refereras. KVA uppskattar att antalet publicerade rapporter och artiklar fram till år 2000



rimligen bör överstiga 1000. KVA påpekar även att KBS/SKB delfinansierat över 100 doktorsarbeten sedan starten på 1970-talet.

KVA framför att två principer och förhållningssätt i forsknings- och utvecklingsarbetet konsekvent har följts sedan starten, vilket också genomsyrar de senaste Fud-programmen:

- 1) Analyser av tänkbara händelser och utvecklingar liksom risk- och konsekvensanalys skall inte baseras på antagna sannolikheter utan på detaljerad processförståelse. Det innebär förståelse av vilka konsekvenser olika antagna förutsättningar eller omständigheter leder till, och därmed en förståelse hur dessa förutsättningar kan undvikas eller elimineras ("performance assessment"-strategi).
- 2) Varje ny frågeställning eller problem som uppdraget måste analyseras till dess att full förståelse och kunskap har uppnåtts. Ett exempel på detta är den omfattande satsningen på temat kopparkorrosion under olika betingelser, dokumenterad i Fud-program 2019 med totalt 93 referenser, varav 71 från 2017-19.

KVA anser att det är naturligt att fokus successivt riktas mot aktuella och i tiden närliggande frågor, vilket för Fud-program 2019 är utformningen av SFL och nedläggningen av kärntekniska anläggningar inom ramen för beslutad avveckling av det svenska kärnkraftsprogrammet.

KVA anser att det stora antalet referenser från 2017-19, d v s perioden för Fud-program 2016, 303 referenser av totalt 579 från 2000-2019, visar på hög forskningsaktivitet, inte minst antalet doktorsavhandlingar sedan 2000 (20, varav 12 sedan 2017).

*Naturskyddsföreningen, Jordens Vänner och Miljöorganisationernas kärnavfallsgranskning* (föreningarna) lämnar in ett gemensamt yttrande över Fud-program 2019.

Föreningarna påtalar att Naturskyddsföreningen och Miljöorganisationernas kärnavfallsgranskning (MKG) i gemensamma yttranden över kraftindustrins kärnavfallsbolag SKB:s tidigare forskningsprogram Fud-program 2016 och Fud-program 2013 har framfört ett antal övergripande synpunkter på brister i det svenska kärnavfallssystemet.

I yttrandet över Fud-program 2013 rörde synpunkterna:

1. Omöjligheten att via Fud-programmet i realiteten styra det svenska kärnavfallsprogrammet.
2. Problemet med ansvarsprincipen och vem som ska verka för allmänintresset.
3. Problemet med att kraftindustrin driver sin kärnavfallsverksamhet i bolagsform utan möjlighet till offentlig insyn.
4. Problemet med betydande brister i kärnbränsleförvarsansökan.
5. Problemet med brister rörande förvaret för kortlivat radioaktivt avfall, SFR.
6. Bristerna med planeringen för rivningen av reaktorer.
7. Bristerna i finansieringssystemet.

I yttrandet över Fud-program 2016 rörde synpunkterna:

1. Behovet av en strategi för att ta fram den kunskap som behövs för att bedöma om kärnbränsleförvaret har förutsättningar att bli strålsäkert.
2. Den omfattande mängden kunskap som fortfarande behövs rörande långsiktig förvaring av använt kärnbränsle.
3. Behovet av ett nytt system för svenskt deltagande i europeisk kärnavfallsforskning.

Föreningarna menar att de frågeställningar som lyfts i de tidigare Fud-yttrandena i betydande utsträckning fortfarande är aktuella och bör beaktas i SSM:s pågående granskning av forskningsprogrammet, och dessutom vara en del av regeringens beslutsunderlag rörande forskningsprogrammet. Yttrandet över Fud-program 2016 bifogas därför som bilaga 1 och har i sig yttrandet över Fud-program 2013 som bilaga.

Föreningarna tar under punkt 2.2. i sitt yttrande upp att kärnavfallsbolaget SKB har tagit upp två försökspaket i det så kallade LOT-försöket i Äspölaboratoriet. Föreningarna menar att det är viktigt att regeringen i sin tillåtlighets- och tillståndsprövning av kärnbränsleförvaret har ett fullgott underlag rörande förutsättningarna för den långsiktiga integriteten av kopparkapslarna som ska användas. Föreningarna menar att detta kräver att regeringen har tillgång till analyser av omfattningen av den kopparkorrosion och annan påverkan på koppar som skett i de upptagna LOT-försökspaketerna.

Föreningarna föreslår att SSM i sitt yttrande till regeringen förordar att regeringen tar ett beslut rörande forskningsprogrammet med följande inriktning:

”Svensk Kärnbränslehantering AB ska omedelbart tillgängliggöra de upptagna LOT-försökspaketerna till de forskargrupper som vill studera materialet i sin helhet. SKB ska noggrant beskriva hur de olika koppardelarna i försöket har skyddats mot ytterligare korrosion efter upptaget. SKB får även uppställa villkor för att fortsatt skydda materialet så att forskningsvärdena inte förfärs. Inga delar av LOT-paketerna får emellertid undantas. Likvärdiga materiella resurser som SKB:s egna forskare handhar för analys ska därvid tillhandahållas även forskare som inte är kontrakterade av SKB.

Svensk Kärnbränslehantering ska snarast inkomma med en första analysrapport av LOT-paketet, som ska innehålla rådata och analys av alla de faktorer som kan påverka kopparkapselns långsiktiga integritet (korrosion, gropfrätning, försprödning m.m.). Detta ska göras för både de så kallade kopparkuponger som finns i paketerna och för olika delar av de centrala kopparrören. Det är särskilt viktigt att de mest uppvärmda delarna av centralrören analyseras. I materialet ska ingå fotografier, metallografiska bilder och analyser, och annan dokumentation av hur olika kopparytor ser ut, med särskild fokus på de mest påverkade ytorna.”

Med referens till avsnitt 5.1.4 ”Granskning, öppenhet och insyn” konstaterar föreningarna att de har följt kärnavfallsbolaget SKB:s arbete med kärnavfallsfrågor i snart 15 år. I det avseende är bolagets egen beskrivning av vetenskaplighet, öppenhet och insyn, enligt föreningarna, mycket långt från de förhållanden som varit verklighet genom åren. Föreningarna menar att bolaget huvudsakligen genomför försök som inte kan visa några problematiska resultat. Föreningarna menar vidare att bolaget visar på en högst bekymrande ovilja att ta till sig och redovisa forskningsresultat som motsäger dess egna intressen. Det som bolaget, enligt föreningarna, menar med kvalitetssäkring framstår i allt högre grad att se till att resultaten överensstämmer med bolagets syn på olika frågor. Det betyder, enligt föreningarna, att det finns betydande problem med nödvändiga beslutsunderlag inför kommande beslut. Detta är enligt föreningarna särskilt tydligt i de kontroverser som funnits rörande kopparkapselns långsiktiga integritet, men det finns problem inom andra områden. Föreningarna menar att det alltid finns behov av omfattande oberoende kvalitetssäkring innan viktiga resultat från bolagets forskning kan användas som beslutsunderlag.

### ***Fokus för remissinstansernas allmänna synpunkter***

Flera remissinstanser framför att Fud-programmet är bra strukturerat och medger en god förståelse för SKB:s och reaktorinnehavarnas planer och program för att genomföra resterande delar av slutförvarsprogrammet för använt bränsle och kärnavfall från kärnkraftreaktorerna.

Flera remissinstanser lämnar synpunkter som avser frågor kopplade till grundläggande principer avseende både samhällelig insyn och tillsyn av verksamheter på reaktorförläggningsplatserna i takt med att aktiviteter som erfordrar tillstånd enligt kärntekniklagen upphör. Specifika frågor som lyfts fram gäller i) hantering av avfall som friklassats från SSM:s tillsyn, ii) tillsyn av markförvaren efter att SSM:s tillsynsansvar upphört, och iii) status för förläggningsplatsen när SSM:s tillsyn upphört samt eventuell hantering av ytterligare återställningsarbeten som regleras av miljöbalken och som faller under länsstyrelsernas tillsynsansvar.

En likaledes principiell fråga som lyfts fram gäller externa intressenters möjligheter till insyn i fortsatt utvecklingsarbete för anläggningar efter det att ett tillstånd enligt kärntekniklagen meddelats. Farhågor framförs att redovisningen i Fud-programmen blir alltför översiktlig eller att information lyfts ur programmet och det betonas att det är viktigt att Fud-programmet fortsatt får ett ändamålsenligt innehåll.

Flera remissinstanser lyfter också fram vikten av att etableringen av SFL inte försenas, med hänvisning till att avvecklingsprojekten kommit igång och att förutsättningarna för omhändertagande av avfallet från nedmontering och rivning behöver klarläggas.

Flera remissinstanser lyfter också fram frågan om mellanlagring av avfall vid de kärntekniska anläggningarna som en konsekvens av att slutförvarsanläggningarna som ska ta emot avfallet inte kan göra så innan de uppförts och tagits i drift.

Några remissinstanser har uppmärksammat utvecklingen av det klimatpolitiska ramverket och efterfrågar att kommande Fud-program bör redovisa hur dessa aspekter integreras i de verksamheter som omfattas av Fud-programmet.

Några remissinstanser har påtalat vikten av att SSM ges tillräckliga resurser för att kunna bedriva den tillsyn som kommer att behövas fortsättningsvis med hänvisning till uppförandet av nya anläggningar i kombination med avveckling av de reaktor-anläggningar som ska nedmonteras och rivs i närtid.

Flera remissinstanser framför vikten av att SKB genomför en tydligt planerad och strukturerad platsvalsprocess och att det är viktigt att den formella samrådsprocessen genomförs i samarbete med berörda kommuner.

I det gemensamma remissyttrandet från Naturskyddsföreningen, Jordens Vänner och Miljöorganisationernas kärnavfallsgranskning (föreningarna) framförs i generell mening kritik avseende brister i det svenska kärnavfallssystemet och mer specifik kritik avseende aktiviteter kopplade till det så kallade LOT-projektet.

## 3 Verksamhet och handlingsplan

### 3.1 Inledning

SKB redogör i de fem inledande kapitlen (Del I) i Fud-program 2019 för företagets verksamhet och handlingsplan.

Kapitel 1 innehåller en övergripande redogörelse för förutsättningarna för SKB:s verksamhet i form av gällande regelverk, reaktorernas planerade driftstider, politiska inriktningsbeslut och uttalanden, grundläggande principer för genomförandet samt principerna för indelning av kärnkraftens restprodukter i olika avfallskategorier. SKB redogör också översiktligt för bakgrunden för Fud-processen och Fud-programmens relation till underlagsmaterial som SKB lämnat in som underlag i nu pågående prövningsprocesser och som underlag till processen för att fastställa avgifter och säkerheter inom ramen för finansieringssystemet.

Kapitel 2 innehåller en övergripande beskrivning av det svenska systemet för omhändertagande av använt kärnbränsle och låg- och medelaktivt avfall.

Kapitel 3 omfattar planer för genomförandet av SKB:s verksamhet. SKB redogör översiktligt för huvudtidsplanen och för de viktigaste kommande milstolparna för kärnavfallsprogrammet. Förutom en översiktlig redogörelse för de principiella stegen i processen att etablera SKB:s anläggningar redovisas separata och mer detaljerade genomförandeplaner för mycket lågaktivt avfall, låg- och medelaktivt avfall, använt bränsle samt avveckling av kärntechniska anläggningar. Dessutom redovisas en genomförandeplan för transporter samt handlingsalternativ vid eventuella framtida förändrade förutsättningar.

Kapitel 4 sammanfattar och motiverar planerade insatser inom forskning och teknikutveckling som behövs för att genomföra återstående arbete. Redovisningen kan beskrivas som information rörande vad SKB avser att genomföra under kommande Fud-period, det vill säga under de kommande sex åren. Redovisningen utgör i det avseendet en viktig länk mellan redovisningen i kapitel 3, som översiktligt beskriver vad som återstår att göra i programmet som helhet, och redovisningen i del II, som mer i detalj beskriver de verksamheter som planeras genomföras.

Kapitel 5 beskriver det systematiska arbetssätt som SKB har utvecklat för att genomföra den forskning, utveckling och demonstration som behövs. Redovisningen kan beskrivas som information rörande hur SKB avser att genomföra de aktiviteter som redovisas i kapitel 4. Kapitel 5 innehåller också en särskild redovisning av SKB:s strategier för att säkra tillgång till resurser och kompetens över tid, samt en redovisning av SKB:s internationella samarbete. Redovisningen i avsnitt 5.1.4 innehåller information som syftar till att besvara regeringens villkor om att Fud-program 2019 ska beakta hur Fud-programmet bättre kan bidra till öppenhet och insyn i hur arbetet med forskning, utveckling och demonstration av metoder för hantering och slutförvaring av kärnavfall bedrivs. Redovisningen i avsnitt 5.5.5 innehåller information som syftar till att besvara regeringens villkor om att Fud-program 2019 ska innehålla en beskrivning av hur kompetensutvecklingen och kompetensförsörjningen ska säkras i ett tidsperspektiv på 50-100 år.

SSM lämnar i detta avsnitt huvudsakligen synpunkter avseende strategiska överväganden och planeringsfrågor. Bedömningar utöver det kommenteras under respektive kapitel i efterföljande delar i granskningsrapporten.

## 3.2 Förutsättningarna för SKB:s verksamhet

### *SKB:s redovisning*

Kapitel 1 redogör övergripande för SKB:s program för omhändertagande och slutförvaring av radioaktivt avfall och använt kärnbränsle och sätter det i ett större sammanhang. Inledningsvis redogörs i avsnitt 1.1 för förutsättningarna för bolagets verksamhet med hänsyn till styrande lagstiftning, grundläggande skyldigheter för reaktorinnehavarna samt för SKB:s uppdrag. Politiska beslut och ställningstaganden i övrigt som fastlagt inriktningen för SKB:s arbete redovisas liksom grundläggande principer för genomförandet.

Den långsiktiga planeringen för avfallssystemet baseras på reaktorinnehavarnas aktuella planeringsförutsättningar. Under 2015 fattades beslut om förtida avställning av fyra reaktorer; Oskarshamn 1, Oskarshamn 2, Ringhals 1 och Ringhals 2, vilka samtliga togs i drift under 1970-talet. Oskarshamn 1 och Oskarshamn 2 har ställts av medan Ringhals 1 och Ringhals 2 planeras ställas av i slutet av 2019 respektive 2020. För övriga sex reaktorer är den planerade drifttiden 60 år. Detta gäller reaktorerna Forsmark 1, Forsmark 2 och Forsmark 3, Oskarshamn 3 samt Ringhals 3 och Ringhals 4. De yngsta reaktorerna, Forsmark 3 och Oskarshamn 3, kommer därmed att vara i drift till 2045 enligt den planering som reaktorinnehavarna har i dag.

Av redovisningen framgår att det svenska kärnkraftsprogrammet med nuvarande planeringsförutsättningar bedöms ge upphov till totalt ca 6 000 kapslar, motsvarande ca 12 000 ton använt kärnbränsle, ca 180 000 kubikmeter kortlivat avfall för deponering i SFR och ca 16 000 kubikmeter långlivat avfall för deponering i SFL<sup>4</sup>. SKB redovisar också att enligt nuvarande tillstånd kommer cirka 37 000 kubikmeter kortlivat driftavfall att slutförvaras i markförvar vid Forsmarks, Oskarshamns och Ringhals kärnkraftverk.

SKB redovisar också att utöver det kärnavfall som tas emot av reaktorinnehavarna, tar SKB också emot radioaktivt avfall från sjukvård, forskning och övrig industri. Detta regleras genom avtal mellan SKB och de företag som har ansvar för detta avfall. SKB har för närvarande avtal med AB SVAFO, Studsvik Nuclear AB, Cyclife Sweden AB, European Spallation Source ERIC (ESS) och Westinghouse Electric Sweden AB (WSE).

---

<sup>4</sup> SKB anger att ca en tredjedel av det avfall som planeras slutförvaras i SFL kommer från kärnkraftverken och att resten härrör från det historiska avfall som i dag förvaras av AB Svafo samt från andra verksamheter.

SKB redogör i avsnitt 1.2 översiktligt för Fud-programmens roll i det svenska systemet. Det första programmet, FoU-program 84, togs fram för att utgöra en del av ansökansunderlaget för regeringens beslut om laddningstillstånd för reaktorerne Forsmark 3 och Oskarshamn 3. SKB anger att regeringen i beslutet att medge laddningstillstånd skrev att KBS-3-metoden ”i sin helhet allt väsentligt befunnits kunna godtas med hänsyn till säkerhet och strålskydd”. KBS-3-metoden har sedan dess utgjort en planeringsförutsättning för SKB:s program för forskning, utveckling och demonstration. SKB beskriver också att fokus i programmet varierat över åren beroende på var tyngdpunkten i SKB:s verksamhet legat.

SKB redogör även kortfattat för innehållet i Fud-program 2016, de villkor som regeringen ställde i beslutet över programmet och för de viktigaste milstolparna samt den viktigaste utvecklingen sedan Fud-program 2016. SKB redogör likaledes kortfattat för situationen i pågående prövningsprocess avseende ett slutförvarssystem för använt bränsle och att SKB lämnat in kompletterande material till regeringen inför förväntade beslut om tillåtlighet enligt miljöbalken och tillstånd enligt kärntekniklagen.

SKB beskriver vidare hur redovisning i Fud-programmen relaterar till andra redovisningar som lämnas till SSM. För att undvika parallella redovisningar i Fud-program 2019 görs i förekommande fall hänvisningar till aktuella redovisningar, t.ex.; inlämnade ansökningar för Kärnbränsleförvaret och inkapslingsanläggning samt SFR; studier och planer för avveckling av kärnkraftsreaktorer och andra kärntekniska anläggningar; återkommande helhetsbedömningar inkluderande säkerhetsredovisningar (SAR) för Clab och SFR; samt i hur Fud-programmen relaterar till regelbundna redovisningar i de så kallade planrapporterna.

SKB redogör också i avsnitt 1.3 översiktligt för principerna för beräkning av framtida kostnader och fondering av medel för programmets genomförande.

### **3.3 Övergripande beskrivning av SKB:s verksamheter**

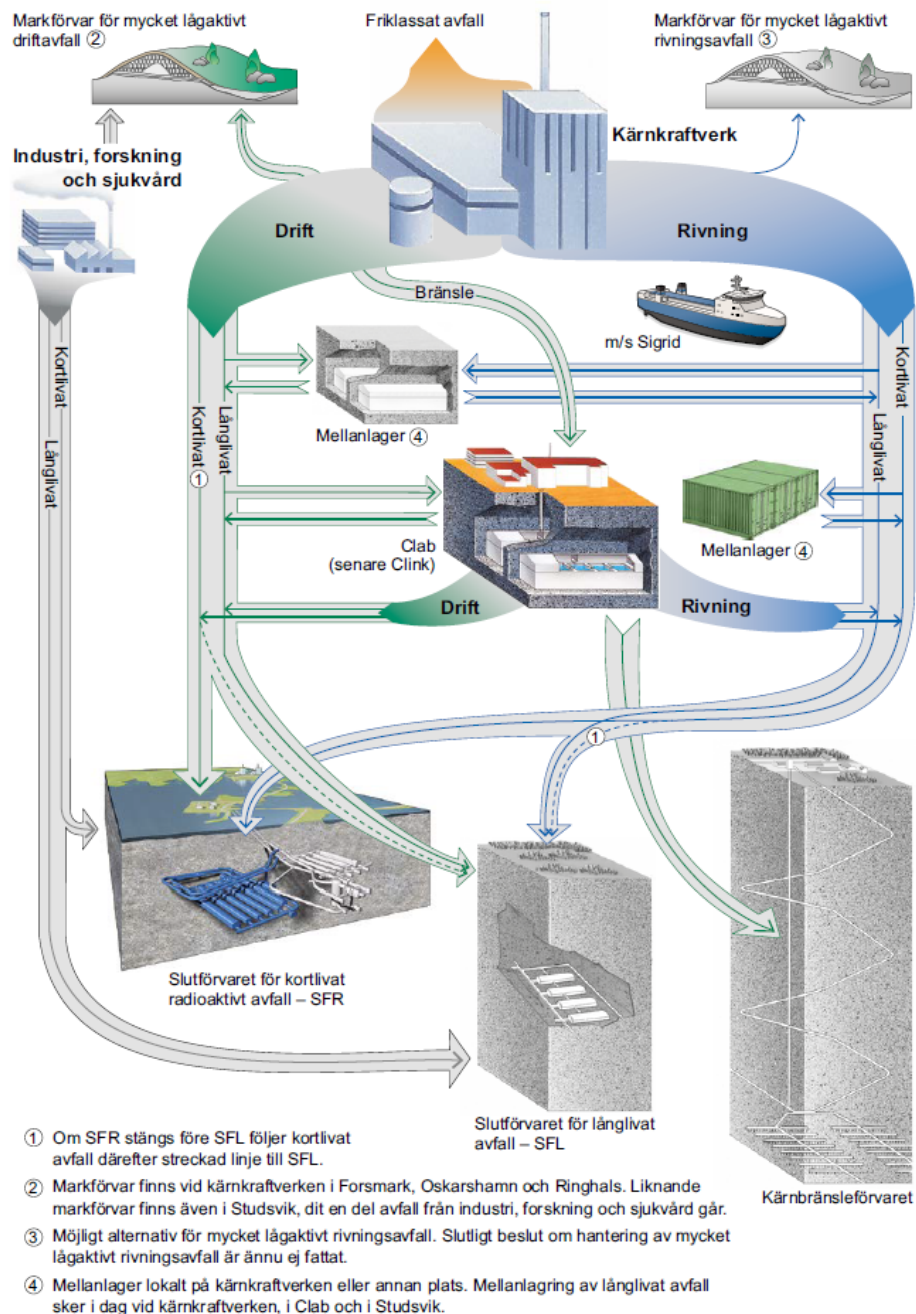
#### **3.3.1 Allmänt**

SKB redovisar inledningsvis i kapitel 2 att systemet för att omhänderta kärnkraftens restprodukter delas in i två huvuddelar; dels systemet för omhändertagandet av låg- och medelaktivt avfall; dels systemet för omhändertagande av det använda kärnbränslet (KBS-3-systemet). I systemet för omhändertagande av låg- och medelaktivt avfall finns både anläggningar som drivs i avfallsproducenternas regi (lokala markförvar och mellanlager) och anläggningar som drivs, eller kommer att drivas, i SKB:s regi (SFR, SFL, anläggningar inom KBS-3-systemet).

Anläggningarna i systemet för att ta hand om det låg- och medelaktiva avfallet och det använda kärnbränslet presenteras översiktligt i figur 2-1, som återges nedan, och beskrivs närmare i avsnitt 2.1 respektive 2.2 i Fud-program 2019.

SKB svarar för transportsystemet som beskrivs i avsnitt 2.3, som är gemensamt för det låg- och medelaktiva avfallet och det använda kärnbränslet. Transporterna sker huvudsakligen till sjöss, eftersom kärnkraftverken och SKB:s anläggningar ligger vid

kusten. Undantag är Ågestaverket där transport av rivningsavfallet kommer att ske på landsväg.



Figur 2-1. Systemet för att ta hand om Sveriges radioaktiva avfall och använda kärnbränsle. Heldragna linjer representerar transportflöden till befintliga eller planerade anläggningar. Streckade linjer representerar alternativa hanteringsvägar.

En stor del av det hanteringssystem som behövs för att hantera och slutförvara kärnkraftens restprodukter har redan byggts upp och av redovisningen framgår vilka anläggningar och verksamheter som behövs för att göra systemet komplett. För systemet för omhändertagandet av det använda kärnbränslet återstår att bygga och driftsätta en anläggningsdel för inkapsling av det använda bränslet i anslutning till Clab, en slutförvarsanläggning för det använda bränslet samt att införskaffa en transportbehållare för transport av det inkapslade bränslet. Därutöver planerar SKB att bygga en anläggning för maskinbearbetning och montering av kopparkapseln.

För det låg- och medelaktiva avfallet kommer det att behövas en utbyggnad av det befintliga slutförvaret för kortlivat avfall (SFR), en slutförvarsanläggning för långlivat avfall (SFL) samt en behållare för transport av långlivat avfall.

### 3.3.2 Anläggningar inom systemet för låg- och medelaktivt avfall

#### **Hantering av kortlivat avfall**

SKB redogör inledningsvis för att behandlingsanläggningar för kortlivat avfall finns vid kärnkraftverken, i Studsvik och på Clab. där avfallet behandlas och förpackas så att det uppfyller krav för friklassning, deponering i SFR eller i markförvar. SKB anger att syftet med behandlingen kan vara att friklassa materialet, reducera volymen, koncentrera aktiviteten, solidifiera eller konditionera materialet.

SKB redogör också översiktligt för förutsättningarna för mellanlagring av kortlivat avfall vid anläggningar vid kärnkraftverken. Eftersom nedmontering och rivning av de första sju reaktorerna planeras starta innan SFR-utbyggnaden kan ta emot rivningsavfall behöver befintliga mellanlagringskapaciteter utökas.

#### **Deponering av mycket lågaktivt avfall**

SKB redogör vidare för att avfall som innehåller mycket låg aktivitet deponeras i de befintliga markförvaren på industriområdena vid kärnkraftverken i Forsmark, Oskarshamn och Ringhals. Samtliga markförvar bygger på ett flerbarriärsystem som fördröjer spridning av radioaktiva ämnen tills aktiviteten klingat av men konstruktionen skiljer sig något mellan förläggningsplatserna för att passa den lokala geologin. Enligt nuvarande praxis krävs att området står under institutionell kontroll i cirka 30 år efter att det sista avfallet deponerats.

SSM bedömning av avseende redovisning kopplat till genomförandeplanen för mycket lågaktivt avfall återfinns i avsnitt 4.1

#### **Slutförvaret för kortlivat låg- och medelaktivt avfall (SFR)**

SFR är lokaliserat vid Forsmarks kärnkraftverk. Förvaret är placerat under Östersjön med cirka 60 meter bergtäckning. Tillståndet för SFR omfattar endast driftavfall, för att kunna slutförvara allt tillkommande kortlivat driftavfall samt avfall från nedmontering och rivning planerar SKB att bygga ut SFR. SKB redogör i avsnitt 3.3.3 mer i detalj för planering och milstolpar för utbyggnaden samt för huvudskeden och tidsplan för genomförandet av projektet.

### **Hantering av långlivat avfall**

SKB redogör för att det vid kärnkraftverken finns förutsättningar för segmentering av förbrukade härdkomponenter för placering i ståltankar för lokal mellanlagring, och för pågående segmenteringsaktiviteter som en del av avvecklingen av de avställda reaktorerna. SKB redovisar också att AB Svafo för närvarande utreder möjligheter för att hantera och slutförvara de olika avfallsfraktionerna av historiskt avfall från forskning och utveckling inom de svenska kärnforskningsprogrammen.

SKB redogör vidare för att fram till dess att slutförvaret för långlivat avfall, SFL, tagits i drift behöver det långlivade avfallet mellanlagras vilket i dag görs vid kraftverken, i Clab och i Studsvik. SKB redovisar att det långlivade avfall som uppkommer från rivning av de första reaktorerna bedöms kunna rymmas i befintliga mellanlager vid kraftverken alternativt på annan plats och redovisar översiktligt förutsättningarna för mellanlagring vid de förläggingsplatser där avvecklingsaktiviteter har inletts, d.v.s. Barsebäck, Oskarshamn och Ringhals.

### **Slutförvaret för långlivat låg- och medelaktivt avfall (SFL)**

SKB planerar att lämna in en ansökan för att etablera SFL och att anläggningen förväntas kunna tas i drift 2045. Anläggningen, med uppskattad total lagringsvolymen om ca 16 000 kubikmeter, blir förhållandevis liten jämfört med SKB:s övriga slutförvar. SKB redogör vidare för att utvecklingen av förvaret är i ett tidigt skede och baseras på ett förvarskoncept som rymmer två förvarsdelar; en del för härdkomponenter och segmenterade PWR-reakortankar från kärnkraftverken och en del för historiskt avfall.

SKB redogör i avsnitt 3.3.4 mer i detalj för planering och milstolpar samt huvudskeden och tidsplan för etablerandet av anläggningen.

SSM bedömning av avseende redovisning kopplat till genomförandeplanen för låg- och medelaktivt avfall återfinns i avsnitt 4.2

## **3.3.3 Anläggningar inom KBS-systemet**

### **Clab/Inkapslingsanläggningen/Clink**

SKB redogör för att det centrala mellanlagret för använt kärnbränsle, Clab, är lokaliserat vid kärnkraftverket i Oskarshamn. Vid anläggningen som varit i drift sedan 1985 mellanlagras det använda kärnbränslet i vattenbassänger drygt 30 meter under markytan. I mottagningsdelen tas transportbehållarna med det använda kärnbränslet emot och lastas ur under vatten. Bränslet placeras därefter i lagringskassetter. Två typer av kassetter, normalkassetter och kompaktkassetter, används. Förutom använt kärnbränsle mellanlagras idag även styrvastavar från kokvattenreaktorer samt härdkomponenter.

SKB redogör vidare för att Clab har varit i drift i mer än 30 år och att ett antal projekt pågår, eller nyligen har genomförts, för att uppgradera anläggningen, bland annat uppgradering av kylkedjan och anpassningar för att kunna ta emot en ny typ av transportbehållare.

SKB redovisar att vid årsskiftet 2018/2019 fanns drygt 7 000 ton bränsle inlagrat i anläggningen samt att SKB har tillstånd att lagra 8 000 ton bränsle i anläggningen. Enligt

dagens prognoser beräknas denna lagringsmängd nås 2023/2024. Under 2015 ansökte SKB enligt kärntekniklagen och miljöbalken om att utöka den tillåtna mängden till 11 000 ton använt kärnbränsle, som en del av ansökningarna för hela KBS-3-systemet.

SKB beskriver vidare planerna för att uppföra en inkapslingsanläggning i anslutning till Clab och driva som en integrerad anläggning, Clink, liksom grundläggande principer för de olika momenten i processen för att kapsla in bränslet. Därutöver planerar SKB att bygga en anläggning för maskinbearbetning, montering och kvalitetssäkring av koppar-kapslarna som dock inte kommer att vara en kärnteknisk anläggning.

### **Kärnbränsleförvaret**

SKB lämnade i mars 2011 in en ansökan om att etablera ett slutförvar för använt kärnbränsle och redogör övergripande för utformning och funktion för anläggningen.

Undermarksdelen kommer att ligga cirka 470 meter under marknivån och utgörs av ett centralområde och ett flertal deponeringsområden samt förbindelser till ovanmarksdelen i form av en ramp för fordonstransporter samt schakt för hissar och ventilation. Anläggningen ovan mark omfattas av driftområde, bergupplag, ventilationsstationer och förråd.

SKB redovisar att anläggningen dimensioneras för en total mängd använt kärnbränsle motsvarande cirka 6 000 kapslar med en deponeringskapacitet på 200 kapslar per år och hur driften principiellt är tänkt att genomföras. Efter att kapslarna förts ner till deponeringsnivån via rampen med ett transportfordon lastas de om till en deponeringsmaskin, transporteras till deponeringsområdet och placeras i deponeringshålen omgivna av bentonitlera varefter deponeringstunneln fylls igen med lera som kommer att svälla vid kontakt med vatten. Slutligen försluts deponeringstunneln med en betongplugg. När allt bränsle har deponerats fylls även övriga utrymmen igen och anläggningarna ovan mark avvecklas.

SSM:s bedömning av avseende redovisning kopplat till genomförandeplanen för använt kärnbränsle återfinns i avsnitt 7.1.

### **3.3.4 Transportsystemet**

SKB redogör i avsnitt 2.3 översiktligt för transportsystemet som etablerats för att ombesörja transporter av använt bränsle och radioaktivt avfall. Systemet består av fartyget m/s Sigrid, olika typer av landtransportfordon och transportbehållare. SKB redogör vidare översiktligt för de grundläggande principerna som tillämpas för att genomföra transporter med avseende på upprätthållande av strålskyddet.

SSM:s bedömning av avseende SKB:s redovisning av transportverksamheten redovisas i kapitel 8.

### **3.3.5 Kärnämneskontroll**

SKB redogör i avsnitt 2.4 översiktligt för internationella krav på kärnämneskontroll samt konsekvensen för SKB:s verksamheter. SKB anger att kärnämneskontroll har bedrivits på Clab sedan många år tillbaka och tydliggör att när KBS-3-systemet i sin helhet tas i drift

kommer samtliga ingående anläggningar och transportsystemet att omfattas av ett sammanhållet system för kärnämneskontroll för att säkerställa att inget kärnämne avleds.

SKB anger också att det finns visst avfall som innehåller små mängder kärnämne som planeras deponeras i SFL, som mellanlagras i Studsvik och omfattas av kärnämneskontroll.

SSMs bedömning av avseende SKB:s redovisning av kärnämneskontroll redovisas i kapitel 9.

### 3.4 Plan för genomförandet

#### *SKB:s redovisning*

SKB redovisar i kapitel 3 översiktligt planering för att uppföra och ta i drift nya verksamheter samt att på sikt avveckla alla i kärnkraftsprogrammet ingående verksamheter. Planeringen fokuserar på stegvisa hållpunkter för individuella anläggningar och utgår huvudsakligen från de förutsättningar som ges av kärntekniklagen och miljöbalken samt av SSM utfärdade föreskrifter.

SKB redovisar i avsnitt 3.1 en övergripande handlingsplan för hela kärnavfallsprogrammet. SKB:s planering för nya anläggningar utgår från en stegvis beslutsprocess som har sin grund i SSM:s föreskrifter, och är i linje med internationella rekommendationer. SKB har i sin planering utgått från de olika tillstånd och medgivanden som erfordras enligt denna stegvisa process och angivit dem som milstolpar. De viktigaste milstolparna, vilka är gemensamma för samtliga planerade anläggningar, är:

- **Tillstånd enligt kärntekniklagen och tillåtlighet enligt miljöbalken att få bygga, inneha och driva en ny kärnteknisk anläggning** – baserad på redovisning av en förberedande preliminär säkerhetsredovisning (F-PSAR) och en miljökonsekvensbeskrivning (MKB).
- **Godkännande av säkerhetsredovisning inför uppförande** – baserad på redovisning av en preliminär säkerhetsredovisning (PSAR) som redogör för anläggningens utformning, hur verksamheten anordnas och hur kraven uppfylls.
- **Godkännande av säkerhetsredovisning inför provdrift respektive rutinmässig drift** – baserad på succesiva redovisningar av förnyad respektive kompletterad säkerhetsredovisning (SAR). Säkerhetsredovisningen ska sammantaget visa hur anläggningens säkerhet är anordnad och ska avspegla anläggningen som den är byggd, analyserad och verifierad samt visa hur gällande krav på dess konstruktion, funktion, organisation och verksamhet är uppfyllda.
- **Godkännande av säkerhetsredovisningen inför förslutning av förvaren** – baserad på en kompletterad säkerhetsredovisning (SAR) samt plan för avveckling, och för slutförvarsanläggningar en plan för förslutning av anläggningen.

En övergripande huvudtidplan för hela kärnavfallsprogrammet redovisas i figur 3-1 (sida 43 i Fud-program 2019) och som återges nedan. Planeringen för de tillkommande anläggningarna är i stort indelat i teknikutveckling och lokalisering (SFL), projektering och tillståndsprövning, uppförande, provdrift samt rutinmässig drift. Milstolparna som

redovisas är i högre grad än tidigare kopplat till successiva inlämningar av uppdaterade säkerhetsredovisningar.

På motsvarande sätt kommenterar SSM den mer detaljerade genomförandeplanen för använt kärnbränsle i avsnitt 6 i Fud-program 2019 som en del av SSM:s samlade synpunkter på SKB:s redovisning av omhändertagande och slutförvaring använt kärnbränsle i kapitel 7 i denna rapport.

SKB presenterar i kapitel 3.5 översiktligt genomförandeplan för avveckling av kärntekniska anläggningar. SSM bedömer redovisningen i avsnittet tillsammans med den samlade bedömningen av avveckling av kärntekniska anläggningar som redovisas i del III i Fud-program 2019. SSM:s bedömningar återfinns i kapitel 11 i föreliggande rapport.

SSMs bedömning avseende SKB:s redovisning av genomförandeplanen för transportverksamheten, vilken SKB översiktligt presenterar i kapitel 3.6, redovisas i kapitel 8.

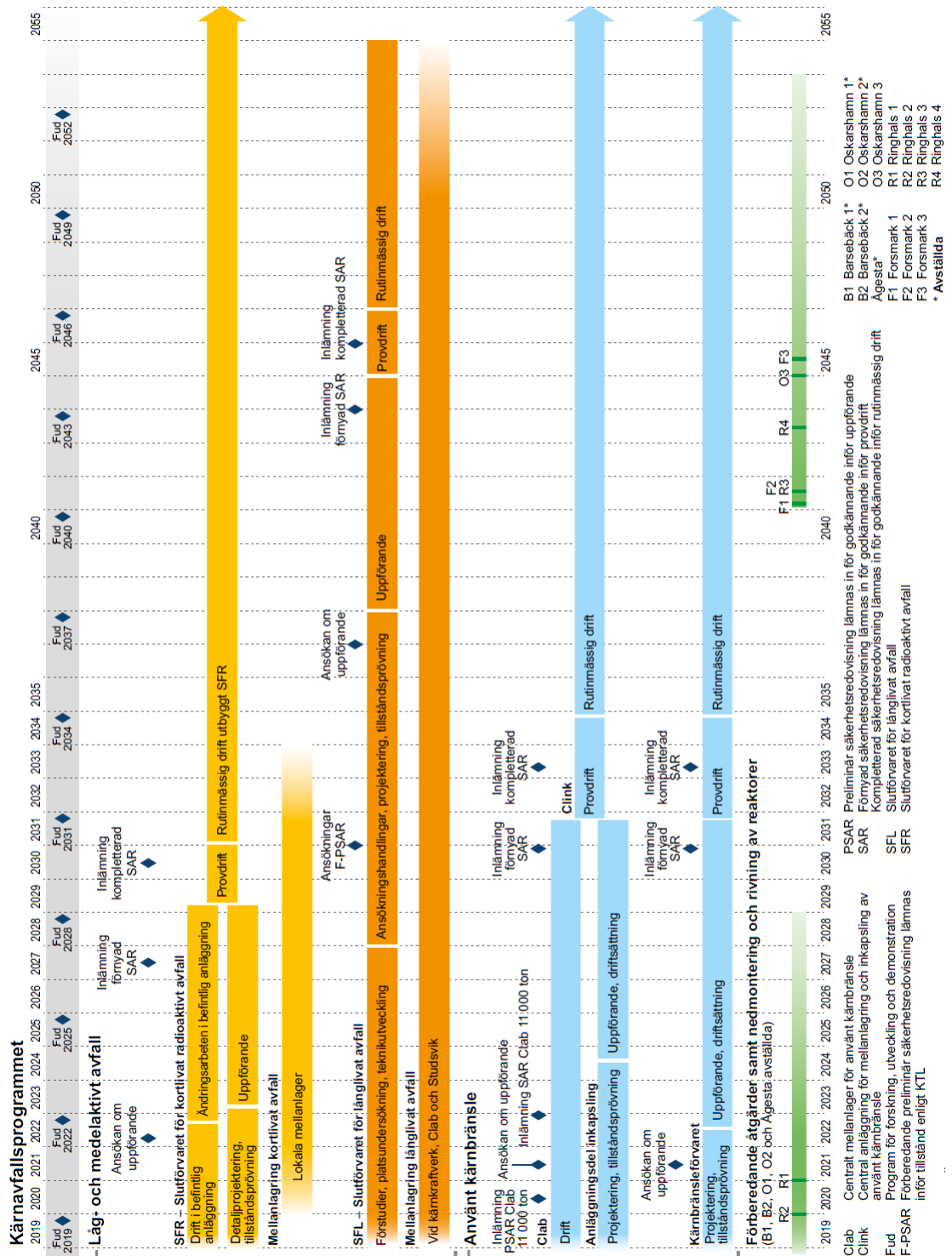
SSM kommenterar den mer detaljerade genomförandeplanen för mycket lågaktivt avfall samt låg- och medelaktivt avfall i avsnitt 3.2 respektive 3.3 i Fud-program 2019 som en del av SSM:s samlade synpunkter på SKB:s redovisning av omhändertagande och slutförvaring av mycket lågaktivt avfall samt låg- och medelaktivt avfall i kapitel 4.1 och 4.2 i denna rapport.

### ***Remissinstansernas synpunkter***

*Länsstyrelsen Kalmar län* konstaterar att vid utredning och prövning av etablering av anläggningarna är fokus på tidsplaner för genomförande av olika åtgärder, byggnationer, nedmonteringar och rivningar. Länsstyrelsen anser att detta är viktigt för förståelsen av hanteringen och förvaringen av det radioaktiva avfallet utifrån förutsättningar som är kända idag och som nu bedöms aktuellt i framtiden. Det ger också en bild över utvecklingen inom området och en grund för förståelsen av arbetet. Länsstyrelsen anser att detta stämmer till viss del överens med den stegvisa prövningsprocess, enligt kärntekniklagen och strålskyddslagen, medan det skapar en viss problematik vad gäller prövning enligt miljöbalken, som inte är lika flexibel.

Länsstyrelsen anser vidare att i prövning krävs att man har valt någon eller några metoder som ska beskrivas utifrån många olika miljö- och säkerhetsaspekter. En farhåga är då enligt länsstyrelsen att man tappar bort en del aspekter, som till exempel vad som är bäst över tid och att andra nyttor eller hinder som inte kan förstås när frågan prövas. Framförallt avseende rivningsavfallet, det mycket lågaktiva avfallet och konventionellt avfall. Avfallstyper som kommer att uppkomma i stor mängd och där det sannolikt också finns störst möjligheter för annat omhändertagande.

Ur detta perspektiv vill länsstyrelsen framhålla att detta forum har en stor betydelse. Länsstyrelsen anser att det är viktigt att olika handlingsalternativ belyses och utreds så tidigt som möjligt, och att allmänhet och andra intressenter kan få en insyn i arbetet. Enligt länsstyrelsen bör det även kommenteras om och hur de olika tillvägagångssätten kan anses förenliga med befintliga tillstånd eller andra bestämmelser i lagstiftningen, som till exempel miljöbalken.



Figur 2: Övergripande tidsplan för SKB:s kärnavfallsprogram. (SKB: Fud-program 2019).

Länsstyrelsen anser att möjligheten för en bred dialog är viktigt eftersom prövningsprocesserna är långa. Ett exempel på detta är enligt länsstyrelsen behov av mellanlagring. Länsstyrelsen konstaterar att som en följd av pågående avveckling av O1 och O2 och att slutförvar för avfallet, SFR och SFL inte färdigställda, kommer nedmonterings- och rivningsavfall behöva mellanlagras på plats vid verksamheterna. Vid Oskarshamnsverket

innebär det enligt länsstyrelsen att det lågaktiva avfallet som ska transporteras till SFR mellanlagras i LLA (lagringsbyggnad för lågaktivt avfall) vars yta utökas. Det medelaktiva avfallet som planeras slutförvaras i SFR och det långlivade avfall som ska till SFL, kommer att mellanlagras i det befintliga mellanlagret BFA (bergrum för mellanlagring av låg- och medelaktivt) vid Oskarshamnsverket. Länsstyrelsen anser att diskussioner kring former och tidsaspekter avseende framtida behov av mellanlagring bör ske i Fud.

*Lokala säkerhetsnämnden vid Oskarshamns kärnkraftverk* noterar att nedmontering och rivning av sju reaktorer (två stängda reaktorer i Barsebäck och en tidig reaktor i Ågesta) kommer att ske i närtid. Säkerhetsnämnden noterar vidare att övriga reaktorer ska drivas i 60 år vilket innebär att de yngsta reaktorerna kommer att avvecklas i mitten av 2040-talet. Säkerhetsnämnden konstaterar att tillståndsprövningen för en utbyggnad av SFR för kortlivat låg- och medelaktivt avfall har kommit så långt att huvudförhandlingen i mark- och miljödomstolen är avslutad efter att domstolen har tillstyrkt SKB:s ansökan i likhet med SSM. Säkerhetsnämnden konstaterar också att tillståndsprövning pågår när det gäller det använda kärnbränslet och inkapslingsanläggningen i Oskarshamn och slutförvaret i Forsmark. Säkerhetsnämnden konstaterar att nästa steg är att regeringen tar ställning i frågan utifrån domstolens och expertmyndighetens yttranden. Säkerhetsnämnden konstaterar vidare att innan regeringen fattar beslut i ärendet så måste även Östhammars kommun tillfrågas, eftersom kommunen har vetorätt i frågan. Med anledning av att SKB ännu inte har tillstånd för de anläggningar som ska ta emot rivningsavfallet vill säkerhetsnämnden påtala vikten av samordning med reaktorägarna för att avfallshanteringen ska kunna bli så effektiv som möjligt.

### **3.5 Handlingsalternativ vid förändrade förutsättningar**

#### ***SKB:s redovisning***

SKB redogör i avsnitt 3.7 för programmets flexibilitet vid förändrade förutsättningar. SKB:s och tillståndshavarnas planering för omhändertagande av avfallet baseras på de förutsättningar och antaganden som gäller i dag för kärnkraftsprogrammet och har anpassats till följd effekterna av besluten om att stänga reaktorerna Oskarshamn 1 och 2 samt Ringhals 1 och 2. För övriga reaktorer baseras planeringen på tidigare antaganden om en driftstid om 60 år. SKB anger att planeringen omfattar osäkerheter av olika slag men att verksamheten medger en förhållandevis stor flexibilitet.

SKB:s redovisning i avsnitt 3.7.1 omfattar såväl förlängning som förkortning av planerade driftstider för de reaktorer som inte ska ställas av. SKB för ett resonemang kring effekter i form av ändrade tidsplaner för inlagring av använt kärnbränsle i Clab. SKB beskriver också hur tidigarelagd respektive senarelagd rivning av reaktorerna i på ett övergripande plan påverkar planeringen för slutförvaren för avfallet, det vill säga SFR och SFL.

SKB resonerar också i avsnitt 3.7.2 – 3.7.4 kring effekterna av en tidigarelagd eller senarelagd idrifttagning av slutförvarsanläggningarna för det låg- och medelaktiva avfallet, framför allt med koppling till behov av mellanlagring av avfallet. Situationen är annorlunda för det lågaktiva avfallet som utgör större volymer men som också kan hanteras på fler sätt. Utöver deponering i SFR så kan visst avfall slutförvaras i markförvar på förläggingsplatserna eller friklassas och hanteras som konventionellt avfall. SKB

redovisar i ett särskilt avsnitt resonemang kring alternativ för hantering av det mycket lågaktiva avfallet.

SKB reflekterar i avsnitt 3.7.5 kring effekter av senareläggning respektive tidigare-läggning för idrifttagande av Kärnbränsleförvaret och Clink och de åtgärder som kan vidtas för att hantera ett behov av ytterligare mellanlagringskapacitet jämfört med referensscenariot. Åtgärder som redovisas inkluderar kompaktering eller torrlagring av styrvastavar som för närvarande mellanlagras i förvaringsbassängerna. Om det blir nödvändigt kan Clab byggas ut med ytterligare ett bergrum med förvaringsbassänger. Alternativt kan torrlagring av använt kärnbränsle göras.

SKB redogör slutligen i avsnitt 3.7.6 för utredningar som genomförts tillsammans med Posiva om huruvida horisontell deponering (KBS-3H) kan utgöra ett alternativ till referensalternativet med vertikal deponering i Kärnbränsleförvaret. SKB redovisar att något utvecklingsarbete inte kommer att drivas under den kommande sexårsperioden men att denna inriktning kan komma att revideras i samband med Fud-program 2022.

### ***Remissinstansernas synpunkter***

*Naturskyddsföreningen, Jordens Vänner och Miljöorganisationernas kärnavfallsgranskning (föreningarna)* noterar att i avsnitt 3.7 i forskningsprogrammet diskuteras de olika handlingsalternativ som kärnavfallsbolaget SKB ser om det blir förändrade förutsättningar för olika förvarsprojekt. Eftersom föreningarna har synpunkter på många av projekten framför de en annan bild av vilka handlingsalternativ som kan vara bäst.

Föreningarna noterar att i avsnitt 3.7.1 behandlas olika handlingsalternativ för om den nuvarande av kärnkraftindustrin planerade drifttiden på 60 år förändras för de sex reaktorer som är i drift efter 2020. Föreningarna framför att det av ekonomiska och elsystemtekniska skäl är osannolikt att de återstående reaktorerna får en så lång drifttid som 60 år. Att det skulle byggas nya kärnkraftreaktorer är av ekonomiska skäl anser föreningarna också högst osannolikt. Detta betyder, enligt föreningarna, att det existerande mellanlagret för använt kärnbränsle vid Oskarshamns kärnkraftverk (Clab) aldrig kommer att bli fullt om den planerade förtätningen av bränslet i bränslebassängerna sker. Föreningarna anser att tillståndsprövningen för att utöka tillståndet för kapaciteten på Clab från 8 000 ton till 11 000 ton genom sådan förtätning av bränslet bör kopplas loss från den pågående kärnbränsleförvarsprövningen för att möjliggöra en snabbare tillståndsprocess.

Föreningarna påpekar också att eftersom Clab kan ta emot allt det använda kärnbränslet som kommer att produceras i Sverige – och det enligt kärnavfallsbolaget SKB kan ligga säkert där i 100 år eller längre – är det, enligt föreningarna, inte bråttom med att åstadkomma ett långsiktigt förvar för det använda kärnbränslet av utrymmesskäl. Detta kan, enligt föreningarna, underlätta för regeringen att ta det nödvändiga beslutet att inte ge tillåtelse för det nu föreslagna KBS-förvarskonceptet för använt kärnbränsle på grund av de problem som finns med kopparkapselns långsiktiga integritet. Även möjligheten att använda den, enligt föreningarna, säkrare och sannolikt billigare metoden djupa borrhål kan underlätta ett sådant beslut.

Föreningarna noterar att i avsnitt 3.7.2 behandlas långsiktig förvaring av kortlivat låg- och medelaktivt radioaktivt avfall. Föreningarna påtalar att de i miljöprövningen av planerna på att bygga ut förvaret för kortlivat låg- och medelaktivt radioaktivt rivningsavfall i Forsmark (SFR) har avstyrkt en tillbyggnad. Föreningarna påtalar också att de även har

förordad att avfallet i det existerande förvaret ska återtas eller att förvaret ej tillsluts utan i stället hålls så torrt som möjligt och övervakas i minst 400 år. Föreningarna anser att det är viktigt att det inleds ett arbete för att ersätta SFR med en ny anläggning för långsiktig förvaring av detta avfall med betydligt bättre geologiska och hydrologiska förutsättningar att åstadkomma tillräcklig strålsäkerhet. Föreningarna anser att ett nytt förvar med fördel kan placeras på ett större djup i ett inströmningsområde för storregionala grundvattenströmmar för att ytterligare förbättra strålsäkerheten. Föreningarna anser också att innan ett nytt långsiktigt förvar finns klart måste det kortlivade radioaktiva avfallet mellanlagras på ett säkert sätt.

Föreningarna noterar att i avsnitt 3.7.3 behandlas långsiktig förvaring av mycket lågaktivt radioaktivt rivningsavfall. Föreningarna anser att det inte är acceptabelt att detta avfall långsiktigt förvaras i så kallade markförvar. Markförvar för denna typ av kärnavfall finns vid Ringhals, Oskarshamns och Forsmarks kärnkraftverk och vid Studsvik. Föreningarna menar, med hänvisning till bilden i figur 1 i sitt yttrande, att de existerande markförvaren inte kan anses vara acceptabla för långsiktig förvaring av radioaktivt avfall. Även om radioaktiviteten i förvaret har avklingat till nivåer under gränsvärden inom några årtionden efter deponering, menar föreningarna att deponin kan komma att utgöra ett miljöproblem under en lång tid framöver. Det är, enligt föreningarna, uppenbart att det finns en risk för mänskliga intrång vilka skulle skada förvarets integritet.

Föreningarna menar att allt det mycket lågaktiva radioaktiva avfallet fortsättningsvis långsiktigt bör förvaras tillsammans med det kortlivade låg- och medelaktiva radioaktiva avfallet. De existerande markförvaren bör, enligt föreningarna, dessutom saneras och innehållet långsiktigt förvaras med samma avfall. Föreningarna anser att innan ett nytt förvar för kortlivat radioaktivt avfall kommer till stånd måste även detta avfall mellanlagras på ett säkert sätt.

Föreningarna noterar att i avsnitt 3.7.5 hanteras det planerade kärnbränsleförvaret i Forsmark och den planerade inkapslingsanläggningen i Oskarshamn. Föreningarna menar att regeringen inte kan ge tillåtelse eller tillstånd till ett långsiktigt förvar för använt kärnbränsle enligt KBS-metoden. Därför menar föreningarna att programmet måste innehålla en alternativ plan för om kärnbränsleförvaret inte blir av.

### **3.6 Fortsatt forskning och utveckling**

Kapitel 4 i Fud-programmet innehåller en översikt av de forsknings- och utvecklingsbehov som SKB identifierat för att utveckla, etablera och genomföra återstående delar av kärnavfallsprogrammet enligt genomförandeplanen i kapitel 3. Redovisningen i kapitel 4 utgör i den meningen en översiktlig introduktion till mer detaljerade redovisningar för respektive fokusområde som redogörs för i kapitel 7 till 14. SKB påpekar att behovet av specifika forsknings- och teknikutvecklingsinsatser för det mycket lågaktiva kärnavfallet är begränsade.

I avsnitt 4.1 beskrivs principiellt grunderna för planeringen av framtida forsknings- och teknikutvecklingsinsatser, med koppling till den stegvisa beslutsprocessen som beskrivs i avsnitt 3.1 och enligt redovisningen i SKB:s övergripande tidsplan i avsnitt 3.2 i Fud-program 2019. SKB motiverar ansatsen med att det är naturligt att milstolpar kopplade till

inlämnande av ansökningar blir styrande för planeringen av forsknings- och utvecklingsinsatser eftersom de styr när olika frågor ska vara lösta och när redovisning ska ske av aktuellt kunskapsläge och av de tekniska lösningar som är tänkta att användas. SKB anger vidare att milstolpar som är kopplade till beslutsstegen i form av ansökningar styr när kunskap och utveckling av teknik behöver ha nått en viss nivå.

SKB anger att programmet för framtida forsknings- och utvecklingsinsatser har delats in i tre huvudsakliga grupper:

- Behov av ökad processförståelse, det vill säga den vetenskapliga förståelsen för processer som påverkar slutförvarssystemet och därmed grunden för att bedöma deras betydelse för säkerheten efter förslutning.
- Behov av kunskap och kompetens kring utformning, konstruktion, tillverkning och installation av de komponenter som ska användas i anläggningarna.
- Behov av kunskap och kompetens kring kontroll och provning för att verifiera att systemets barriärer och komponenter produceras och installeras enligt godkända specifikationer och därmed uppfyller kraven. Här ingår även utveckling av metoder och instrument för kontroll av slutförvaret och förvarsplatsen.

SKB anger också att det dessutom behövs mer kunskap om inventariet av radionuklider i det låg- och medelaktiva avfallet, om egenskaperna hos det använda kärnbränslet och om utveckling av teknik för hantering av både avfall och använt kärnbränsle.

I avsnitt 4.1 ges en översikt av de milstolpar som är relevanta för respektive förvar och Clink samt kunskapsläget som erfordras och hur långt teknikutvecklingen ska ha nått vid respektive milstolpe. SSM bedömer redovisningen i dessa avsnitt som en integrerad del av SSM:s samlade bedömning av redovisningen av omhändertagandet av låg- och medelaktivt avfall i kapitel 5 och SSM:s samlade bedömning av redovisningen av omhändertagandet av använt kärnbränsle i kapitel 7.

Därefter beskrivs i avsnitt 4.2 till 4.9 den forskning och teknikutveckling som behövs för att lösa förvarens utformnings- och konstruktionsfrågor, samt den forskning som behövs för att genomföra analys av förvarens säkerhet efter förslutning. SSM bedömer redovisningen i avsnitt 4.2 (låg- och medelaktivt avfall), 4.3 (använt bränsle), 4.4 (kapsel) 4.5 (cementbaserade material), 4.6 (lerbarriärer och förslutning), 4.7 (berg), 4.8 (ytteko-system), 4.9 (klimat och klimatrelaterade processer) som integrerade delar av SSM:s samlade bedömningar för respektive område som redovisas i kapitel 7 till 14 i Fud-program 2019. SSM:s bedömningar återfinns i kapitel 6-10 i denna rapport.

Avsnitt 4.10 innehåller tillkommande information jämfört med Fud-program 2016 i form av redovisning av övervakning under uppförande och drift av slutförvar vilket SSM bedömer i avsnitt 3.10 i föreliggande rapport.

I avsnitt 4.11 ges en översikt av teknikutvecklingsbehoven utifrån avvecklingen av kärntekniska anläggningar. SSM bedömer redovisningen i avsnittet tillsammans med samlade bedömning av den mer detaljerade redovisningen för avveckling av kärntekniska anläggningar som redovisas i del III i Fud-program 2019. SSM:s bedömningar återfinns i kapitel 11 i denna rapport.

I avsnitt 4.12 redogörs för övrig verksamhet och kunskap som är relevant för SKB:s uppdrag, dels avsnitt 4.12.1 avseende bevarande av information och kunskap över

generationer, dels avsnitt 4.12.2 om andra metoder för slutförvaring av använt bränsle. SSM:s bedömningar avseende dessa avsnitt återfinns i kapitel 3.8 respektive 3.9 i denna rapport.

### ***Remissinstansernas synpunkter***

*Oskarshamns kommun* konstaterar att Fud-programmet har haft stor betydelse för utvecklingen av ett svenskt system för hantering av kärnavfall, och att efterhand som förvarsanläggningar ges tillstånd så förändras såväl förutsättningar för, som behovet av, FOU.

Kommunen anser emellertid att det är viktigt att forskning och utveckling fortsätter trots att ett beslut har fattats om att en viss verksamhet kan påbörjas i enlighet med den stegvisa prövningen enligt kärntekniklagen och myndighetens föreskrifter. Kommunen konstaterar att förvarsverksamhet kommer att fortgå under många decennier och att det är uppenbart att det under så långvarig verksamhet finns utrymme för att utveckla och omvärdera tekniska lösningar samt att bedriva forskning i syfte att förbättra metodik och säkerhetsåtgärder.

Kommunen anser att en viktig del är den kunskapsuppbyggnad som behövs för att kunna genomföra analyser av säkerheten på lång sikt efter att ett slutförvar är förslutet. Kommunen anser att för detta krävs forskning och utveckling inom en rad olika ämnesområden.

*Lokala säkerhetsnämnden vid Oskarshamns kärnkraftverk* konstaterar att Fud-programmet har haft en viktig betydelse för utvecklingen av ett svenskt system för hantering av kärnavfall, men efterhand som förvarsanläggningar ges tillstånd förändras såväl förutsättningar som behov. Säkerhetsnämnden anser att det är viktigt att forskning och utveckling fortsätter tills dess att beslut tas om att en viss verksamhet kan påbörjas i enlighet med den stegvisa prövningen enligt kärntekniklagen och myndighetens föreskrifter – allt för att på ett säkert sätt kunna hantera och slutförvara använt kärnbränsle och kärnavfall och för att även framöver kunna göra samlade bedömningar av hela det svenska slutförvarssystemet. Säkerhetsnämnden anser att en viktig del är den kunskapsuppbyggnad som behövs för att kunna genomföra de analyser av säkerheten på lång sikt efter att ett slutförvar är förslutet. Säkerhetsnämnden menar att för detta krävs forskning och utveckling inom en rad olika ämnesområden.

## **3.7 SKB:s ledning och styrning av verksamheten**

### **3.7.1 Arbetssätt, resurser och kompetens**

#### ***SKB:s redovisning***

SKB redogör för att man bedriver ett långsiktigt forskningsprogram med syfte att underbygga analysen av strålsäkerheten för befintliga och planerade slutförvar efter förslutning, vilket innefattar förståelse av processer i slutförvarsmiljön och data som behövs inom säkerhetsanalyser. Forskning genomförs för att underbygga framtagning av lämpliga tekniska utformningar i slutförvar med avseende på både driftsäkerhet och strålsäkerhet efter slutlig förslutning.

Framtida forskningsinsatser rör i första hand SKB:s befintliga och planerade slutförvar för radioaktivt avfall och använt kärnbränsle. SKB anger att forskningsinsatser kommer behövas till stöd för den teknikutveckling som kommer bli central när fokus flyttas till utveckling av kvalitetsstyrda system. Kopplingen mellan forskningsprogrammet och säkerhetsanalyserna är även viktig enligt SKB. Resultaten av utvärderingarna av kunskapsunderlaget gällande processer och data som underbygger analysen av säkerhet efter förslutning ligger till stor del till grund för de forskningsinsatser som planeras.

I SKB:s strategi för att prioritera forskningsinsatser ingår ett forskningsråd där olika representanter för SKB:s olika verksamhetsgrenar kan diskutera och analysera forskningsbehov från olika perspektiv. Planerna sammanfattas i SKB:s återkommande Fud-rapporter som erfordras enligt kärntekniklagen.

SKB:s forskningsresultat ska publiceras i öppen litteratur för att främja extern granskning. Data från platsundersökningar, teknikutveckling och forskning är kvalitetssäkrad och finns tillgänglig för myndigheterna i deras granskning. SKB uppmantrar egen personal, forskningsinstitutioner och konsulter till publicering av intressanta forskningsresultat i vetenskapliga tidskrifter och deltagande i vetenskapliga konferenser. Forskningsresultat sprids av SKB även utanför forskningsvärlden, genom bland annat tidningen Lagerbladet och temakvällar för allmänheten.

SKB följer kunskapsutveckling som kan ha betydelse för det svenska kärnavfallsprogrammet främst genom upprätthållandet av internationella kontakter och genom att följa branschtidskrifter.

### ***Remissinstansernas synpunkter***

*Länsstyrelsen Kalmar län* konstaterar att avseende avvecklingsarbete och rivning kommer arbetet att, som planerna ser ut nu, vara mer intensivt under tre tidperioder, den pågående perioden, en på 2040-talet och sedan på 2070-talet. Avseende kunskapsförsörjning så tycker länsstyrelsen att SKB har redovisat att man har sätt att hantera detta med olika aktiviteter och samarbeten, samordnat mellan forskning och utbildning och mellan olika aktörer. Länsstyrelsen noterar att SKB också skriver att det finns olika rutiner för kvalitetssäkring av säkerhetsanalyser och även extern granskning av forskningsresultaten, vilket i sig också ger en bredare kunskapsbas inom området.

Avseende övriga intressenters kunskapsförsörjning konstaterar länsstyrelsen som en sammanfattning av de synpunkter som lämnats ovan att Fud-programmet har en viktig funktion. Länsstyrelsen ser också ett värde i att även utveckling inom tillståndsgivna delar av systemet fortsättningsvis refereras i kommande program.

### ***SSM:s bedömning***

SSM:s bedömning är att SKB:s övergripande strategi för identifiering och prioritering av kommande forskningsinsatser är ändamålsenlig men måste utvecklas vid eventuellt tillstånd enligt kärntekniklagen och tillåtlighet enligt miljöbalken för att på ett tydligare sätt överblicka forskningsbehov under olika faser i slutförvarsprogrammet. SKB behöver, med utgångspunkt från SSM:s specifika föreskriftskrav, också utförligare utvärdera och explicit redovisa forskningsbehov för att underbygga kravuppfyllelse i förhållande till individuella krav, exempelvis skydd av människors hälsa, miljöskydd, optimering och bästa möjliga teknik, samt barriärernas konstruktion och utförande.

Forskningsbehoven måste utvärderas och omprövas regelbundet givet prioriteringar inom säkerhetsanalysen, utveckling av slutförvarslösningar samt kunskapsutveckling och forskningsresultat från omvärlden. I framtida säkerhetsanalyser måste SKB visa att relevant forskning beaktats och utvärderats med utgångspunkt från samlad kunskap om slutförvarssystemets utförande och förväntade förvarsbetingelser. Det är därför av vikt att all för SKB relevant forskning som genomförs i vetenskapssamhället i stort bevakas och bedöms på ett systematiskt och utförligt sätt.

### 3.7.2 Ledning och styrning av fortsatt teknikutveckling

#### ***SKB:s redovisning***

SKB:s teknikutveckling syftar till att säkerställa att de processer, system och utrustningar som behövs för att uppfylla SKB:s uppdrag, kopplat både till långsiktig säkerhet samt säkerhet vid drift av kärntekniska anläggningar, finns på plats. Prioritering av insatser utgår från milstolpar för befintliga och planerade anläggningar. Löpande planering och avstämning mot tidsplaner görs. Utvecklingsprojekten organiseras i ett antal produktionslinjer som inbegriper olika typer av komponenter i slutförvarsmiljön så som kapsel, buffert, återfyllning etc. och delas in i tre faser; konceptfas, konstruktionsfas samt införande- och överlämningsfas.

Under konceptfasen specificeras kraven på systemet, delsystemet eller komponenten, tänkbara lösningar utvärderas och förslag på en eller flera tekniska lösningar tas fram. I nästa fas genomförs övergripande systemkonstruktion och därefter detaljkonstruktion med syfte att ge tekniskt underlag för att i nästa steg kunna implementera ett teknikutvecklingsprojekt i verkligheten. Denna fas kan kräva iterativt arbete. Den slutliga fasen syftar till att genomföra de åtgärder som krävs för att införa systemet, delsystemet eller komponenten i verklig anläggning, det kan innebära utbildning, upphandling, kvalitetssäkring, kvalificering av procedurer och dokumentation.

För att specificera krav på konstruktionslösningar och teknikutveckling är framtagning av konstruktionsförutsättningar för förvarskomponenter och definition av säkerhetsfunktioner för tiden efter slutlig förslutning av vikt. Inom ramen för säkerhetsanalys behöver därför preliminära kvantitativa krav iterativt utvärderas, med efterföljande uppdatering och ökande detaljeringsgrad av konstruktionsförutsättningarna. Den iterativa processen kan enligt SKB innebära att de tilltänkta tekniska lösningarna visas olämpliga eller orealistiska ur resursanvändningssynpunkt. Krav i konstruktionsförutsättningarna behöver inför implementering vara praktiskt uppnåeliga och verifierbara.

Förmågan hos mät- och produktionssystemens att åstadkomma och kvalitetssäkra produkter i överensstämmelse med fastställd utformning demonstreras i kvalificeringar bland annat med utgångspunkt från säkerhetsbetydelse, tillgängliga standarder och normer samt tillgänglig teknik. SKB arbetar vidare med att fastställa principer för kvalificering, vilket kommer presenteras i PSAR.

Provning och kontroller i samband med uppförandet av anläggningar kommer ske, med fokus på säkerhet efter förslutning. Kontrollprogrammen kommer ha olika utformning och innehåll beroende på typ av krav.

### ***SSM:s bedömning***

SSM:s bedömning är att de övergripande planerna och metodiken för teknikutveckling generellt är lämpliga och att SKB i flera fall i sin teknikutveckling har kommit långt, men att ett omfattande arbete återstår. Med gradvis ökande detaljeringsgrad behöver SKB utvärdera konstruktionsförutsättningar, teknikutveckling och provningsmetodik med utgångspunkt från kompatibilitet av slutförvarslösningar för olika komponenter, samt även i perspektivet att långsiktigt kunna demonstrera kravuppfyllelse i förhållande till SSM:s olika föreskriftskrav. Det krävs också att SKB inför kommande steg i sitt program visar att erhållna erfarenheter och förväntad teknikutveckling inte innebär begränsningar som inte kan hanteras eller innefattas av säkerhetsanalysberäkningar för demonstration av kravuppfyllelse.

SSM anser att SKB även behöver beakta organisatoriska frågor samt risker och konsekvenser kopplade till mänskliga misstag både inom säkerhetsanalys och förvarsutformningsarbete.

### **3.7.3 Anläggningar för forskning, utveckling och demonstration**

#### ***SKB:s redovisning***

Äspölaboratoriet i Oskarshamn har haft betydelse för utveckling av metodik för platsundersökningar, konstruktionsarbeten och undersökning av berget under pågående byggnation. Ett flertal forskningsprojekt undersökande förhållanden i den naturliga berggrunden, utvecklingen av försvarssystemen och de tekniska barriärerna har initierats i Äspö. Långtidstester pågår fortfarande i anläggningen och fullskaleförsök planeras framöver. Försök rörande SFR och SFL handlar både om utveckling av cementbaserade material samt om interaktioner av barriärmaterial. SKB:s långsiktiga behov av Äspölaboratoriets underjordsdel utreds för närvarande, och beslut väntas under år 2020.

Vid kapsellaboratoriet i Oskarshamn utvecklas metoder för svetsning och förslutning av kopparkapslar, samt system för oförstörande provning av dessa. Tillverkning av kapseldelar sker i externa anläggningar, medan undersökning och utvärdering sker i kapsellaboratoriet. Målet med verksamheten är att utveckla tillförlitliga processer för tillämpning i den planerade inkapslingsanläggningen.

SKB:s övriga anläggningar innefattar ett vattenkemilaboratorium, ett materialforskningslaboratorium samt den så kallade testhallen, alla lokaliserade i anslutning till anläggningen vid Äspö. Vattenkemilaboratoriet analyserar komponenter i grundvatten med fokus på säkerhet efter förslutning och kompetensen används nu för att bygga upp en liknande anläggning i Forsmark. Lermaterialets fysikaliska och kemiska egenskaper undersöks i materialforskningslaboratoriet. Här utvecklas också standardiserade test- och undersökningsmetoder för användning vid kontroll av bentonitleveranser till planerat slutförvar. I testhallen genomförs tester av bentonitlerans egenskaper under mera kontrollerade former i jämförelse med förhållanden på det planerade förvarsdjupet. Dessa försök utgör komplement till försöken i Äspölaboratoriet.



### ***SSM:s bedömning***

SSM instämmer med SKB om att Äspölaboratoriet har varit en viktig resurs för forskning och metodutveckling rörande slutförvaring och anser att anläggningen även fortsättningsvis förblir användbar för utvecklingen av det planerade slutförvaret, SFR och SFL. I samband med uppförande- och driftsfas måste försök och demonstrationsaktiviteter också ske i den aktuella slutförvarsanläggningen mot bakgrund av viktiga skillnader i berggrunden på de olika platserna, främst frekvensen av vattenförande sprickor och bergspänningsförhållanden. SSM anser inte att detta medför något hinder att nyttja Äspö för demonstrationsförsök, vissa typer av långtidsförsök och preliminär utvärdering av slutförvarsmetoder i olika sammanhang.

SSM bedömning är att de övriga anläggningar SKB redovisar i Fud-program 2019 uppfyller betydelsefulla funktioner i slutförvarsprogrammet. SSM anser att det är viktigt att experimentell verksamhet som är särskilt viktig för utvärderingen av långsiktig strålsäkerhet åtminstone delvis genomförs i SKB:s egen regi och inte enbart hos externa leverantörer.

#### **3.7.4 Arbetsverktyg**

##### ***SKB:s redovisning***

SKB har i Fud-program 2019 identifierat fyra viktiga arbetsverktyg; databaser, modell- och beräkningsverktyg, platsmodeller och kvalitetssäkring. Databaserna SKB använder innehåller information om bland annat olika typer av radioaktiva avfall, vetenskapliga grunddata, platsundersökningsdata, analyser av experiment, kraven för slutförvaring av använt kärnbränsle etc. Databaserna uppdateras och underhålls löpande och programvaran utvecklas i takt med utvecklingen av nya data- och operativsystem.

SKB använder ett stort antal modell- och beräkningsverktyg i arbetet, såväl kommersiella som egenutvecklade. Beräkningsverktygen ska uppfylla kvalitetskrav, dokumentation som styrker verktygets ändamålsenlighet i förhållande till säkerhetsanalysens behov, rutiner för utveckling och kontroll av programvara samt hantering och dataanvändning i samband med beräkningar skall finnas på plats. Utvecklingsarbete bedrivs för att anpassa de kommersiella verktygen till säkerhetsanalysernas behov, kontinuerlig utveckling av de egna verktygen sker också. För att verifiera resultat strävar SKB efter att ha parallella uppsättningar av programvaror och modelleringsteam. Utveckling av en modelldatabas pågår.

SKB:s platsbeskrivande modeller över Forsmark och Laxemar är integrerade beskrivningar av flera vetenskapsområden. För Forsmarksplatsen sker ytterligare informationsinsamling genom ett monitoringsprogram där bland annat mätning av grundvattentryck, seismik och meteorologiska data ingår. Därmed tillförs succesivt ytterligare information och i samband med eventuella förnyade säkerhetsredovisningar kommer även större uppdateringar av platsbeskrivande modeller att genomföras. Som en del av arbetet med lokaliseringen av SFL kan även uppdatering av modellen över Laxemar bli aktuell.

SKB har ledningsrutiner för upphandling, godkännande av leverantörer, innehåll i databaser och godkännande av modell- och beräkningsverktyg i syfte att säkerställa att resultat från forskning och teknikutveckling håller hög kvalitet. SKB presenterar

fortlöpande resultat från forskning och utveckling i vetenskapliga publikationer samt i den egna rapportserien. Detta ska alltid föregås av en dokumenterad granskningsprocess.

### ***SSM:s bedömning***

SSM anser att SKB:s redovisning av underhåll och vidareutveckling av arbetsverktyg i stort sett är ändamålsenlig och konstaterar att SKB i kommande steg av sitt program bör genomföra ytterligare insatser för att säkerställa konsekvent användning och utförlig kvalificering av data för säkerhetsanalysberäkningar. Detta inkluderar metoder och rutiner för härledning av viktiga parametrar. Konsekvent tillämpning av förutsättningar och data både i experimentella försök samt modellering inom angränsade områden är av stor vikt.

I kommande steg av SKB:s program anser SSM att arbetet med att upprätthålla och utveckla kvaliteten i säkerhetsanalyser behöver intensifieras. En tydligare styrning av såväl arbeten som SKB själva utför, som det arbete som externa leverantörer utför kommer behövas.

SSM anser att det finns behov av utveckling och modernisering av SKB:s programvara för säkerhetsanalysberäkningar inom vissa områden. Detta bör utföras med tydliga instruktioner för dokumentation och kvalitetskontroll och bör inkludera dokumenterad versionshantering samt kvalitetssäkrad dokumentation av in- och utdatafiler. SKB:s kapacitet för probabilistiska metoder behöver enligt SSM:s bedömning vidareutvecklas. SSM anser vidare att SKB:s användning av känslighetsanalyser behöver utvecklas även utanför radionuklidtransportområdet.

## **3.7.5 Resurs- och kompetensförsörjning**

### ***SKB:s redovisning***

SKB:s breda och mångfacetterade verksamhet medför kompetensbehov inom många områden. En stor del av den kunskap och teknik som SKB behöver finns allmänt tillgänglig. Andra delar är specifikt kopplade till hantering och slutförvaring av radioaktivt avfall. Personer med erforderlig kompetens kan finnas inom företaget eller hos externa leverantörer och konsulter. SKB har en kompetensförsörjningsprocess för att även på lång sikt kunna tillgodose omfattande kompetensbehov med både egen personal och externa leverantörer. Hög kompetens hos egen personal erfordras för strategiskt viktiga områden, men den egna personalen ska även kunna styra, leda och upphandla erforderlig kompetens inom andra områden. En stor del av kunskap och teknik som SKB behöver finns allmänt tillgänglig på den öppna marknaden, men inom vissa strategiska områden innebär kompetensförsörjningen större utmaningar. Detta gäller exempelvis kunskaper kopplade till kapseltillverkning och provning, lerbarriärer, cementmaterial, och olika typer av radioaktivt avfall. Av strategiskt stor betydelse är också områden kopplade till den samlade förståelsen av slutförvarssystemets långsiktiga utveckling och omgivningspåverkan.

Kompetens- och bemanningsanalys genomförs årligen på både individ- och gruppnivå med syfte att visa den kompetens som behövs för att genomföra verksamheten och behovet av kompetensutveckling genom vidareutbildning av personal eller genom nyrekrytering. Personalens kompetens utvecklas genom mentorsprogram, rotations-

program och vid behov utbildningsprogram. Dessutom har SKB ett kompetensöverföringsprogram för att förbereda generationsskiften och minska sårbarheten vid eventuell förlust av kompetens.

SKB har sedan lång tid tillbaka en del av sin verksamhet knuten till universitet och högskolor, vilka bidrar med forskningsresultat samt vidmakthållande av nationell kompetens. Bland annat finansieras ett antal doktorander av SKB.

SKB bedriver ett omfattande samarbete inom ramen för internationella samarbetsprojekt och organisationer samt även med avfallsbolag i andra länder. I synnerhet samarbetet med SKB:s systerorganisation i Finland, Posiva, har utvecklats under ett antal år, vilket nu innefattar betydande inslag av gemensam forskning och gemensamma utvecklingsprojekt. SKB deltar även i det europeiska samarbetet IGD-TP med syftet att utveckla europeisk kompetens för implementering av slutförvaring.

SKB har under Fud-perioden deltagit i flera EU-projekt och kommer framöver delta i projekt inom det nya sammanhållna programmet Eurad. SKB deltar även i arbetsgrupper och projekt inom de internationella organisationerna OECD-NEA och IAEA. Detta arbete fokuseras på strategiska frågor och frågor som kan kopplas till samordning av utrednings- och forskningsinsatser mellan olika länder. Sverige har ratificerat IAEA:s avfallskonvention och SKB bidrar med material till Sveriges nationella rapport vart tredje år.

Att säkra kompetens inom områden viktiga för SKB anges som en strategiskt viktig fråga både på kort och på lång sikt. Utgångspunkten för SKB är att samhället ansvarar för att tillhandahålla grundutbildning och upprätthålla grundkompetens men att det samtidigt behövs insatser från industrin. SKB räknar med att vidareutbilda grundutbildad personal för de företagsspecifika tillämpningarna. Dessutom kommer personal med djupare kunskap och längre erfarenhet behövas.

En närliggande utmaning för SKB rör kompetensförsörjningen i samband med att organisationen ska uppföra och driva nya anläggningar, det handlar bland annat om att bygga upp en beställarorganisation samt den konkurrens om kompetent personal som kan väntas i och med att flera stora infrastrukturprojekt beräknas pågå under de närmaste decennierna.

På längre sikt identifierar SKB två viktiga förutsättningar som påverkar kompetensförsörjningen; dels att verksamheten planeras pågå i cirka 70 år till och dels att SKB dominerar hanteringen av radioaktivt avfall i Sverige. Den senare förutsättningen gör att SKB har ett särskilt ansvar för kompetensförsörjningen inom området, även om fler aktörer finns, ex. myndigheter och leverantörer, vilket i sin tur ger behov av relativt större insatser på intern utbildning. Här lyfter SKB också behovet av det internationella samarbetet som viktigt för att utveckla och säkra kompetens på lång sikt. SKB:s samarbete med universitet och högskolor är strategiskt viktigt för att bibehålla och utveckla kompetens samt för att ta fram ny kunskap inom för SKB intressanta områden.

En av SKB identifierad risk för kompetensförsörjning på längre sikt är planerade eller oplanerade uppehåll i verksamheten med efterföljande problem att bibehålla kompetens inom olika områden. En systematisk och väldokumenterad dokumentation av arbetsuppgifter, utrustning, resultat och kompetens behövs därför. Omplacering av personal samt ökad omfattning av deltagande i internationella projekt kan då behövas.

### ***Remissinstansernas synpunkter***

*Vetenskapsrådet* instämmer med slutsatserna rörande långsiktig kompetensförsörjning som avhandlas i kapitel 5.5.5 "Närliggande utmaningar och upprätthållande av kompetens på längre sikt". Vetenskapsrådet anser att för att möta utmaningen krävs forskning av god kvalitet vid svenska universitet och högskolor. Detta för att garantera såväl hög kunskapsnivå som relevant utbildning.

*Oskarshamns kommun* anser att kompetensförsörjningsfrågorna är av stor betydelse. Med hänvisning till redovisningen av SSM:s regeringsuppdrag 2017/18 om långsiktig kompetensförsörjning på strålsäkerhetsområdet påtalar kommunen att det bör utredas hur kompetensförsörjningen kan upprätthållas med fullgod kvalitet trots avvecklingen av den svenska kärnkraften. Kommunen anser att det krävs tillgång till kompetenta medarbetare för såväl avställning, avveckling och nedmontering som för drift fram till avveckling.

Enligt kommunen har Äspölaboratoriet under lång tid utgjort en funktionell infrastruktur för forskning, både inom kärnavfallsområdet och andra naturvetenskapliga och tekniska discipliner. Kommunen anser att det bör finnas en del i kommande Fud-program som utreder förutsättningarna för att denna värdefulla infrastruktur ska vara till nytta för forskning och kompetensutveckling även i framtiden.

Kommunen anser att det är mycket viktigt att arbetet med FOU, kunskapssammanställningar och dokumentation även fortsatt drivs med hög intensitet. Kommunen anser vidare att de långa tidsperspektiven inte får innebära att processer stannar av eller fördröjs. Kommunen påtalar att allt använt kärnbränsle mellanlagras, och även fortsättningsvis kommer att mellanlagras i Clab. Kommunen understryker att mellanlagret inte får betraktas som en långsiktig lösning på kärnavfallsfrågan.

### ***SSM:s bedömning***

SSM anser att SKB:s redovisning av behov samt uppbyggnad och bevarande av kompetens och resurser är ändamålsenlig. SSM anser att aspekter som de långa ledtiderna för prövningsprocess och uppförandefas, de långa drifttiderna för planerade slutförvar samt det breda spektrumet av ämnesområden som behöver beaktas alla gör att frågor kring kompetensförsörjning, såväl inom SKB som nationellt, har stor betydelse för slutförvaring av använt kärnbränsle och kärnavfall. SKB:s nuvarande fördelning av resurser mellan egen personal och externa leverantörer förefaller ändamålsenlig, men om SKB:s program övergår i en uppförande- och implementeringsfas kommer omprövning av behoven behöva aktualiseras.

SSM anser vidare att det är av vikt att SKB inte enbart förlitar sig på enstaka experter utan bör sträva efter att bredda kompetensen och kontaktnätet inom områden av särskilt kritisk betydelse för utvärdering av skyddsförmågan efter förslutning. Vidare anser SSM att det nära samarbetet SKB bedriver med Posiva och SKB:s övriga internationella samarbeten är positivt ur kompetensförsörjningssynpunkt. Dessa förefaller kunna bidra till kunskap och kompetens rörande såväl övergripande strategier och metoder som djupare analyser. Även om det generellt är positivt med internationella samarbeten, kan de också i vissa sammanhang innebära begränsningar på grund av långa beslutsvägar och ledtider.

SSM anser att SKB:s analys av närliggande och framtida förutsättningar för kompetensförsörjningen förefaller rimlig.

### 3.8 Bevarande av kunskap och information

#### *SKB:s redovisning*

SKB betonar att bevarandet av information och kunskap över generationerna är viktig för de planerade slutförvarerna för använt kärnbränsle och SFL och för det befintliga SFR. SKB bedömer att det är först vid förslutningen av anläggningarna som praktiska lösningar för informations- och kunskapsbevarande behöver vara realiserade, men SKB arbetar aktivt med informations- och kunskapsbevarande redan nu. Dels pga. de krav det finns från SSM och Riksarkivet gällande bl.a. hanteringen av dokumentation, dels genom SKB:s engagemang i olika internationella och nationella projekt. SKB belyser även vikten av att bredda arbetet med bevarandet av kunskap och information till omhändertagandet av annat farligt avfall.

#### *Remissinstansernas synpunkter*

*Oskarshamns kommun* anser att ett angeläget forsknings- och utvecklingsområde är informationsbevarande och överförande av kunskap till framtida generationer. Kommunen anser att detta arbete bör ske i samverkan med internationella institutioner så att hållbara och väl fungerande lösningar för informationsbevarande finns framme när förvarerna så småningom ska förslutas.

*Lokala säkerhetsnämnden vid Oskarshamns kärnkraftverk* ser det som angeläget att SKB fortsätter att delta i olika forskningsprogram och arbetsgrupper nationellt och internationellt så att goda förutsättningar skapas för informationsbevarande på lång sikt och för flera generationer framåt så att lösningar för informationsbevarande finns framme när slutförvaret slutligt ska förslutas.

*Naturskyddsföreningen, Jordens Vänner och Miljöorganisationernas kärnavfallsgranskning* (föreningarna) anser, med referens till avsnitt 4.12.1 ”Bevarande av information och kunskap genom generationer”, att frågan om hur information och kunskap kan bevaras genom generationer är viktig. Frågan får dessutom enligt föreningarna en ny dimension om ansvaret för kärnavfallsförvar och dess innehåll övergår till staten, som föreslås i det förslag till ny kärntekniklag som föreligger. Eftersom denna fråga, enligt föreningarna, är viktig för hela samhället är det värt att stödja det arbete som genomförs i Sverige av arbetsgruppen som genomförde en workshop om ”Information and memory” i Stockholm i maj 2019.

Föreningarna konstaterar att arbetsgruppen fortsätter att samarbeta kopplat till det Vinnova-projekt som beskrivs i programmet, men föreningarna anser att det skulle vara bra om dess arbete kunde få en stadigare ekonomisk och organisatorisk bas.

#### *SSM:s bedömning*

SSM ser positivt på SKB:s engagemang i frågan och delar SKB:s syn att frågan om bevarande av kunskap och information gynnas av att breddas till andra avfallssektorer. När det gäller tidpunkten för att ha praktiska lösningar för bevarande av kunskap och information på plats ser SSM ett behov av att det i tidigt skede tas fram en åtgärdsstrategi. Denna behöver leda fram till konkreta, praktiskt realiserbara lösningar som är implementerade i god tid innan en slutförvarsanläggning är förseglad. Oavsett frågan om ansvar efter förslutning har SKB en viktig roll i detta arbete och även ett ansvar för att minimera

risker med den valda metoden, bl.a. för oavsiktligt intrång vilket är ett av syftena med kunskaps- och informationsbevarande.

### **3.9 Andra metoder för slutförvaring**

#### ***SKB:s redovisning***

SKB redogör i avsnitt 4.12.2 mycket översiktligt för andra alternativa metoder och tillvägagångssätt för omhändertagande av använt kärnbränsle. SKB redovisar även mycket kortfattat de ställningstaganden som har gjorts gällande alternativa metoder.

SKB anger att bolaget, i enlighet med vad som sades om djupa borrhål i Fud-program 2016 har fortsatt att följa utvecklingen internationellt samt även bevakat bidrag till internationella konferenser och symposier. SKB konstaterar att aktiviteten på området har minskat väsentligt efter att det amerikanska forskningsprogrammet avbröts.

Status i olika länder redovisas vad gäller arbetet med djupa borrhål. SKB anger att, även om konceptet djupa borrhål fortfarande diskuteras som en delösning i ett par länder, har SKB inte identifierat någon pågående forskning och utveckling i frågan i något land.

SKB:s bedömning från tidigare Fud-program kvarstår, det vill säga att deponering i djupa borrhål inte är en realistisk metod för slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle. SKB avser trots detta att fortsätta bevaka utvecklingsområdena borring av och deponering i djupa borrhål. Dock saknas enligt SKB i dag motiv för att genomföra något forskningsprogram i bolagets egen regi. Ett exempel på utveckling som SKB avser följa är Swedish Deep Drilling Program. SKB har vidare för avsikt att fortsätta bevaka och i relevanta sammanhang delta i internationella forum avseende deponering i djupa borrhål.

#### ***Remissinstansernas synpunkter***

*Luleås Tekniska Universitet (LTU)* konstaterar att för att minimera tidsberoende hydraulisk inverkan av djupare belägna permeabla zoner på det ytligt belägna KBS-3 förvaret (pkt 12.1; 12.2) bör de på förvaringsnivå bli avtätade och stabiliserade enligt koncept för injektering som är bekanta för SKB genom det internationella Stripaprojektet. LTU noterar att detta problem och dess lösning inte alls finns beskrivna i Fud-program 2019. Däremot finner LTU att SKB enligt detta program avser att hålla sig bekant med utländsk forskningsverksamhet när det gäller förvaring i djupa borrhål, något som LTU ser mycket positivt på. Ett svensk/finskt/amerikanskt initiativ till pilotförsök med utförande av ett 3 kilometer djupt borrhål med 50-60 cm diameter skulle enligt LTU bidra till sådan utveckling, särskilt som det idag finns förslag till utnyttjande av avfallsgenererad värme för produktion av varmvatten och elenergi med viss likhet med WP-Systems koncept.

*Kungliga Vetenskapsakademien (KVA)* konstaterar att upparbetning (återvinning) och transmutation inte är aktuella principer för att ta hand om det svenska använda kärnbränslet, enligt politiska beslut, och därmed ej heller relevanta forskningsområden i dagsläget. KVA anser att det dock kan synas motiverat att SKB även framledes bevakar dessa områden, utan egna forskningsinsatser. KVA anser att förändringarna i världen rörande kärnkraftens utbyggnad eller avveckling, utveckling av nya reaktortyper och nya kärnbränslen, liksom även fusionsforskningen, bör följas i Sverige, även om det nationella

kärnenergiprogrammet efter politiska beslut föreskriver en strategi som innebär avveckling och deponering av kärnavfall och utbränt kärnbränsle i berggrundsförvar. Enligt KVA är det för övrigt en allmän erfarenhet, att nationella såväl som internationella politiska ställningstagande i så gott som alla frågor radikalt kan ändras med tiden.

*Naturskyddsföreningen, Jordens Vänner och Miljöorganisationernas kärnavfallsgranskning* (föreningarna) anser, med referens till avsnitt 4.12.2 ”Andra metoder för slutförvaring”, att kärnavfallsbolaget SKB har en alltför passiv inställning till forskning om alternativa metoder förvaring av använt kärnbränsle, särskilt metoden djupa borrhål. Särskilt med tanke på risken för att KBS-metodens svagheter medför att den inte kan tillåtas, borde bolaget enligt föreningarna ta initiativ för att få till stånd såväl svensk forskning och utveckling av metoden djupa borrhål, som internationellt samarbete inom området, särskilt inom EU:s forskningsprogram EURAD. Föreningarna menar att användning av djupa borrhål för långsiktig förvaring av använt kärnbränsle och annat radioaktivt avfall kan visa sig ge hög strålsäkerhet, minskad risk för intrång och mycket väl kan visa sig vara billigare.

#### ***SSM:s bedömning***

SSM anser att SKB fortsatt bör följa utvecklingen av andra strategier och metoder som kan vara tillämpliga för omhändertagande av använt kärnbränsle. SSM ser därför positivt på att SKB i Fud-program 2019 anger att bolaget fortsätter att bevaka utvecklingen av andra metoder för slutförvaring av använt kärnbränsle.

### **3.10 Övervakning under uppförande och drift**

#### ***SKB:s redovisning***

SKB redovisar i avsnitt 4.10 att övervakningsprogram kommer tas fram inför uppförande av Kärnbränsleförvaret och SFL samt inför utbyggnaden av SFR. Övervakningen kommer att bidra till att verifiera SKB:s förståelse för förvarets utveckling, stödja antaganden gjorda i analysen av säkerhet efter förslutning samt identifiera eventuella tidigare okända processer och händelser.

SKB anger att i det kommande arbetet kommer övervakning för att stödja analysen av säkerhet efter förslutning göras rörande hydrologi, grundvattenkemi, bergets mekaniska och termiska egenskaper, cementbaserade material, lerbarriärer, förslutning samt kopparkorrosion.

Övervakning ska ske på sådant sätt att det inte påverkar de passiva barriärerna negativt eller kan utgöra risk för säkerheten efter förslutning. Givare i de tekniska barriärerna kommer inte användas, istället finns möjlighet att installera långtidsförsök vid representativa platser i förvaret. Vissa av dessa kan avslutas och utvärderas under drifttid för att ge underlag till säkerhetsredovisning, samtliga bör avslutas och utvärderas inför förslutning.

Parametrar lämpliga att inkludera i övervakningsprogrammet kommer identifieras under kommande arbete. Kvalitativa beskrivningar av förväntad utveckling kommer göras och resultat från kvantitativa modeller exemplifiera dessa där möjligt. Dessutom ska resonemang kring eventuella åtgärder vid avvikande övervakningsresultat redovisas.

### ***SSM:s bedömning***

SKB hänvisar till bolagets deltagande i EU-projektet Modern2020 samt i ett relaterat IAEA-projekt om program för övervakning i samband med utveckling av geologiska slutförvar. Detta internationella samarbete har bidragit till bl.a. utveckling av metoder för det systematiska framtagandet av strategier för övervakning. Myndigheten ser positivt på att sådana metoder används av SKB i det underlag som underbygger en ansökan om att påbörja uppförande av Kärnbränsleförvaret och SFR.

Samtidigt är SSM medveten om att dessa internationella projekt har visat att det finns olika ambitioner avseende möjligheten till övervakning av slutförvarets tekniska barriärer i olika nationella program. SSM konstaterar vidare att vissa framsteg har gjorts av forskare och företag med avseende på teknikutveckling för övervakning av barriärer både före och efter förslutning, även om stora utmaningar återstår för att kunna underbygga konkreta planer för praktiskt genomförande. Myndigheten ser positivt på att SKB kommer att följa det internationella arbetet.

Sammanfattningsvis anser SSM att SKB:s planer för framtagande av övervakningsprogram inför uppförande av Kärnbränsleförvaret och inför utbyggnaden av SFR ger en viktig samlad bild över de specifika aktiviteter som bolaget avser genomföra, med hänsyn tagen till internationell vägledning. SSM bedömer att SKB:s arbete är ändamålsenligt, och att det finns tid och möjlighet för att anpassa det framtida arbetet till eventuell utveckling i både teknik och reglering.

## **3.11 SSM:s samlade bedömning av SKB:s verksamhet och handlingsplan**

### **Övergripande om SKB:s verksamhet och handlingsplan**

SSM bedömer att del I av SKB:s Fud-program är en bra introduktion till SKB:s verksamhet och planer för att ta hand om kärnkraftens restprodukter på ett säkert och kostnadseffektivt sätt.

### **Om planeringsförutsättningar för SKB:s verksamhet**

SSM finner det rimligt att SKB utgår från reaktorernas planerade drifttider vid planeringen av omhändertagande av använt bränsle och kärnavfall, givet de osäkerheter, eller den flexibilitet som krävs med de långa tider som programmet omfattar. Programmets långa utsträckning i tiden kan innebära att planeringsförutsättningarna förändras över tid, likväl som att det kan göras omvärderingar av nuvarande utgångspunkter för programmet. SSM anser att regelverket är anpassat till att hantera sådana förändrade förutsättningar eller omvärderingar av nuvarande utgångspunkter i och med kravet på uppdaterade Fud-program vart tredje år.

SSM bedömer att SKB:s beskrivningar av handlingsalternativ vid förändrade förutsättningar i form av översiktliga konsekvensanalyser för scenarier med förlängda eller förkortade drifttider för dagens kärnkraftreaktorer är rimligt realistiska och åskådliggörande. SSM bedömer de åtgärder som SKB redogör för i form av en eventuell utbyggnad av Clab med ytterligare ett bergrum eller möjligheten att – som i många andra

länder – lagra bränsle torrt i speciella behållare innebär att det finns utrymme för flexibilitet i systemet för överskådlig framtid.

SSM finner det rimligt att redovisningen i Fud-program 2019 översiktligt redogör för förväntningar att i SKB:s anläggningar slutförvara sådant övrigt kärnavfall som uppstår vid andra kärntekniska verksamheter än från drift och rivning av reaktorerna, liksom för radioaktivt avfall från icke kärnteknisk verksamhet. SSM noterar samtidigt att omhändertagande av sådant övrigt avfall och radioaktivt avfall inte faller inom ramen reaktorinnehavarnas lagstadgade skyldigheter. SKB:s roll vid omhändertagande av övrigt kärnavfall och radioaktivt avfall innebär att SKB tillhandahåller en service åt producenter av övrigt avfall och radioaktivt avfall baserat på civilrättsliga överenskommelser.

### **Om övergripande beskrivning av verksamheter och planer för genomförandet**

SSM bedömer att den övergripande redovisningen av verksamheterna i kapitel 2, tillsammans med den verksamhetsövergripande genomförandeplanen i kapitel 3.1, underbyggd av de mer detaljerade genomförandeplanerna för systemet för det mycket lågaktiva avfallet (kap. 3.2), för systemet för det låg- och medelaktiva avfallet (kap. 3.3) för KBS-3-systemet (kap. 3.4), och för avveckling av kärntekniska anläggningar (kap. 3.5), tillsammans med redogörelser för transportsystemet och kärnämneskontrollen ger en tillräcklig inblick i SKB:s program för att myndigheten ska kunna bedöma programmet.

SSM bedömer vidare att redovisningen av handlingsalternativ vid förändrade förutsättningar (kap. 3.6) är rimlig i förhållande till Fud-programmets övergripande syfte.

### **Om fortsatt forskning och utveckling**

SSM bedömer liksom vid granskning och utvärdering av föregående Fud-program att redovisningen i kapitel 4 av planer för fortsatt forskning och utveckling utgör en viktig länk mellan redovisningen i kapitel 3, som övergripande beskriver vad som återstår att göra, och redovisningen i del II, som mer i detalj redogör för planerade forsknings- och utvecklingsinsatser under kommande Fud-period, d.v.s. under de kommande 6 åren.

SSM bedömer att kapitel 4 tillsammans med redovisningen i del II ger en god överblick av SKB:s planer för fortsatt forskning och utveckling, på så sätt att kapitel 4 presenterar en översikt av allt som behöver göras framöver medan kapitel 6 detaljerar SKB planering för den kommande Fud-perioden, det vill säga de kommande sex åren.

### **Om SKB:s ledning och styrning av verksamheten**

SSM bedömer att kapitel 5 i SKB:s redovisning, som beskriver det systematiska arbetssätt som SKB har utvecklat för att genomföra behövlig forskning, utveckling och demonstration är värdefullt. Redovisningen kompletterar övrig information i Fud-programmet på ett förtjänstfullt sätt. Medan övriga delar i Fud-programmet är fokuserade på vad som ska åstadkommas, bidrar redovisningen i kapitel 5 till en bättre övergripande förståelse för hur forsknings- och utvecklingsåtgärder planeras, motiveras och utvärderas.

### **Om bevarande av kunskap och information**

SSM bedömer liksom vid granskning och utvärdering av föregående Fud-program SKB:s planer avseende bevarande av kunskap och information genom deltagande i internationella projekt som rimlig.



### **Om alternativa metoder**

SSM bedömer att SKB:s program avseende alternativa metoder under kommande Fud-period som rimligt, det vill säga att bevaka relevant forskning som genomförs i vetenskapssamhället i stort.

## 4 Omhändertagande av låg- och medelaktivt avfall

SSM lämnar i detta kapitel samlade synpunkter på redovisningen avseende låg- och medelaktivt avfall i Fud-program 2019. Bedömningarna avser SKB:s redovisningar i avsnitt 3.3, Genomförandeplan för låg- och medelaktivt avfall, avsnitt 4.2 som beskriver behoven av fortsatt forskning och utveckling avseende det låg- och medelaktiva avfallet samt kapitel 7 som mer i detalj beskriver forsknings- och teknikutvecklingsinsatser för det låg- och medelaktiva avfallet som pågår, startas eller avslutas under innevarande Fud-period.

### 4.1 Genomförandeplan för mycket lågaktivt avfall

#### *SKB:s redovisning*

SKB redogör i avsnitt 3.2 översiktligt för planering för hantering av det mycket lågaktiva avfallet. Redovisningen består av en nulägesbeskrivning, en övergripande planering samt en beskrivning av hur avfallet behandlas, mellanlagras och slutförvaras.

SKB konstaterar inledningsvis att det idag finns de anläggningar som behövs för hantering av mycket lågaktivt avfall men att kommande avveckling av kärnkraftsreaktorerna har aktualiserat frågan om hantering av de större volymerna av avfall som kommer att genereras. Avfallet, som består av sådant avfall som inte kan friklassas, källsorteras i två fraktioner, dels kompakterbart, dels icke-kompakterbart. Den största volymandelen (ca 2/3-delar) utgörs av det mjuka, kompakterbara avfallet. Utöver detta ingår även metalliskt avfall och inert avfall, där det senare utgörs av betong, sand, jord och slam.

Metaller som deponeras består av de fraktioner som har för högt aktivitetsinnehåll efter smältning, efter att delar av materialet har dekontaminerats, för att kunna friklassas. Vissa delar av metallmaterialet lämpar sig varken för dekontaminering eller för smältning. I de fall effektiva behandlingsalternativ saknas, deponeras materialet i markförvar efter eventuell kompaktering eller segmentering. Delar av det inerta materialet används för fylla ut hålrum i avfallskollin.

Det kompakterbara avfallet består huvudsakligen av plast, cellulosa och textil. Knappt 10 % utgörs av isolering, metallfolier och kablar. Det mjuka avfallet kompakteras och emballeras med plastfolie. Det anges att en delmängd av det mjuka avfallet är brännbart och att det skulle kunna brännas vid Cyclifes anläggningar, men att de utredningar som har gjorts inom ramen för tillståndsprovningar kopplade till nuvarande markförvar indikerar att markförvar är bästa möjliga teknik för stora delar av det lågaktiva avfallet, med hänsyn till såväl strålskyddsaspekter som ekonomiska och miljömässiga aspekter. Möjligheten till förbränning nyttjas därför främst av de avfallsproducenter som saknar markförvar. Övriga producenter använder sig av förbränning endast då avfallet av någon anledning lämpar sig mindre väl för markförvaring. Avfallsproducenter utan tillgång till markförvar nyttjar extern eller lokal behandling av avfallet inför att det deponeras i bergssalen för lågaktivt avfall (BLA) i SFR.

Under ett normalt driftår uppstår det 50 – 100 ton mycket lågaktivt avfall per reaktor som deponeras i markförvar. Vid avveckling genereras uppskattningsvis 250 – 500 ton avfall per år under en period om cirka 10 år. Uppskattningarna avseende rivningsavfallet anges

ha stora osäkerheter. Enligt redovisningen pekar internationella erfarenheter på att dessa avfallsmängder ofta underskattas.

En skillnad mot driftavfallet är att rivningsavfallet genereras på ett sätt som ger förutsättningar för en mer effektiv avfallshantering och att avfallet därför är mer homogent. Avfallet anges också vara mer förutsägbart än driftavfallet.

Deponering i förvardsdelen BLA (bergrum för lågaktivt avfall) i SFR anges vara alternativ till deponering i markförvar. Ett annat alternativ anges vara förbränning vid konventionella avfallsförbränningsanläggningar. Förutsättningarna för att förbränna avfallet i konventionella förbränningsanläggningar, liksom vid tillståndsgivna anläggningar, har diskuterats i en mötesserie mellan SSM, avfallsproducenterna och Cyclife Sweden AB sedan 2017. Diskussioner har även förts mellan avfallsproducenterna och branschorganisationen Avfall Sverige.

SKB sammanfattar planerade insatserna för såväl drift- som rivningsavfall i följande punkter;

- Kontinuerligt förbättringsarbete hos avfallsproducenterna för att minska mängden avfall bland annat genom bättre källsortering, effektivare sortering av insamlat material, av- och omemballering av inkommande gods och zonindelning av arbetsområden under revisioner.
- Uppföljning av ansökan för att expandera det existerande markförvaret vid Ringhals och uppföljning av uppdaterad analys av bästa möjliga teknik för Svalörens markförvar vid Forsmark.
- Expansion av markförvaret vid Oskarshamnsverket för att inrymma avfall från resterande drift och rivningsavfall. Möjligheten att deponera avfall från Barsebäck i OKG:s markförvar är under utredning (avsnitt 16.1).
- En översyn av möjligheten att etablera ett nytt markförvar för rivningsavfall vid Ringhals.
- Utbyggnad av SFR där delar av det mycket lågaktiva avfallet kan deponeras.

SKB anger att kravbilderna för mycket lågaktivt avfall har utvecklats över tid till följd av bland annat en ändrad syn på kretsloppstänkande, ändrad kravbild på strålningsrisker och tekniska landvinningar vad gäller nya hanteringsmöjligheter. Det anges att det därför finns ett behov av samsyn mellan avfallsproducenter och SSM om hur gällande kravbild ska tolkas. Reaktorinnehavarna kommer därför ta fram underlag för att belysa helheten vad gäller behandling och annan hantering av mycket lågaktivt avfall. Målet är ett robust och flexibelt system som är sanktionerat av rådande tillsynsmyndigheter.

SKB redogör i anslutning till detta att en förändrad behandling och hantering av det mycket lågaktiva avfallet har en påverkan även på SFR eftersom volymsuppskattningen av det lågaktiva avfallet som i nuläget finns inkluderat i de volymer som prognostiseras för 2–5BLA utgår från dagens situation.

SKB anger att avfallsproducenterna under Fud-perioden kommer att arbeta med att utveckla olika aspekter kopplade till uppkomst och behandling av det mycket lågaktiva avfallet:

- Förändrad/utökad sortering kan potentiellt vara en del av en förbättrad hantering av mycket lågaktivt avfall. För att kunna utvärdera vad det skulle innebära

kommer konsekvenser i form av exempelvis investeringar, dosbudget och utbildningsbehov att utredas.

- Tekniker för att dekontaminera mycket lågaktivt avfall till friklassningsbart material förbättras över tid. Detta faktum, tillsammans med det kraftigt ökande behovet av effektiv friklassning i samband med avveckling av de tidiga kommersiella kärnkraftsreaktorerna leder till ett utvecklingsbehov inom friklassningsområdet. Utvecklad friklassning ses därför som ett viktigt steg i att förbättra hanteringen av mycket lågaktivt avfall. Som ett led i detta har en branschövergripande grupp med syfte att utveckla olika aspekter av friklassningsprocessen initierats. Slutsatserna från gruppen kommer att ligga till grund för strategiska vägval såväl som för investeringsbeslut.
- Tester för att ersätta engångsskyddsplast (täckplast) med skyddsplåtar alternativt flergångsskyddsplast (liknande presenningar) har genomförts i syfte att begränsa mängden avfall som uppkommer, minska plastanvändning samt öka graden av återanvändning. Arbetet kommer att fortsätta under Fud-perioden.
- Avfallsproducenterna arbetar kontinuerligt med att utveckla friklassningsprocessen genom översyn av resurs- och kompetensbehov, processer och rutiner för sortering/separering och förutsättningar i form av lokaler och utrustning samt metodikutveckling. Erfarenhetsöverföring mellan avfallsproducenterna genomförs. Ett utvecklingsarbete för att effektivisera mättekniken som används vid friklassning av mjuka avfallsfraktioner kommer att genomföras.
- Genom att uppskatta avfallsmängder i olika fraktioner blir det möjligt att sätta dessa i relation till eventuella miljövinster, risker och kostnader för att införa specifika åtgärder. Kunskap om avfallsmängder i olika fraktioner är även en förutsättning för att kunna mäta och följa upp effekten av införda åtgärder. Avfallsproducenterna avser därför att arbeta med att uppdatera och förfinna befintliga prognoser för såväl driftavfall som rivningsavfall.

Avseende mellanlagring anges att de reaktorinnehavare som har tillgång till markförvar har ett lokalt system för mellanlagring. Befintliga ytor har kapacitet att rymma det avfall som krävs för en effektiv hantering vid deponeringskampanjer. Detta motsvarar den avfallsmängd som uppstår under fem till tio normala driftsäsonger för reaktorerna på respektive anläggningsplats.

SKB anger att markförvar utgör en viktig del av dagens system för deponering av avfall vars aktivitetsinnehåll gör att det inte kan återföras till samhällets konventionella kretslopp, men där strålskyddsaspekter inte motiverar deponering i ett geologiskt slutförvar. Under Fud-perioden kommer avfallsproducenterna ta fram en beskrivning av bästa möjliga teknik för det mycket lågaktiva avfallet. I detta ingår en översyn av frågor kopplade till markförvarens stabilitet och funktion över tid. Analysen kommer att hållas aktuell och uppdateras i kommande Fud-program. Syftet med analysen är att avfallsproducenterna och tillsynsmyndigheten slutligt ska kunna enas om förutsättningarna för en utökad användning av markförvar. Inom ramen för detta ska även den del av det mycket lågaktiva avfallet som inte kan markförvaras definieras.

En ytterligare frågeställning som avses utredas är vilka juridiska frågeställningar och vilket regelverk som ska tillämpas i samband med avslutad institutionell kontroll av

markförvaren som enligt nuvarande praxis ska finnas på plats i cirka 30 år efter att det sista avfallet deponerats. Inriktningen på arbetet kommer att bestämmas i samråd med SSM genom fortsatt dialog.

### ***SSM:s bedömning***

SSM bedömer att genomförandeplanen redovisar en lämplig sammanfattning av markförvarens roll vid omhändertagande av det mycket lågaktiva avfallet. Och att redovisningen på ett ändamålsenligt vis beskriver förutsättningarna för utnyttjande av markförvar för deponering av mycket lågaktivt avfall från rivningen av reaktorena, samt de utmaningar som är involverade för att åstadkomma detta.

SSM bedömer vidare att avfallsproducenternas strävan efter att slutgiltigt kunna enas med tillsynsmyndigheterna om förutsättningarna för en utökad användning av markförvar är ändamålsenlig, liksom att definiera de delar av det mycket lågaktiva avfallet som inte kommer att kunna markförvaras. Detta som en förutsättning för att kunna planera för en så rationell avbördning som möjligt för rivningsavfallet.

SSM bedömer också att det är rimligt att sträva efter en samsyn mellan avfallsproducenter och SSM om hur gällande kravbild för mycket lågaktivt avfall ska tolkas. SSM konstaterar i anslutning till detta att dels förutsättningarna för utnyttjande av markförvar är förläggingsplatspecifika, dels att markförvaren faller under tillsynen inom ramen för gällande tillstånd för en befintlig verksamhet. SSM bedömer därför att fortsatt interaktion mellan avfallsproducenterna och SSM lämpligen sker inom ramen för tillsynen av respektive markförvarsanläggning. Och då särskilt inom ramen för det forum som etablerats för att skapa en gemensam plattform för att diskutera frågeställningar relaterade till omhändertagandet av mycket lågaktivt avfall, och där flera av de nu redovisade frågeställningarna redan diskuteras.

SSM bedömer avslutningsvis, givet en situation där tillstånd för deponering av lågaktivt rivningsavfall i markförvaren ännu inte meddelats, att det är viktigt att SKB och reaktorägarna fortsätter att interagera i syfte att klargöra förutsättningarna för eventuell deponering av mycket lågaktivt avfall i slutförvaret för kortlivat låg- och medelaktivt avfall, SFR. SSM bedömer i anslutning till detta att det är positivt att SKB vid dimensionering av slutförvarskapacitetet i SFR beaktar möjligheten att slutförvara det mycket lågaktiva avfallet i SFR.

SSM delar avfallsproducenternas observation att det kvarstår vissa principiella frågeställningar gällande vilken kontroll av deponierna som behöver upprätthållas på längre sikt, d.v.s. för tiden bortom den strålskyddskontroll som enligt dagens tillståndsvillkor behöver pågå under 30 år efter sista deponering. SSM delar i det avseendet avfallsproducenternas syn på behovet av dialog med andra berörda myndigheter i frågan.

## **4.2 Genomförandeplan för omhändertagande av låg- och medelaktivt avfall**

SSM:s synpunkter i detta avsnitt kompletterar de mer övergripande synpunkter som lämnats i kapitel 3 på SKB:s verksamhet och handlingsplan. SSM:s synpunkter avseende transportsystemet redovisas sammanhållet i kapitel 8, och SSM:s synpunkter avseende kärnämneskontroll redovisas sammanhållet i kapitel 9, i denna rapport.

### ***SKB:s redovisning***

SKB beskriver nuläget för arbetet med att realisera de återstående delarna av systemet för låg- och medelaktivt avfall. Det gäller dels den pågående tillståndsansökan av utbyggnaden av SFR och de åtgärder som behöver genomföras kring fortsatt teknikutveckling, projektering och byggförberedelser, dels den säkerhetsvärdering som har genomförts för SFL under perioden 2015 – 2019 samt de utredningar som planeras inom ramen för lokaliseringen av SFL. SKB redogör också på en principiell nivå för tillgång till mellanlagringkapacitet som finns eller planeras för det kort- och långlivade avfallet på respektive förläggningsplats.

Under den kommande Fud-perioden kommer en preliminär säkerhetsredovisning (PSAR) för SFR att upprättas. Planen är att lämna denna till SSM efter regeringens tillstånd enligt kärntekniklagen, liksom efter beslut om tillåtlighet enligt miljöbalken. Planen är att lämna in ansökan om uppförande under 2022, och byggstart planeras att påbörjas ett år senare efter SSM:s medgivande. Efter uppförande planeras en uppdaterad SAR inlämnas år 2027 som underlag för medgivande för SKB att övergå till provdrift av anläggningen 2029, och att en kompletterad SAR inlämnas 2030 som underlag för medgivande för SKB att övergå till rutinmässig drift 2031.

SKB anger att fastställda acceptanskriterier är en förutsättning för slutlig konditionering av det långlivade avfallet som ska deponeras i SFL. Under den planerade Fud-perioden avses arbetet med att ta fram preliminära acceptanskriterier fortsätta, bland annat utifrån resultaten från den preliminära säkerhetsvärderingen för SFL (SE-SFL). Konditionering av avfallet kan inte göras innan acceptanskriterierna är fastställda. Enligt nuvarande planer kommer konditionering, vid behov, göras i samband med deponering i SFL.

### ***SSM:s bedömning***

SSM kan konstatera att arbetet för det låg- och medelaktiva avfallet har varit omfattande sedan den senaste redovisningen av Fud-program. Detta omfattar såväl aktiviteter kopplade till det befintliga SFR, den planerade utbyggnaden av SFR, arbetet med säkerhetsvärderingen av SFL och, inte minst, arbetet relaterat till avvecklingen av sju reaktorer.

SSM konstaterar vidare att redovisningen av genomförandeplanerna på ett överskådligt sätt lägger grunden för den mer detaljerade översikten av forsknings- och utvecklingsbehov med koppling till SFR och för SFL.

Frågan om konditionering av avfall och hur det kopplar till de tillkommande slutförvaren diskuteras under avsnitt 4.4.2.

## **4.2.1 Framtida insatser för slutförvaret av kortlivat avfall (SFR)**

### ***SKB:s redovisning***

SKB redovisar i avsnitt 4.1.1 planer avseende utbyggnaden av SFR för genomförande av vissa forsknings- och utvecklingsinsatser under perioden fram till byggstart, med främsta syfte att underbygga kravspecifikationer och att verifiera konstruktionsförutsättningar. Arbetet kommer att inriktas på optimering av barriärers och olika förvarskomponenters funktioner och egenskaper. Detta teknikutvecklingsarbete avser SKB att successivt

integrera i sitt säkerhetsanalyserbete. SKB har även planerat för vissa utökade platsundersökningsinsatser innan bergarbetet kan inledas i syfte att besvara frågeställningar som lyfts av SSM i sin beredning av SKB:s tillståndsansökan för utbyggnad och fortsatt drift av SFR.

En genomförandeplan för uppförande och fortsatt drift med tillhörande redovisningssteg visas i Figur 3-9 (Fud-2019) där det framgår att SKB:s nuvarande plan, givet att regeringen fattar beslut om tillstånd enligt kärntekniklagen och tillåtlighet enligt miljöbalken, innebär att en preliminär säkerhetsredovisning avses att inlämnas till SSM under kommande Fud-period i början av 2022 och byggstart planeras för 2023.

SKB redovisar vidare att uppförandet kommer att ske i enlighet med fastställda konstruktionsförutsättningar och krav. Provdrift kommer att föregås av att säkerhetsredovisningen uppdateras med platsspecifika kunskaper som erhållits under uppförandeskedet, med i synnerhet mer precis information avseende deformationszoners positioner och bergets vattenförande egenskaper. Säkerhetstekniska driftsförutsättningar kommer tas fram liksom en uppdatering av förslutningsplanen. Efter genomförd provdrift kommer den fastställda säkerhetsredovisningen att uppdateras med erfarenheter från provdrifter och inlämnas till SSM för godkännande innan rutinmässig drift får påbörjas. Utvecklingsbehoven i detta skede bedöms inte vara betydande. Avvecklings- och förslutningsplanerna kommer successivt att uppdateras och en analys av skyddsförmågan efter slutförvarets förslutning likaså inför den slutliga säkerhetsredovisning som framtas innan slutlig förslutning.

#### ***SSM:s bedömning***

SSM konstaterar att SKB:s planerade insatser för uppförande och drift av utbyggnaden av SFR följer det etablerade förfarandet med en stegvis process med uppdaterade säkerhetsredovisningar inför varje steg i slutförvarets utveckling.

SSM konstaterar att SKB planerar för utökade kompletterande borrhålsundersökningar innan bergarbetet inleds vilket SSM anser vara rimligt givet de begränsade praktiska möjligheter som finns att optimera förvarsdelspositioner och –djup när väl bergarbetet har inletts.

Avseende forsknings- och utvecklingsinsatser för kommande säkerhetsredovisningar vill SSM framhäva de synpunkter som myndigheten lyfte i sin granskning SKB:s tillståndsansökan kopplat till bland annat teknikutveckling och redovisning rörande främst den tillkommande förvarsdelen 2BMA, ett utökat program för sorptionsforskning samt vidareutveckling av analysen för säkerhet efter förslutning.

### **4.2.2 Framtida insatser för slutförvaret av långlivat avfall (SFL)**

#### ***SKB:s redovisning***

I avsnitt 4.1.2. anger SKB att den fortsatta utvecklingen av SFL i ett första skede kommer att fokusera på att ta hand om slutsatserna och erfarenheter från den genomförda säkerhetsvärderingen av det föreslagna slutförvarskonceptet. Slutsatserna kommer att vara utgångspunkt för den fortsatta utvecklingen av de tekniska barriärerna, de preliminära acceptanskriterierna och för lokaliseringsarbetet. Under 2020 planerar SKB att starta ett program för planering och genomförande av SFL. Under den kommande Fud-perioden ska



lokaliseringsprocessen påbörjas, med en uppbyggnad av organisationen för platsundersökning, fortsatt teknikutveckling, inklusive praktiska försök, samt fortsatt forskning och utveckling utifrån säkerhetsvärderingens resultat.

Det behov av forskning och utveckling som identifieras i säkerhetsvärderingen rör framför allt behov av fördjupad kunskap om avfallet som ska deponeras i SFL, utökad kunskap om betong- och bentonitbarriärernas utveckling samt utveckling av metoder och verktyg som används i utvärderingen av strålsäkerhet efter förslutning. Under Fud-perioden fortsätter utformningen av förvarsutrymmena, med inriktningen att utveckla konceptet till en första layout av anläggningen. Arbetet syftar även till att fortsatt utreda vilket initialtillstånd som kan uppnås och verifieras. SKB avser också att utreda om det går att utveckla ett koncept som är mindre känsligt för platsegenskaperna där olika koncept jämförs bland annat med avseende på strålsäkerhet, teknik, miljö och kostnader.

SKB avser att utveckla lokaliseringsprocessen under Fud-perioden i samråd med berörda myndigheter och kommuner. Parallellt med detta, och inför inlämnandet av den säkerhetsanalys som ligger till grund för tillståndsansökningarna för SFL, kommer SKB utveckla tekniska barriärer och presentera krav och konstruktionsförutsättningar som visar att slutförvaret har förutsättningar att uppfylla ställda interna och externa krav.

### ***SSM:s bedömning***

SSM bedömer på ett övergripande plan att SKB:s planerade insatser avseende utvecklingen av SFL är ändamålsenliga. SSM kommenterar SKB:s redovisning av fortsatt forskning och utveckling avseende SFL i anslutning till SSM:s bedömningar avseende SKB:s redovisning i kapitel 6 i Fud-program 2019, som mer i detalj redogör för genomfört arbete och planer för den kommande Fud-perioden.

## **4.3 SSM:s samlade bedömning**

SSM bedömer att redovisningen av genomförandeplanerna i kapitel 3 samt de anläggningsspecifika redogörelserna för planerade insatser för SFR respektive SFL utgör en bra introduktion till informationen i efterföljande avsnitt, vilka motiverar och sammanfattar den återstående teknikutveckling som erfordras och liksom den forskning som behövs för att genomföra analys av förvarens långsiktiga säkerhet.

SSM:s redovisar mer detaljerade bedömningar i dessa avseenden i respektive avsnitt.



## 5 Slutförvaret för långlivat avfall

SKB redogör övergripande för säkerhetsvärderingen av Slutförvaret för långlivat låg- och medelaktivt avfall (SE-SFL) samt lokaliseringen av SFL i kapitel 6 i Fud-program 2019. Säkerhetsvärderingen i sig presenterades i november 2019. Eftersom huvudrapporten inte blev tillgänglig förrän efter att Fud-program 2019 lämnats in har SSM inte hunnit med att göra någon djupare analys av säkerhetsvärderingen med tillhörande underlagsdokument. SSM:s granskning av SKB:s arbete med SFL inom ramen för detta Fud-program är därför av nödvändighet på en övergripande nivå och begränsad till att i första hand värdera hur SKB har omhändertagit resultaten från det genomförda arbetet utifrån dess syften och hur det fortsatta programmet planeras.

SKB redovisar nuläget och planerat program för acceptanskriterier för låg- och medelaktivt avfall i SFL och i det utbyggda SFR i avsnitt 7.3 i Fud-program 2019. Frågorna kring acceptanskriterier för låg- och medelaktivt avfall i allmänhet granskas och bedöms vidare i avsnitt 6.3.

SKB anger att det koncept för SFL som har utvecklats består av två delar, dels en bergsal för slutförvaring av långlivat metalliskt avfall i form av härdkomponenter från kärnkraftverken (BHK), dels en bergsal för sådant annat långlivat avfall som uppkommit i samband med utvecklingen av kärnkraften, så kallat historiskt avfall (BHA). Det historiska avfallet lagras och hanteras av AB Svafo och Studsvik Nuclear AB. Ytterligare avfall tillkommer från Cyclife Sweden AB och övrig svensk forskning, industri och sjukvård.

### 5.1 SFL säkerhetsvärdering

#### *SKB:s redovisning*

Syftena med SE-SFL har enligt redovisningen i Fud-program 2019 varit att bedöma om det föreslagna konceptet har förutsättningar att uppfylla SSM:s krav samt att ge viktig information för den fortsatta utvecklingen av SFL vad gäller platsval och barriärsutformning. Vidare anges att SE-SFL utgör en förutsättning för platsvalsprocessen och utveckling av tekniska barriärer, samt för att formulera krav på avfallet (WAC, waste acceptance criteria) för SFL. I SE-SFL har även ingått att identifiera områden där kunskapsläget behöver förbättras för framtida fördjupade analyser av strålsäkerhet efter förslutning.

SKB redovisar att nu genomförd säkerhetsvärdering baseras på SKB:s säkerhetsanalysmetodik men anpassats för att ge underlag till den fortsatta utvecklingen av SFL snarare än att visa kravuppfyllnad. SKB redovisar vidare att avfall, avfallsbehållare och tekniska barriärer i SFL har likheter med motsvarande komponenter i utbyggt SFR men att analysen av säkerheten efter förslutning av förvaret ska omfatta samma tidsperiod som för Kärnbränsleförvaret. SKB redovisar också att det i det föreslagna förvarskonceptet ingår att SFL, i likhet med Kärnbränsleförvaret, placeras på tillräckligt djup för att undvika negativa effekter av permafrost på de tekniska barriärerna. SKB anger med utgångspunkt från dessa likheter att analysen i möjligaste mån har baserats på befintlig kunskap och data som tagits fram inom tidigare platsundersökningar, säkerhetsanalyser och teknikutveckling på SKB.

Som utgångspunkt för SE-SFL har SKB utgått från en exempelplats baserad på data erhållet från SKB:s platsundersökning i Laxemar, Oskarshamns kommun. Platsen bedöms som ett relevant exempel för en förläggingsplats i Sverige. Berggrunden på den valda platsen har låg sprickfrekvens och därmed låg permeabilitet i jämförelse med andra bergvolymmer inom området. Inom ramen för känslighetsanalysen har SKB även använt relevanta data från den tektoniska linsen i Forsmark i Östhammars kommun.

Inventariet av radioaktiva ämnen i avfallet är baserat på uppskattningar som SKB gjort för långlivat medelaktivt avfall från kärnkraftverken och långlivat avfall från AB Svafo, Studsvik Nuclear AB och Cyclife Sweden AB. För avfallet från kärnkraftverken består den största osäkerheten sannolikt av materialsammansättningen i bestrålat material, och då främst förekomsten av spårämnen som normalt inte analyseras vid bestämning av materialsammansättning i till exempel stål. SKB anger att i dessa fall har pessimistiska antaganden gjorts. För det avfall som ska placeras i BHA (benämns fortsättningsvis för ”historiskt avfall”) är inventariet behäftat med stora osäkerheter. Inventariet av svärmätbara nuklider är baserat på den nuklidvektor som AB Svafo redovisat och som tagits fram för friklassning av avfall och som enligt SKB överlag har mycket pessimistiska värden för svärmätbara nuklider. Detta bedöms av SKB som ett försiktigt antagande som innebär att inventariet av vissa nuklider överskattats i utvärderingen.

SKB redovisar också att totala radiotoxiciteten i SFL vid förslutning är ungefär tio gånger högre än i utbyggt SFR, men något mindre än inventariet i en enda av de cirka 6 000 kopparkapslarna i Kärnbränsleförvaret.

Beträffande de tekniska barriärerna har SKB gjort flera antaganden. Som utgångspunkt för SE-SFL har betongen i BHK antagits ha en sammansättning som liknar den betong som användes vid uppförandet av befintligt SFR. Betongens utveckling har utvärderats. SKB har även utvärderat ett fall där en alternativ betong som utvecklats för den planerade förvarsdelen 2BMA använts. Utredningar som genomförts under Fud-perioden indikerar att denna betong har en mycket låg initial porositet, vilket gör att den långsiktiga kemiska lakningen går långsammare. För BHA har bentonit med samma egenskaper som bentonitbufferten i Kärnbränsleförvaret antagits. SKB anger att de processer som skulle kunna leda till att bentonitens egenskaper och funktion förändras under tiden fram till och efter förslutning inte antas ha någon betydande påverkan på förvarets förmåga att bromsa utsläpp av radionuklider, ett antagande som SKB avser att utvärdera i framtida analyser.

I SKB:s säkerhetsvärdering hanteras osäkerheter i klimatutvecklingen genom att inkludera tre varianter i referensutvecklingen. Andra typer osäkerheter som relaterar bl.a. till den hydrokemiska utvecklingen och utvecklingen av betong- och bentonitmaterial i bergsalarna hanteras med olika beräkningsfall i referensutvecklingen. Även parameterosäkerheter hanteras till viss del i säkerhetsvärderingen.

Säkerhetsvärderingen baseras på samma säkerhetsanalysmetodik som tidigare användes i analyser av långsiktig strålsäkerhet för Kärnbränsleförvaret och för SFR. Metodiken har dock anpassats med hänsyn tagen till likheter och olikheter mellan de olika förvaren samt för att ge underlag för den fortsatta utvecklingen av SFL snarare än att visa på kravuppfyllnad.

De externa förhållandena representeras i säkerhetsvärderingen av en referensutveckling bestående tre varianter; en *basvariant* som är ett hypotetiskt fall där dagens externa klimatförhållanden antas råda på förvarsplatsen under hela analysperioden, d.v.s. en



miljon år, en variant med *ökad växthuseffekt*, samt en variant med *förenklad glaciationscykel*.

Ett centralt inslag i SKB:s säkerhetsanalysmetodik är definitionen av en uppsättning säkerhetsfunktioner, som används för att tydliggöra på vilket sätt som en komponent bidrar till strålsäkerhet efter förslutning. Säkerhetsprincipen för det föreslagna konceptet är fördröjning, och SKB listar ett antal säkerhetsfunktioner som god retention, lågt flöde i bergssalarna samt lågt flöde i berggrunden. SKB anger att dessa säkerhetsfunktioner kan komma att ses över i kommande analyser av strålsäkerheten. Den sammantagna effekten av retardationen i förvaret fördelar utsläppet av radioaktivitet från förvaret över tid. Utöver denna effekt innebär retentionen att en signifikant andel av det initiala radionuklidinventariet sönderfaller innan det når ytan vilket gäller speciellt för radionuklider som har kort halveringstid.

SKB anger att i likhet med tidigare säkerhetsanalyser för utbyggt SFR och Kärnbränsleförvaret görs ett antal förenklade antaganden i beräkningen av transport av radionuklider och potentiell årlig dos för en individ i den mest exponerade gruppen vilka sannolikt leder till en överskattning av de beräknade maximala radiologiska konsekvenserna. Bland annat beaktas inte löslighetsbegränsningar för radionuklider, avfallsbehållarnas transportmotstånd, möjlighet för lösta radionuklider att falla ut i fast form, sjunkande nivåer av komplexbildare i det historiska avfallet med tiden och att utsläppet kan fördelas i fler än ett geografiskt begränsat område. SKB anger vidare att då osäkerheten i inventariet i det historiska avfallet är stor har ytterligare förenklingar gjorts för denna bergssal på så sätt att hela radionuklidinventariet antas vara tillgängligt för uttransport vid förslutning, trots att delar av radioaktiviteten i avfallet sannolikt är bundet i fasta material.

Utvärderingen har gjorts för ett antal utvärderingsfall baserade på de tre varianterna av de externa förhållandena i referensutvecklingen. Utvärderingsfallen syftar inte till en strikt bedömning av kravuppfyllelse mot riskkriteriet, men anges ändå utgöra realistiska, och i vissa avseenden förenklade antaganden om förhållandena i förvaret och dess omgivningar. För att utvärdera det föreslagna konceptets skyddsförmåga jämför SKB de beräknade doserna för de olika fallen med ett referensvärde, vilket utgörs av SSM:s s.k. doskriterie (14 $\mu$ Sv). SKB anger att de modeller som använts i tillämplig omfattning är likvärdiga med de modeller som använts i de senaste säkerhetsanalyserna för utbyggt SFR och Kärnbränsleförvaret, men att i vissa avseenden har nya modeller utvecklats.

Utifrån de presenterade resultaten framgår att den beräknade stråldosen överskrider doskriteriet med en faktor fyra för BHK och en faktor sex för BHA. De beräknade stråldoserna domineras av de radionuklider som har störst initialt inventarium i respektive bergssal och som har en halveringstid längre än några tusentals år. För BHA dominerar teknetium-99, kol-14 och klor-36 medan molybden-99, kol-14 och nickel-59 dominerar för BHK. Resultaten visar också att den allra största andelen av nickel-59 och molybden-93 sönderfaller i bergssalen för BHA och den allra största andelen av teknetium-99, molybden-93 och nickel-59 sönderfaller i bergssalen för BHK. Även för andra dosbidragande radionuklider sker en relativt stor andel sönderfall i bergssalarna. SKB anser att både de tekniska barriärerna och de naturliga barriärerna bidrar till fördröjning av radionuklider till biosfären (SKB dokID 1885652).

SKB analyserar och tolkar resultaten med hänsyn tagen till de olika antagandena i modelleringen i säkerhetsvärderingen. Med hjälp av kvalitativ eller kvantitativ känslighetsanalys belyses potentialen för det föreslagna förvaringskonceptet att uppfylla myndighetskraven. Genomförda analyser visar att avfallets karaktärisering och grundvattenflödet är viktiga förutsättningar för BHA. För BHK är motsvarande förutsättningar kopplade till korrosion av metalliskt avfall, betongbarriärens egenskaper och utveckling samt grundvattenflödet.

Med utgångspunkt från SE-SFL identifierar SKB följande områden där kunskapsläget behöver förbättras. De insatser som avses vidtas under kommande Fud-period rör:

- Fördjupad kunskap om avfallets inventarium, både med avseende på avfallets innehåll av nuklider och prognosticerade avfallsmängder
- Fördjupad kunskap om gasbildande processer i det historiska avfallet och om gasproduktion kan påverka bentonitbarriärens funktion
- Fortsatta studier av betongbarriärens interaktion med grundvatten
- Bentonitmaterialets utveckling efter installation fram till mättnad, egenskaper i mättat tillstånd samt efter vattenmättnad

SKB har även identifierat ett behov av utveckling av verktyg och metoder som används i analysen av säkerhet efter förslutning:

- Hantering av osäkerheter i säkerhetsanalysen
- Verktyg för beräkning av grundvattenflöde och radionuklidtransport utgående från bentonitbarriärens utveckling
- Utvärdering av barriärsystemets tålighet för jordskalv
- En utökad flexibilitet hos verktygen för modellering av grundvattenflöde och radionuklidtransport.

Planeringen av dessa delar kommer att detaljeras under den kommande Fud-perioden.

### ***SSM:s bedömning***

SSM noterar att SKB inledningsvis i säkerhetsvärderingen översiktligt redogör för tidigare utvecklingsarbete kopplat till SFL. Ett preliminärt förvaringskoncept presenterades i samband med kostnadsberäkningar för hantering av radioaktivt avfall (SKB TR-93-28). Den första kvantifieringen relaterad till säkerhet presenterades i en förstudie av slutförvaring av långlivad låg- och medelnivåavfall (SKB TR-95-03). En preliminär säkerhetsbedömning som fokuserade på en kvantitativ analys av miljöpåverkan för ett referensscenario presenterades 1999 (SKB TR-99-28) med mål att undersöka anläggningens kapacitet att fungera som ett hinder för frisläppandet av radionuklider och vikten av förvarets plats. En av de viktigaste kommentarerna från myndigheternas granskning (SKI/SSI, 2001) var bristen på en tydlig redogörelse för grunden för valet av utformning av anläggningen och att inga alternativa lösningar hade beaktats. Utgående från myndigheternas kommentarer har möjliga lösningar för hantering och bortskaffande av det svenska långlivade låg- och medelaktiva avfallet utvärderats i den konceptstudie som SKB presenterade 2013 (SKB TR-13-14).

Av konceptstudien framgår att syftet med arbetet var att genomlysna alla tänkbara alternativ, oberoende av SKB:s tidigare planering för SFL. I sammanfattningen i konceptstudien redogör SKB för den systematik som tillämpats. I ett första steg identifierades olika strategier för slutligt omhändertagande av långlivat låg- och

medelaktivt avfall. I nästa identifierades olika koncept för att realisera dessa strategier varefter de koncept som uppfyller lagar och internationella konventioner valdes ut för vidare analys. Koncepten för slutförvaring har kompletterats med funktioner för mellanlagring, transport etc. som krävs för att skapa ett system för hantering och slutförvaring.

Utgående från identifierade krav på systemet utifrån lagar, föreskrifter och internationella konventioner formulerades utvärderingsfaktorer. Dessa användes för att dels bedöma om ett koncept uppfyller kraven, dels för att jämföra de slutförvaringskoncept som uppfyller kraven med varandra. Ytterligare utredningar genomfördes för att belysa skillnader mellan koncepten.

En jämförande utvärdering genomfördes baserad på en samlad bedömning av koncepten med stöd av utvärderingsfaktorer kopplade till långsiktig säkerhet, miljö, teknik, kostnad och tid. Utvärderingen tog hänsyn till hela hanteringskedjan från avfallets uppkomst till det förslutna förvaret, och innefattar avfallskollin, konditioneringsmetoder etc. Även behov av forskning och teknikutveckling liksom bygg- och driftskeden beaktades. Utvärderingen mynnade ut i ett förslag till ett system för hantering och slutförvaring av långlivat låg- och medelaktivt avfall att analysera vidare med avseende på långsiktig säkerhet.

Utfallet från konceptstudien i form av föreliggande konceptuella utformning av SFL utgör utgångspunkten för genomförandet av föreliggande värdering av konceptets skyddsförmåga efter förslutning.

SSM ställde sig i granskningen av Fud-program 2016 positiv till de syften som SKB hade angivit för SE-SFL. Det bedömdes som angeläget att analysen gav underlag såväl för framtagande av acceptanskriterier för avfallet som för att ge underlag för fortsatt teknikutveckling och platsvalsprocess. I det följande bedömer SSM de slutsatser som SKB drar av detta arbete och de redovisade planerna för det fortsatta forsknings- och utvecklingsarbetet.

SSM anser att det är positivt att en plats med relativt kompletta platsdata väljs som underlag till säkerhetsvärderingen istället för flera modellplatser med begränsade platsdata, som tidigare gjordes i säkerhetsanalysen SR-97. Efter omfattande arbete med platsundersökningar vid tillståndsansökningar för Kärnbränsleförvaret är förutsättningarna för tillgång till platsdata annorlunda idag.

Beträffande avfallsinventarium som utgångspunkt uppfattar SSM att SKB har utgått från den senaste uppdateringen av inventariet vad gäller avfallets innehåll av radioaktiva ämnen. SSM har dock inom ramen för granskningen av Fud-program 2019 inte granskat de underliggande redovisningarna. SSM instämmer med SKB att särskilt det historiska avfallet är behäftat med stora osäkerheter, inte bara när det gäller avfallets innehåll av radioaktiva ämnen, utan även dess innehåll av i övrigt farliga ämnen samt ämnen som kan påverka barriärsystemets funktion. SSM bedömer att väsentliga utmaningar föreligger avseende hantering av osäkerheter i avfallsinventariet. Se även avsnitt 6 i föreliggande granskningsrapport.

SSM bedömer att SKB:s val av materialegenskaper för barriärerna i de två bergsalarna som utgångspunkt för säkerhetsvärderingen är godtagbar. SSM instämmer i SKB:s slutsats att vissa antaganden, exempelvis att bentonitens barriärfunktion i BHA inte försämras med

tiden, inte är konservativa. SSM betonar att det är viktigt att fortsatt utvecklingsarbete resulterar i bättre förståelse för bentonitens utveckling över tid och eventuellt associerad försämrad barriärfunktion. SSM noterar att en del av övriga osäkerheter har analyserats genom kompletterande beräkningsfall. Detta bedöms som positivt.

SSM bedömer att den i säkerhetsvärderingen anpassade säkerhetsanalysmetodiken är ändamålsenlig. SSM anser att den anpassade tillämpningen har bibehållit de väsentliga funktioner som en säkerhetsvärdering motsvarande SE- SFL behöver ha genom att på principiell nivå följa de de tio stegen som motsvarar metodiken som tillämpats för SR-Site avseende Kärnbränsleförvaret och för SR-PSU avseende utbyggnad av SFR.

I fråga om den återkoppling som SE-SFL ger när det gäller de från strålsäkerhetssynpunkt viktigaste radionukliderna konstaterar SSM att för förvardsdelen BHK ingår, utöver kol-14, även de långlivade nukliderna molybden-93 och nickel-59. De senare produceras genom neutronbestrålning av olika metallegeringar. Förekomsten av i synnerhet nickel-59 är förväntad då stora delar av interndelarna i kärnkraftverken består av rostfritt stål innehållande nickel. SSM bedömer att det finns en koppling mellan vilka nuklider som SKB identifierar till SKB:s antaganden om betongbarriärens egenskaper och dess utveckling över tid, liksom antaganden om avfallets innehåll av ämnen som kan påverka sorptionen.

För förvardsdelen BHA dominerar molybden-93, teknetium -99, klor-36 samt kol-14, samtliga långlivade nuklider med liten eller begränsad sorption i bentonitbarriären. SKB identifierar inte det historiska avfallets innehåll av transuraner som kritiskt för strålsäkerheten. SSM bedömer att det inte kan uteslutas att detta kan bero på det sätt som SKB har utvärderat förvarets långsiktiga utveckling. SKB:s antagande i SE-SFL om att bentonitbarriärens egenskaper inte förändras under analysperioden, som sträcker sig över en miljon år, kan innebära att SKB:s analyser överskattar förvardsdelens skyddsförmåga, såsom filtrering av kolloidpartiklar. SSM konstaterar att SKB har identifierat fortsatta utvecklingsbehov kopplade till det historiska avfallets innehåll av radionuklider samt frågor kopplade till bentonitbarriärens långsiktiga utveckling. SSM ser positivt på SKB:s avsikt att i det kommande arbetet utvärdera bentonitens utveckling över tid. Andra utgångspunkter och antaganden om bentonitbarriärens långsiktiga utveckling, liksom antaganden kopplade till avfallets innehåll av ämnen som kan påverka sorptionen, skulle kunna innebära att ytterligare nuklider hade identifierats som kritiska för den långsiktiga strålsäkerheten, t.ex. långlivade alfastrålande radionuklider. SSM bedömer att det är för tidigt att utesluta även avfallets innehåll av transuraner som betydelsefulla för den långsiktiga strålsäkerheten. Frågan diskuteras vidare i avsnitt 6.2 respektive 10.2.

SSM konstaterar att de resonemang SKB för dels om det kommande utvecklingsarbetet och dels om möjliga justeringar av den tekniska utformningen av betongbarriären i BHK förefaller ske inom ramen för den grundläggande utformningen. För förvardsdelen BHA saknas resonemang om möjligheter att justera den tekniska utformningen av bentonitbarriären. SSM bedömer, mot denna bakgrund, att SKB i det fortsatta utvecklingsarbetet inte kan utesluta eventuella behov av förstärkta barriärfunktioner, primärt för den konceptuella utformningen av bergrummet för historiskt avfall.

I samband med Fud-program 2016 ställde regeringen villkor om att planer, strategier och forskning avseende SFL ska redovisas. SSM konstaterar att redovisningen i den konceptstudie som SKB tagit fram (TR-13-14) innehåller en redovisning av av möjliga strategier för att slutförvara långlivat avfall tillsammans med en utvärdering av olika



slutförvarskoncept för att genomföra en vald strategi. SSM noterar i anslutning till detta att SKB i samband med en kommande tillståndsansökan, inom ramen för miljökonsekvensbeskrivningen, behöver redovisa möjliga alternativa utformningar och presenta skälen för den valda utformningen.

## 5.2 Lokalisering av SFL

### *SKB:s redovisning*

SKB anger att en framtida tillståndsansökan ska innehålla systematiska jämförelser med andra alternativ med hänsyn till faktorer som speglar kraven för lokaliseringen. För detta krävs geovetenskapligt underlag och annan information. Enligt SKB ska den valda platsen ha goda förutsättningar att uppfylla strålsäkerhetskraven. Vidare ska platsen ge robusta förutsättningar för att tekniskt uppföra och driva förvaret med en begränsad påverkan på miljön och allmänhetens hälsa och med rimliga kostnader. Det ska också vara troligt att det går att nå en samhällelig acceptans på den valda och alternativa platsen.

Gällande lokaliseringsfaktorer för SFL anger SKB att man utgår från de huvudgrupper av lokaliseringsfaktorer som använts i tidigare ansökningar (Kärnbränsleförvaret och SFR). Dessa är:

- strålsäkerhet efter förslutning
- teknik för genomförande
- miljö och hälsa
- samhällsaspekter

SKB redogör för de olika faktorer som ingår i respektive huvudgrupp. Enligt SKB bör likartade strålsäkerhetskrav ställas som för Kärnbränsleförvaret, men med några skillnader. SFL kräver en betydligt mindre bergvolym än Kärnbränsleförvaret, vidare genererar SFL-avfallet inte någon värme som krävställer bergets termiska egenskaper.

SKB redovisar olika undersökningar som genomförts sedan 1970-talet, vilka används som underlag vid bedömning av lokalisering av SFL. Detta omfattar det underlag som tagits fram inom ramen för arbetet med att lokalisera Kärnbränsleförvaret, med också andra kärntechniska anläggningar som SFR, Clab, Äspölaboratoriet samt mellanlager vid OKG och Studsvik. Utifrån det underlag som tagits fram inom ramen för de förstudier som SKB genomfört för Kärnbränsleförvaret anser SKB att det inte finns möjlighet att rangordna dem utifrån strålsäkerhet efter förslutning. SKB bedömer att SFL:s ringa storlek gör att det sannolikt skulle vara möjligt att identifiera några fler områden i berörda kommuner.

SKB pekar på svårigheterna att nå samhällelig acceptans. Av de åtta kommuner där en förstudie genomfördes i samband med Kärnbränsleförvaret avstod två kommuner efter genomförd förstudie. Av de fyra kommuner som av SKB föreslogs för platsundersökningar avböjde två. SKB anger att det tar tid att bygga upp samhällelig acceptans och att denna aldrig kan tas för given på någon plats.

Utifrån resultaten från de typområdesundersökningar som genomförts drar SKB slutsatsen att Forsmarkslinsen har en låg vattengenomsläpplighet, men att lämplig berggrund även finns i flera andra undersökta områden och sannolikt även på andra platser i Sverige med liknande berggrund. Från det underlag som finns att tillgå från platsundersökningarna

anges att detta kan användas för att utifrån samtliga listade huvudgrupper av lokaliseringsfaktorer bedöma lämpligheten i att lokalisera SFL till Forsmark och Laxemar/Simpevarp. Erfarenheterna från det framtagna underlaget, inklusive genomförda analyser av strålsäkerheten, kan användas vid lokaliseringen av SFL oavsett vilken plats som kan bli aktuell.

SKB redovisar de principiella lokaliseringsalternativ som kan bli aktuella, detta gäller; samlokalisering vid befintliga eller planerade slutförvar, lokalisering vid andra kärntekniska anläggningar, lokalisering vid andra industrianläggningar, lokalisering där industrianläggningar saknas. För dessa alternativ listas potentiella för- och nackdelar. Sammanfattningsvis anser SKB att det finns flera områden som är potentiellt lämpliga, men att dessa inte kan rangordnas utan information från plats specifika geovetenskapliga undersökningar. Givet att goda förutsättningar finns, och då det krävs omfattande platsundersökningar för att avgöra om en plats uppfyller kraven, anser SKB att en urvalsprocess i första hand bör utgå från de faktorer som går att bedöma i ett tidigt skede av lokaliseringsprocessen. Följaktligen bör platser med goda geologiska förutsättningar inledningsvis värderas utifrån bedömningar av påverkan på människors hälsa och miljön, tillgång till infrastruktur, ianspråktagande av mark och möjlighet att erhålla samhälleligt stöd.

SKB föreslår en lokaliseringsprocess som utgår från redan befintlig kunskap och där Laxemar/Simpevarp och Forsmark inkluderas, särskilt då de båda områdena är utpekade som riksintresse och att underlaget ger förutsättningar att bedöma andra lokaliseringsfaktorer. I ett första steg av lokaliseringsprocessen genomför SKB en jämförelsestudie med andra områden där det finns relevanta data från större djup. Visar denna jämförelsestudie att det finns andra områden med uppenbara fördelar från strålsäkerhetssynpunkt inkluderas dessa i urvalet, om detta bedöms som rimligt och möjligt. Jämförelsestudien kommer även att inkludera andra områden där det saknas data från större djup, men som framhållits t.ex. vissa områden i och nära Hultsfreds kommun och Studsvik. Baserat på detta urval görs en värdering av samtliga huvudgrupper av lokaliseringsfaktorerna. Arbetet avses bedrivas inom ramen för MKB-samråd som inleds under Fud-perioden.

I ett andra skede genomförs undersökningar, utredningar och samråd för att ta fram ett underlag för att välja plats. Platsvalet sker efter genomförda undersökningar och beaktar samtliga lokaliseringsfaktorer. I ett tredje skede tas all dokumentation fram som krävs för en tillståndsansökan. För den alternativa platsen (platserna) tas dokumentation fram till en nivå som krävs för att kunna bedömas jämförbart med huvudalternativet. SKB anger att remisshanteringen av Fud-program 2019 ger berörda möjligheter att lämna synpunkter på SKB:s föreslagna process och de föreslagna lokaliseringsfaktorerna.

### ***Remissinstansernas synpunkter***

*Luleå Tekniska Universitet (LTU)* konstaterar att när det gäller slutförvaret anges i Fud-program 2019 (sid 152) att i princip alla typer av kristallint berg kan härbärgera ett KBS-3-förvar. Det borde enligt LTU innebära att man skulle kunna ägna mindre tid och kraft åt tidskrävande platsundersökningar och åtföljande resurskrävande men föga meningsfull modellering av storskalig grundvattenströmning och sprickpropagering under perioder med glaciation, landisavsmältning och ringa kvarvarande radioaktivitet. LTU anser att undersökning av hur närfältbergets stabilitet påverkas av spänningsändringarna orsakade av krypdeformationer i närfältberget och i bufferten vid uppvärmning av kapslarna under

de första tusentalen år efter kärnavfallens installation, vore en mycket mer angelägen forskningsuppgift.

*Länsstyrelsen Kalmar län* noterar att under kommande programperiod kommer arbetet med lokalisering och säkerhetsvärdering av slutförvar för långlivat avfall, SFL, att påbörjas. Länsstyrelsen noterar vidare att i detta arbete kommer man att delvis utgå från den kunskap som framkommit från tidigare utredningar om Kärnbränsleförvaret. Länsstyrelsen noterar också att SFL kommer att omfatta en bergssal för hårdkomponenterna, BHK, med en betongbarriär som ska fördröja transporten av radionuklider och en bergssal för historiskt avfall, BHA, med en teknisk barriär av bentonit.

Enligt *Oskarshamns kommun* tydliggör Fud-program 2019 att det nu är dags att planera för ett förvar för det långlivade avfall som inte utgörs av använt kärnbränsle, SFL. Enligt kommunen redovisas att de data som har tagits fram i samband med platsvalsprocessen för slutförvaret för det använda bränslet, utgör ett viktigt underlag för SFL-processen vilken kommer att ta sin början 2020. Kommunen anser att det är av största vikt att kommunen får all information om platsvalsarbetet och vilka kriterier som i slutänden blir styrande för det valet av plats. Kommunen anser vidare är det viktigt att SKB följer sin föreslagna tidplan för SFL-processen så att förseningar kan undvikas.

Kommunen noterar att SKB planerar att lämna in ansökan om att bygga ett förvar för det långlivade avfallet 2030 och att det är meningen att anläggningen ska kunna tas i bruk 2045. Kommunen anser att planeringen av SFL måste koordineras med de tidsplaner som finns för rivning av kärnkraftverken. Kommunen noterar att Fud-program 2019 redovisar lokaliseringfaktorer och en stegvis lokaliseringsprocess för SFL och att lokaliseringfaktorerna för SFL i stort sett är desamma som för Kärnbränsleförvaret och det finns ett omfattande underlag som kan användas vid bedömningar av var det finns förutsättningar för lokaliseringen av SFL. Kommunen anser att arbetet med den sista pusselbiten i slutförvarssystemet ska ske i samverkan med berörda kommuner i en transparent platsvalsprocess. Kommunen anser att invånarna måste beredas möjlighet att ha full insyn i arbetet.

*Lokala säkerhetsnämnden vid Oskarshamns kärnkraftverk* noterar att i slutförvaret för långlivat avfall, SFL, ska låg- och medelaktivt avfall som är långlivat slutförvaras. Säkerhetsnämnden noterar vidare att SFL är det förvar som kommer att tas i drift sist och att SKB planerar att lämna in ansökan runt 2030 och att SFL förväntas stå klart kring 2045. Säkerhetsnämnden notera att det handlar om metalldelar som varit i närheten av reaktorhärden. Säkerhetsnämnden noterar vidare att annat långlivat avfall som ska slutförvaras i SFL är så kallat historiskt avfall från den tidiga kärntekniska forskningen. Säkerhetsnämnden konstaterar att Fud-program 2019 redovisar en säkerhetsvärdering efter förslutning för det föreslagna förvarskonceptet. Säkerhetsnämnden noterar att utvärderingen ger underlag för den fortsatta utvecklingen av SFL avseende både lokalisering och utformning av barriärer.

Säkerhetsnämnden konstaterar att trots att SFL inte planeras stå klart förrän tidigast i mitten av 2040-talet så intensifierar nu SKB förberedelsearbetet och påbörjar under den närmaste sexårsperioden arbetet med att välja en plats för förvaret. Säkerhetsnämnden vill understryka vikten av att processen koordineras med de tidsplaner som finns för rivning av sju reaktorer. Säkerhetsnämnden noterar att programmet redovisar lokaliseringfaktorer och en stegvis lokaliseringsprocess för SFL. Säkerhetsnämnden noterar vidare att lokaliseringfaktorerna för SFL i stort sett är desamma som för Kärnbränsleförvaret och

att det redan finns ett omfattande underlag som tagits fram sedan slutet av 1970-talet, som kan användas vid bedömningar av var det finns potential för lokalisering av SFL. Säkerhetsnämnden anser det angeläget att arbetet med den sista pusselbiten i slutförvarssystemet inleds i samverkan med berörda kommuner i första hand i områden med befintlig kärnteknisk verksamhet och lokal acceptans samt med övriga parter. Säkerhetsnämnden konstaterar att grunderna för lokaliseringen framgår av miljöbalken och kärntekniklagen. Säkerhetsnämnden anser att av stor vikt är även faktorer såsom; goda geologiska förutsättningar, säkerhet under drift och efter förslutning, en robust anläggning med begränsad miljöpåverkan, lokal acceptans och brett politiskt stöd.

*Kungliga Vetenskapsakademien* påtalar att uranoxidens låga löslighet i syrefritt grundvatten (reducerande betingelser) har en retarderandefunktion, vilket är välkänt och studerat. KVA anser att möjligheten att grundvattnet kring förvaret kommer i kontakt med luft måste beaktas i utvärderingar av platser och händelser. KVA konstaterar att exempel finns från Bergslagen hur djupt grundvatten i nedlagda gruvor genom tidigare luftkontakt skapat oxiderande miljöer vilket medfört att uranhalten i vattnet har ökat med en faktor 100 över bakgrundsivån i ostörd grundvattenmiljö. KVA noterar att urankällan i exemplet är oxidmineral som är svårlösliga i syrefri miljö.

### ***SSM:s bedömning***

SSM anser att den långsiktiga strålsäkerheten ska vara vägledande vid lokalisering av ett geologiskt slutförvar. För ett slutförvar för långlivat avfall blir platsens egenskaper än viktigare i jämförelse med slutförvaring av mer kortlivat avfall. Successivt kommer den geologiska barriären att utgöra en allt större del av barriärsfunktionen. Ambitionen bör därför vara att utifrån strålsäkerhetssynpunkt söka efter en så lämplig plats som möjligt, givet samhällliga och ekonomiska faktorer. Genom de platsundersökningar som SKB har gjort vid Laxemar/Simpevarp och Forsmark har en stor kunskap om berggrunden vid dessa områden erhållits. Detta är positivt för en värdering av förutsättningarna för att bedöma den långsiktiga strålsäkerheten, men kan också försvåra jämförelsen med mindre välundersökta platser där motsvarande geovetenskaplig information av förhållandena på djupet saknas.

SSM delar SKB:s bedömning att det krävs ett stabilt stöd från utpekade kommuner för att få genomföra platsundersökningar och för tillstånd till uppförande av ett slutförvar. Enligt SSM:s bedömning är det samtidigt angeläget att detta inte leder till att urvalet begränsas i ett allt för tidigt skede i platsvalsprocessen. SKB behöver därför sträva efter att tillräckligt många platser med jämförbara data till stort djup ingår i urvalsunderlaget och inte i ett tidigt skede exkludera platser som kan vara fördelaktiga för den långsiktiga strålsäkerheten men för vilka kunskapen på djupet är bristfällig. SSM stödjer SKB:s avsikt att driva en öppen och transparent lokaliseringsprocess där förutsättningarna för olika aktörer är klarlagda och processens olika steg är förankrade och kommunicerade. SSM bedömer att det är lämpligt så som SKB föreslår med en stegvis lokaliseringsprocess, likt den som genomfördes för Kärnbränsleförvaret.

SSM bedömer att de av SKB angivna lokaliseringsfaktorer som anges relaterade till *Strålsäkerhet efter förslutning* är något otydliga då de benämns som ”önskemål”, ”starkt önskemål”, ”behöver beaktas” respektive ”krav”. SSM bedömer att skillnaden mellan dessa kan behöva tydliggöras med avseende på vad som är *krav* och vad som är *önskemål* för var och en av de båda förvarsdelarna. Detta gäller inte minst de lokaliseringsfaktorer

som adresserar grundvattenrörelser i berggrunden samt grundvattnets sammansättning. För dessa faktorer bör lokaliseringsfaktorerna utvecklas för att i så hög grad som är möjligt klargöra vilka egenskaper som vore särskilt fördelaktiga utifrån strålsäkerhets-synpunkt. I en optimerings- och skälighetsvärdering behöver sedan dessa faktorer utvärderas emot exempelvis miljöpåverkan och kostnader. I detta arbete behöver krav och önskemål för grundvattnets sammansättning vara tydligt kopplade till utformningen av var och en av de båda förvarsdelarna. Givet det utvecklingsarbete som SKB behöver genomföra gällande den tekniska utformningen av de båda förvarsdelarna behöver SKB hålla öppet för att se över dessa krav och önskemål i samband med att förvarsutformningen utvecklas.

SSM uppfattar att SKB avser att bedriva ett iterativt tekniskt utvecklingsarbete av förvarsdelarna. Med hänsyn till de resultat som SKB har presenterat från SE-SFL, liksom planerna för det kommande arbetet, bedömer SSM att planerna för det fortsatta arbetet behöver utvecklas och konkretiseras. SSM bedömer att ett sådant arbete i erforderlig omfattning lämpligen redovisas inom ramen för de samråd som SKB planerar att inleda under Fud-perioden, i linje med vad som framförts av Oskarshamn kommun och lokala säkerhetsnämnden vid Oskarshamns kärnkraftverk.

I samband med arbetet inför såväl Kärnbränsleförvaret som utbyggnaden av SFR genomfördes tekniska möten mellan SKB och SSM där resultat från platsundersökning, teknikutveckling, strålsäkerhetsanalyser m.m. presenterades. Dessa möten var värdefulla för processen och gav SSM, och andra aktörer, en ökad möjlighet att följa SKB:s arbete. SSM konstaterar att SKB under den kommande Fud-perioden avser inleda MKB-samråd med bl.a. berörda myndigheter och de kommuner som hittills identifierats för det planerade lokaliseringsarbetet. Detta är ett omfattande arbete som behöver involvera många parter.

SSM ser positivt på att SKB inleder de formella samråden gällande SFL och i ett tidigt skede diskuterar tekniska lösningar. SSM anser att SKB bör säkerställa att det formella samrådet har en tillräcklig bredd både i fråga om teknisk utformning av förvarsdelarna och rörande lokaliseringen av anläggningen, detta gäller inte minst frågan om vilka kommuner som ska ingå i samrådet. SSM avser att fortsatt upprätthålla dialogen med SKB i anslutning till SKB:s samrådsprocess för SFL, i syfte att följa utvecklingen och tydliggöra krav och förväntningar inför ansökan.

### **5.3 SSM:s samlade bedömning**

SSM bedömer att SKB:s fortsatta utvecklingsarbete behöver säkerställa att eventuellt erforderliga förbättringar avseende slutförvarets skyddsförmåga ryms inom det grundkoncept som säkerhetsvärderingen baseras på.

SSM är positiv till den återkoppling på avfallets karaktärisering som säkerhetsvärderingen för SFL ger. Det kan dock inte uteslutas att det finns andra kritiska radionuklider än de identifierade som är av betydelse för den långsiktiga strålsäkerheten. Detta gäller inte minst för förvarsdelen BHA där utvärderingen utgår från en intakt bentonitbarriär över hela analysperioden. SSM anser därför att det är angeläget att analysen utvecklas som ett underlag för att ta fram utvecklade riktlinjer för avfallets karaktärisering och att arbetet



med att ta fram acceptanskriterier för det långlivade avfallets konditionering utvecklas. SSM bedömer därför att översynen av den tekniska utformningen behöver prioriteras.

SSM anser att den långsiktiga strålsäkerheten ska vara vägledande för lokaliseringen. SKB behöver utveckla de framtagna lokaliseringsfaktorerna av betydelse för den långsiktiga strålsäkerheten och inom ramen för detta tydliggöra vad som är *krav* på en plats och vad som är *önskemål*.

## 6 Det låg- och medelaktiva avfallet

### 6.1 Processförståelse

SKB redogör i inledningsvis i avsnitt 7.1 för att planerad forskning och utveckling under kommande Fud-period fokuserar på två huvudområden, dels sorption av radionuklider som är en av de viktigaste processerna som fördröjer utsläppet av radionuklider från förvaret, dels gasproduktion/svällning som kan leda till att barriärer i slutförvaret skadas.

#### 6.1.1 Sorptionspåverkan hos nedbrytningsprodukter från cellulosa, filterhjälpmedel och cementtillsatsmedel

##### *SKB:s redovisning*

SKB redogör i avsnitt 7.1 för att cellulosa i avfallet i SFR under alkaliska förhållanden kan brytas ner till isosackarinsyra (ISA) och att nedbrytningsmekanism av för detta är väl känd. SKB anger vidare att kunskapen om hur närvaron av ISA påverkar plutoniums förmåga att sorbera till cementmineral varit begränsad, och att SKB i säkerhetsanalyser för SFR valt att använda en pessimistisk ansatt sorptionsreduktionsfaktor för Pu(III)/Pu(IV).

SKB redovisar vidare att den studie som SKB startade 2014 för att få bättre kunskap om processerna har slutförts, och att resultaten stöder användning av en mindre pessimistisk sorptionsreduktionsfaktor i kommande säkerhetsanalyser.

SKB planerar inga ytterligare studier avseende plutonium-ISA-systemet utan och anger att man kommer att följa kunskapsläget och justera både sorptionsfaktorer och sorptionsreduktionsfaktorer om ny kunskap visar att en sådan justering är nödvändig.

I avsnitt 7.2 redogör SKB för att filterhjälpmedlet som består av polyakrylonitril (PAN) ofta förekommer i driftavfall från kärnkraftverken, och att polymerstrukturen under alkalina till hyperalkalina förhållanden bryts ned och bildar lättlösliga föreningar. SKB redovisar att utfallet från den senaste genomförda studien avseende påverkan på Ni(II) och Eu(III) under förvarslika förhållanden, visade att sorptionen av Eu(III) påverkades och att lösligheten av Ni(II) ökade vid närvaron av nedbrytningsprodukter.

SKB anger att ytterligare studier av filterhjälpmedel planeras inom ramen för EU-finansierat delprojekt inom EURAD benämnt Cori (Cement Organics Radionuclide Interaction) som förväntas starta 2019 och pågå i fyra år. SKB planerar att studera nedbrytningsprodukter av PAN påverkar sorptionen av Ni(II), Eu(III) och aktinider(IV).

SKB redogör i avsnitt 7.3 för att stora mängder betong kommer att användas som konstruktionsmaterial i SFR-utbyggnaden och i det framtida SFL. SKB redogör vidare för att bentongtillsatsmedel såsom superplasticerare kommer att behöva användas för att betongen ska erhålla lämpliga egenskaper. Tillsatsmedlen består av bland annat organiska polymerer som kan komma att brytas ned under de förhållanden som kommer att råda i förvaret efter förslutning och vid nedbrytning bilda lättlösliga organiska föreningar.

SKB anger också att de studier som startades under 2016 har avslutats och resultaten visade att strukturen för den studerade superplasticeraren innefattade en organofosfatdel. I studierna bestämdes hastighetskonstanten för nedbrytningen och frigörelsen av fosfat. Den studerade superplasticeraren visade sig öka lösligheten av fasta faser bestående av både Ni(II) och Eu(III).

SKB redovisar vidare att tillverkare av betongtillsatsmedel inte öppet redovisar sammansättningen vilket begränsar möjligheterna att på förhand utreda vad möjliga tillsatsmedel innehåller. Utfallet från SKB:s studie visade att superplasticerarna hydrolyserades relativt snabbt i den experimentella miljön, vilket kan tas som en indikation på att gälla i SFR och SFL om miljön är likvärdig. SKB redovisar också att utfallet från genomförda på uppdrag av brittiska Nuclear Decommissioning Authority (NDA 2015) som visar att superplasticerare inte påverkar sorptionen av radionuklider.

SKB redovisar att man i nuläget inte planerar att fortsätta studera påverkan av superplasticerare på sorptionen av radionuklider men att man fortsättningsvis ska följa kunskapsläget. SKB anger också att det är viktigt att SKB tar ställning till den superplasticerare som betongentreprenören har tänkt använda så att dess lämplighet kan bedömas i god tid innan byggstart.

#### ***Remissinstansernas synpunkter***

Enligt *Kunliga Vetenskapsakademien (KVA)* kan humus- och fulvosyror av naturligt ursprung vara starka komplexbildare som bildar lättlösliga metallkomplex vid höga pH (cementmiljö), då både karboxyl- och hydroxygrupper är aktiva. KVA påtalar att här kan likheter finnas med ISA. KVA anser att möjlig effekt av naturliga humusämnen på radionuklidens löslighet bör beaktas, eller avfärdas efter utredning.

#### ***SSM:s bedömning***

SSM konstaterar att det har skett en framdrift i de studier som har startats gällande Pu-ISA-cement systemet och att de genomförda studierna resulterade data med det syfte som önskats. Det bör dock betonas att osäkerheter kring sorption inte bara avser inverkan av komplexbildare.

SSM avser att följa hur resultaten från studierna omsätts i praktiken inom ramen för granskningar av kommande säkerhetsanalyser. SSM anser att SKB bör verka för att sorptionsforskninguppmärksammas i ett nationellt perspektiv, med avseende på koppling till SFR och SFL, med syfte att komplettera existerande kunskap samt underbygga och utveckla förståelse av specifika sorptionsmekanismer bl.a. av betydelse för hantering av osäkerheter i indata. Vid utformning av dessa studier bör frågor orienteras mot särskilt relevanta frågor inom SKB:s befintliga och planerade förvar, så som insamling och bearbetning av data för att upprätthålla och uppdatera tillräckligt heltäckande databaser för att motsvara säkerhetsanalysens behov etc. Det är långsiktigt av betydelse för SKB:s projekt är att kapacitet, kunskap och utrustning för att genomföra utredningar och experiment med avseende på sorption upprätthålls inom landet bl.a. för att tillgodose behov i samband med licensiering och drift av SFR och SFL.

Vid granskningen av Fud-program 2016 lyfte SSM fram att det var av vikt att projektet Cori genomförs. Vidare vill SSM lyfta fram att den återkoppling som har getts inom ramen för granskningarna SR-PSU och SFL studien bör kunna utgöra underlag för

prioriteringar över vilka studier som är nödvändiga för de förhållanden som behövs för SFR och SFL.

För de studier som SKB pekar på när det gäller sorptionspåverkan hos nedbrytningsprodukter från cementtillsatsmedel så saknas det i redovisningen hur dessa resultat har sammanställts och var de har producerats. Det framgår att de studier som SKB startade under 2016 har avslutats.

Delen som SKB lyfter fram kring att innehåll av betongtillsatsmedel inte generellt är känt eftersom företagen som tillverkar dessa inte redovisar sammansättningen ser SSM som en utmaning och SSM instämmer i att det är en begränsning att inte SKB kan få tillgång till all information på förhand pga. kommersiell sekretess. SKB behöver dock en strategi för att hantera detta problem eftersom det inte går att tillföra betongtillsatsmedel till ett slutförvar utan att ha kännedom om och beakta deras eventuella inverkan på slutförvarets säkerhetsfunktioner. SSM konstaterar vidare att även inom detta område så baseras SKB:s information till stor del på andra länders kärnavfallsorganisationer så som NDA. Även om detta är positivt ur resursutnyttjandesynpunkt, så behöver andra länders insatser kompletteras för att säkerställa tillgång till kompetens och för att SKB:s särskilda informationsbehov kan tillgodoses.

## 6.1.2 Gasbildning från korrosion av aluminium och zink

### ***SKB:s redovisning***

SKB redogör i avsnitt 7.1.4 för att anaerob korrosion av aluminium och zink i avfallet i SFR kan bilda stora mängder vätgas under kort tid och bygga upp ett övertryck och att betongkonstruktionerna som omsluter avfallet kan skadas om inte gasen kan ledas ut. SKB anger att det därför är viktigt att förstå korrosionsprocessen samt att kvantifiera korrosionshastigheten för zink och aluminium i slutförvarsmiljö.

SKB redogör vidare översiktligt för utfallet av experimentella studier av korrosion av aluminium och zink ingjutet i betong och utsatt för syrgasfritt grundvatten som genomförts tillsammans med forskare på KTH. Preliminära resultat från försöken visar att korrosionen initialt är snabb, omkring 50  $\mu\text{m}/\text{år}$  för zink och 1 mm/år för aluminium, men att korrosionshastigheten sedan avtar. För zink sjunker korrosionshastigheten till en mycket låg nivå, ungefär 1  $\mu\text{m}/\text{år}$  efter 104 veckor, medan uppskattningen för aluminium är runt 100  $\mu\text{m}/\text{år}$  efter 104 veckor. I fallet aluminium bildas också ett tomrum kring metallprovet i samband med den initiala korrosionen, och dess orsak tillskrivs preliminärt vätgasutvecklingen.

SKB planerar inga ytterligare studier av anaerob korrosion av aluminium och zink. SKB anger att genomförda försök, samt studier som finns publicerade (Fujiwara m. fl., 2017), ger tillräcklig information för att korrosion av aluminium och zink ska kunna beskrivas i framtida säkerhetsanalyser.

### ***SSM:s bedömning***

SSM konstaterade i sin granskning av Fud-program 2016 att forskningsprojektet som SKB initierat tillsammans med KTH är ändamålsenligt. Det är positivt att preliminära resultat nu finns framme, även om SKB inte specificerat några referenser från försöken med zink

och aluminium. SSM förstår att detta beror på att studien som har initierats är i sin slutfas och det återstår därför för SKB att i kommande Fud-redovisning ange hur dessa resultat har redovisats.

### 6.1.3 Mikrobiell gasproduktion

#### ***SKB:s redovisning***

SKB redogör i avsnitt 7.1.5 för att mikrobiell nedbrytning av organiskt material i ett slutförvar kan bidra till bildning av metangas. SKB anger att det är därför viktigt att förstå vilka förhållanden man bör eftersträva i SFR för att begränsa gasproduktion till följd av mikrobiell nedbrytning.

SKB redogör för att studierna inom EU-projektet Mind främst har fokuserat på andra mikrobiella processer än gasproduktion. SKB redogör också för att frågan delvis har belysts i en studie av Small m. fl. (2017) där gasproduktion (mestadels metan) vid nedbrytning av lågaktivt avfall innehållande cellulosa har studerats. SKB anger att resultaten från genomförd studie av Small m. fl. visar en fördubbling av gasproduktionsraten i samband med att pH i det omgivande vattnet sjunker under 9.

Vidare redogörs för att SKB har genomfört egna studier av mikrobiell produktion av metan. Studien visar att det finns metanogener i grundvattnet i Forsmarkområdet, att de arter som förekommer kan bilda metan från nedbrytning av organiska material, och att dessa metanogener endast är aktiva upp till ett pH strax över 10 (SKB R-18-08).

SKB redovisar att man i nuläget inte planerar för att genomföra några egna studier inom området, men man kommer fortsättningsvis att följa kunskapsläget.

#### ***SSM:s bedömning***

Vid granskning av Fud-program 2016 angav SSM att SKB i Fud-program 2019 förväntades att redovisa utfallet och de övergripande slutsatserna från EU-projektet Mind. SKB förväntades även beskriva hur och i vilket avseende resultaten är tillämpliga i SKB:s arbete. Projektet har dock i huvudsak berört andra frågeställningar än de som SKB beskrev i Fud-program 2016, men SKB lyfter fram andra studier som är mera specifikt inriktade mot mikrobiell gasproduktion varav en har genomförts av SKB (SKB R-18-08). SSM bedömer att dessa studier åtminstone för närvarande bör tillgodose SKB:s behov, men det hade varit värdefullt med en utförligare beskrivning över hur studierna är tillämpliga i SKB:s arbete. Hur dessa och eventuellt tillkommande resultat kommer att hanteras i kommande säkerhetsanalyser är sådan information som bör ingå i fortsatta SKB:s redovisning.

### 6.1.4 Svällning av jonbytarmassor

#### ***SKB:s redovisning***

SKB redogör i avsnitt 7.1.6 för att svällande avfall kan påverka betongbarriärers integritet och därmed påverka uttransporten av radionuklider från SFR. Experiment vid Äspö-laboratoriet har fokuserats på svällning av en bitumensolidifierad avfallsform. Resultaten

visade att bitumenmatrisen inte är tillräckligt tät för att förhindra att jonbyttarmassan sväller.

Andra försök med okonditionerad jonbyttarmassa har också genomförts för att kvantifiera svälltrycket när massan återmätts med vatten. SKB anger att dessa försök inte är helt representativa för den faktiska avfallsformen. SKB planerar därför genomföra fortsatta försök som är mera representativa för det konditionerade avfallet, men där återmättnad sker tillräckligt snabbt för att kunna erhålla tillförlitliga resultat inom rimlig tid.

### ***SSM:s bedömning***

SSM konstaterar att förståelsen för svällning av jonbyttarmassor är en fortsatt aktuell fråga av stor betydelse för strålsäkerheten.

SSM ställde sig i granskningen av Fud-program 2016 positiv till de försök som SKB avsåg genomföras i Äspölaboratoriet som enligt redovisningen syftade till att utvärdera flera frågeställningar, dels svällningen av det bitumenkonditionerade avfallet, dels lakningshastigheten från en bitumenkonditionerad avfallsmatris. SSM efterlyste en tydlig lägesrapport av genomförandet av planerade experiment i Fud-program 2019. SSM kan konstatera att SKB:s inte redovisat den efterfrågande lägesrapporten av de genomförda experimenten vid Äspölaboratoriet.

SSM bedömer att det är bra att SKB avser att genomföra försök för att mäta svälltryck som är representativa för det konditionerade avfallet under slutförvarsförhållanden. SSM konstaterar att frågor om svällning är aktuella i tillsynen av SFR och kommer att vara aktuella också i samband med planerad utbyggnad av anläggningen, samt att anläggnings-specifika frågor lämpligen hanteras inom ramen för tillsynen av verksamheterna.

SSM ser fram emot återrapportering i nästkommande Fud-program av den försöksverksamhet som SKB planerar att genomföra under kommande Fud-period.

## **6.2 Nuklidinventarium**

### ***SKB:s redovisning***

SKB redogör för det arbete som bedrivs rörande radionuklidinventarier i tre olika avsnitt, dels referensinventarium, dels metodikutveckling för svärmätbara nuklider, och dels osäkerheter i radionuklidinventariet. För varje område beskrivs både nuläge och det fortsatta programmet.

För referensinventariet anges att ett uppdaterat inventarium har tagits fram som underlag till PSAR för ett utbyggt SFR. För rivningsfallet har man inlett en dialog för att samordna och utveckla system för att ta fram och hantera information från den radiologiska kartläggningen av anläggningarna inför nedmontering och rivning. För det långlivade avfallet från kärnkraftverken kommer SKB att bevaka resultaten från provtagning och analys.

För det långlivade historiska avfallet konstaterar SKB att det kvarstår betydande osäkerheter kring avfallets innehåll av material och radionuklider. SKB kommer även fortsättningsvis att bevaka AB Svafos planer för hantering och karakterisering av avfallet.

För att bättre uppskatta inventariet av svärmätbara nuklider har SKB kompletterat beräkningar som avser processvattnet med beräkningar som avser frigjord aktivitet i

samband med systemdekontamineringar. SKB har även uppdaterat modellen för att bestämma inventariet av Cs-135, Mo-93, I-129 och Tc-99. Arbetet är ännu inte avslutat. Ett särskilt arbete pågår för att uppdatera modellen för frigörelse och aktivering av molybden i härden på kokvattenreaktorer. Det pågår även arbete med att verifiera beräkningsmodellen för Tc-99 och I-129 genom analyser med ICP-MS liksom gamma-spektrometriska mätningar och elementanalyser av bl.a. Mo-93 av prover insamlade genom integrerad provtagning. SKB arbetar även med att metoderna för att uppskatta osäkerheterna i inventariet i SFR samt metoderna för att tillskriva aktiviteten av svärmätbara nuklider till enskilda avfallskollin i SFR.

SKB kommer att bevaka planeringen av spallationsanläggningen i Lund (ESS) för att fortlöpande kunna ta ställning till möjligheten att slutförvara avfall från drift och avveckling av anläggningen.

### ***SSM:s bedömning***

SSM ser positivt på den ansats som SKB beskriver gällande nuklidspecifika analyser av aktivitetens innehåll i det långlivade avfallet från kärnkraftverken. SSM bedömer att provtagning och analys av prover från interndelarna som planeras för att karaktärisera det långlivade metalliska avfallet från kärnkraftverken kan ge ett viktigt bidrag till framtagandet av ett referensinventarium gällande inducerad aktivitet. Dessa analyser bedöms vara ett betydelsefullt komplement till användningen av det mät- och beräkningsprogram som presenterades i Fud-program 2016.

SSM ser positivt på de redovisade planerna för att förbättra modellerna för att bestämma avfallets innehåll av radioaktiva ämnen som spridits via reaktorvattnet. Denna utveckling av modellen för att koppla uppmätt aktivitetens innehåll gällande svärmätbara nuklider till enskilda avfallskollin är en viktig uppdatering av metodiken.

SSM bedömer utifrån SKB:s redovisning inom ramen för säkerhetsvärderingen av SFL att väsentliga utmaningar föreligger avseende hantering av osäkerheter om det nuklidspecifika innehåll i det s.k. historiska avfallet samt svårigheterna med att förbättra karaktäriseringen av avfallet. Vilka åtgärder som krävs gällande avfallets karaktärisering är dock avhängigt vilka osäkerheter som SKB kan acceptera. SSM bedömer att det är viktigt att SKB etablerar ett effektivt samarbete med AB SVAFO och andra avfallsproducenter på Studsviksområdet i syfte att erhålla en bättre förståelse för det nuklidspecifika innehåll i avfallet, som underlag för fortsatt utveckling av SFL liksom acceptanskriterier för avfallet. SSM bedömer därför att SKB:s ambitionsnivå för den kommande Fud-perioden, beskriven som att bevaka AB SVAFO:s planer för hantering och karaktärisering av det historiska avfallet, inte är tillräcklig. SSM bedömer att SKB aktivt behöver eftersträva ett fördjupat samarbete med AB SVAFO, liksom andra avfallsproducenter på Studsviksområdet, i det avseendet.

## **6.3 Acceptanskriterier för avfall till SFL och det utbyggda SFR**

### ***SKB:s redovisning***

SKB redogör inledningsvis för att acceptanskriterier för avfall ingår i säkerhetsredovisningen (SAR) för respektive slutförvar och att för anläggningar som ännu inte tagits i drift

kommer acceptanskriterier att läggas fast i samband med inlämnandet av en uppdaterad SAR.

SKB redogör också för att det redan finns en betydande mängd långlivat avfall i mellanlager hos avfallsproducenterna, och att ytterligare långlivat avfall kommer att uppstå under fortsatt drift och rivning. SKB anger att det därför behöver tydliggöras hur det långlivade avfallet ska hanteras och karaktäriseras samt vilka krav som ska ställas på avfallet.

SKB konstaterar att det finns motsvarande behov av förtydligade förutsättningar för hur kortlivat rivningsavfall ska hanteras för att de så långt som möjligt ska överensstämma med framtida acceptanskriterier för avfall till det utbyggda SFR.

Utgående från ovanstående slutsatser konstaterar SKB att det finns ett behov av att redovisa preliminära acceptanskriterier för både SFL och det utbyggda SFR. SKB anger i anslutning till detta att i takt med att detaljerna kring förvarens utformning konkretiseras kommer också kravbilderna att kunna preciseras och till slut leda fram till fastställda acceptanskriterier.

SKB redogör för att utfallet från säkerhetsvärderingen för SFL ger viss vägledning kring framtida krav på avfallet. De antaganden om avfallsform och emballage som säkerhetsvärderingen baseras på har utgått från hur avfallet hittills har hanterats. Resultaten från säkerhetsvärderingen kan därför utnyttjas i det fortsatta arbetet för att ge svar på hur nuvarande och tidigare hantering påverkar förutsättningarna för en framtida slutförvaring.

Avseende SFR anger SKB att acceptanskriterier finns fastställda för driftavfall i den befintliga anläggningen och att preliminära acceptanskriterier har tagits fram som underlag för ansökan om utbyggnad av anläggningen. Rivningsavfallet har stora likheter med redan slutförvarat driftsavfall i SFR, och tillkommande förvarsdelar har flera egenskaper gemensamma med motsvarande förvarsutrymmen i den befintliga anläggningen. Många krav som gäller driftavfall i SFR förväntas därför också gälla för rivningsavfall i den utbyggda delen, särskilt avseende det lågaktiva avfallet i containrar till BLA. Därför har acceptanskriterier för avfall de tillkommande bergssalarna 2–5BLA kunnat utvecklas i mer detalj, i jämförelse med annat avfall. Arbetet med att utveckla acceptanskriterier för övriga förvarsdelar (2-BMA, BRT) kommer att bli mer omfattande.

SKB anger att fortsatt utvecklingsarbete med avseende på krav på avfallet kommer att kunna härledas från den senast genomförda analysen av säkerhet efter förslutning för respektive anläggning. För SFL blir utgångspunkten den nyligen genomförda säkerhetsvärderingen medan kravbilderna för det utbyggda SFR kommer att utgå från den analys som görs inför inlämnande av PSAR som underlag för byggstart. SKB anger också att de beräkningsmodeller som tagits fram vid behov kan användas för att genomföra utökade analyser, som kan behöva genomföras för att till exempel precisera gränsvärden för avfallets innehåll och form. Därutöver tillkommer krav kopplade till konstruktionen, transport och hantering under drift, som kommer att utgöra underlag för att ytterligare precisera acceptanskriterier för avfallet.

### ***Remissinstansernas synpunkter***

*Länsstyrelsen Kalmar län* noterar att SKB beskriver att en stor forskningsinsats under den närmast tiden är att karakterisera de olika avfallstyperna och få en bättre kunskap om avfallets innehåll av radionuklider. Länsstyrelsen noterar vidare att det också ska tas fram acceptanskriterier för olika typer av avfall som kommer att slutförvaras i SFR respektive

SFL. Detta genomförs dels för att få kunskap hur lagren tekniskt och säkerhetsmässigt ska utformas men även att kunna ta ställning till hur de olika avfallstyperna behöver behandlas, och slutkonditioneras inför slutförvaring. Fokus läggs på utredning och karakterisering av de olika avfallstyper, så att olika avbördningsvägar kan diskuteras. Länsstyrelsen anser att detta arbete är viktigt, utgör en förutsättning för att komma vidare i processen och även som påtalat ovan en nödvändighet för att kunna göra rimlighetsavvägningar inför vägval och i samband med olika prövningar.

### ***SSM:s bedömning***

SSM har inom ramen för Fud-processen under lång tid pekat på behovet av framtagande av riktlinjer för konditionering och karaktärisering av de långlivade avfallet. Syftet med det efterfrågade underlaget har varit att etablera tydligare förutsättningar och därmed möjliggöra en mer ändamålsenlig hantering av det långlivade driftavfall som successivt uppkommer på kärnkraftverken i samband med moderniseringar. I samband med den nu inledda avvecklingen av ett flertal reaktorer kommer betydande mängder ytterligare långlivat rivningsavfall att produceras. SSM har därför i granskningen av Fud-program 2016 ställt sig positivt till att säkerhetsvärderingen för SFL (SE-SFL) utöver att ge återkoppling i fråga om slutförvarets skyddsförmåga bl.a. också haft som syfte att utgöra ett underlag för framtagande av acceptanskriterier. Fud-program 2019 ger ingen klar bild av status i arbetet med framtagande av acceptanskriterier för slutförvaring av det långlivade avfallet. Det anges att ytterligare krav, bl.a. med avseende på konstruktion, transport och hantering ska härledas, men det framgår inte när och på vilka grunder som detta ska genomföras.

Även transportrelaterade krav behöver adresseras. Om det i framtiden visar sig att konditioneringen av avfallet inte är ändamålsenlig med de krav som SFL ställer kan betydande mängder avfall behöva omkonditioneras. SSM anser att verksamheten från strålskyddssynpunkt ska planeras för att så långt som det är möjligt undvika en omkonditionering.

Sammanfattningsvis konstaterar SSM att det ännu återstår vissa oklarheter kring det långlivade kärnkraftsavfallet och bedömer att det är angeläget att planerna konkretiseras under den kommande Fud-perioden.

För det långlivade avfallet vid Studsviksanläggningarna, och i synnerhet för Svafos historiska avfall, är förutsättningarna delvis annorlunda då stora delar av avfallet redan är förpackat och in- eller kringgjutet med betong. Osäkerheterna kring avfallets innehåll av radioaktiva ämnen, andra miljöstörande ämnen, samt andra ämnen av betydelse för slutförvarets skyddsförmåga, bedöms som betydande. Detta leder till delvis andra förutsättningar för fortsatt hantering av avfallet i jämförelse med hanteringen av kärnkraftverkens långlivade avfall. SSM bedömer att det finns behov av förtydligade riktlinjer från SKB för det arbete som avfallsproducenterna vid anläggningarna i Studsvik planerar att genomföra.

Som nämns ovan konstaterar SSM att den genomförda säkerhetsvärderingen rörande SFL pekar på ett fortsatt utvecklingsbehov av skyddsförmågan för SFL. SSM bedömer att SKB och reaktorinnehavarna inom ramen för detta arbete på ett tydligare sätt behöver ta fasta på behovet att utveckla preliminära acceptanskriterier med utgångspunkt från den planerade hanteringen av avfallet samt konstruktionen av förvaret, och inom ramen för detta klargöra kopplingarna mellan avfallet och förvarets utformning.

SSM bedömer att SKB:s och reaktorinnehavarnas planering vad det gäller det avfall som ska deponeras i det utbyggda SFR har utvecklats. SSM bedömer liksom SKB att den preliminära säkerhetsredovisning som ska redovisas inför uppförandet av de nya förvarsdelarna kan utgöra en lämplig utgångspunkt för att härleda preliminära acceptanskrav för det avfall som ska deponeras i förvarsdelarna 2-5BLA, BRT och 2BMA. SSM delar SKB:s bedömning att det finns bättre förutsättningar för att ta fram acceptanskriterier för det avfall som ska deponeras i förvarsdelarna 2-5BLA, då förvarsdelarna saknar tekniska barriärer att beakta och anpassa avfallet efter. Avfallet (avfallstyp X.12) slutkonditioneras inte heller på ett sådant sätt att en eventuell framtida omkonditionering försvåras.

## 6.4 Avfallsbehållare

### *SKB:s redovisning*

I avsnitt 7.4 beskrivs de ändrade planerna för hanteringen av reaktortankarna från kokvattenreaktorerna och planerna för hanteringen av reaktortankarna från tryckvattenreaktorerna. SKB anger att man i nuläget inte planerar utredningar kopplade till hantering av hela reaktortankar eller större komponenter, men kommer att fortsatt bevaka utvecklingen inom avvecklingsprojektet.

I avsnitt 7.5.1 anges att SKB i fråga om avfall från AB Svafo och Studsvik Nuclear AB har utgått från att avfallet är placerat i kokiller, 200-liters fat eller 280-liters fat. Det har genomförts en förstudie kring en hanteringsanläggning vid AB Svafo, men det har beslutats att ytterligare utredningar görs innan något projekt för konstruktion av en sådan anläggning påbörjas. Behovet av nya avfallsbehållare kommer att ses över i samband med att acceptanskriterierna för det långlivade avfallet och hanteringen av det historiska avfallet konkretiseras.

I avsnitt 7.5.2 beskrivs att SKB har beslutat att avvakta med utvecklingen av fyrkokill och i stället gå vidare med tvåkokill. SKB har inget program för utveckling av nya avfallsbehållare för rivningsavfall, men kommer att löpande bevaka frågan inom pågående eller framtida avvecklingsprojekt.

### *SSM:s bedömning*

Utformningen av såväl BRT som 2BMA ändrades inom ramen för tillståndsprövningen av utbyggnaden av SFR. SSM bedömde att det var positivt att SKB var öppna för en översyn av den föreslagna konstruktionen och hanteringen. Ändringarna innebär samtidigt att delar av utvecklingsarbetet behöver justeras samt ändrade förutsättningar för avvecklingsarbetet. SSM bedömer dock att redovisningen i Fud-program 2019 indikerar en oklar ansvarsfördelning gällande framtagande av acceptanskriterier för det kort- och långlivade avfallet från kärnkraftverken. SKB anger att man löpande bevakar avvecklingsprojektet. Eftersom kraven enligt 10 och 12 §§ kärntekniklagen ytterst faller på reaktorinnehavarna anser SSM att redovisningen borde ha fokuserat på det utvecklingsarbete som planeras, oavsett om detta bedrivs i regi av SKB eller reaktorinnehavarna. Redovisningen är vidare oklar om avfallsbehållarna avses användas i såväl BRT som 2BMA. SSM avser att fortsatt följa frågan inom ramen för tillsynen.



SSM uppfattar att skrivningarna i avsnitt 7.5.2 syftar till det kortlivade rivningsavfallet och att redovisningen således inte adresserar avfallsbehållare för det långlivade avfallet från avvecklingen av kärnkraftverken.

## 6.5 SSM:s samlade bedömning

SSM bedömer att SKB:s generella inriktning på sin forskningsverksamhet med fördjupningar inom problematiken kring sorption, organiska komplexbildare, gaspåverkan, korrosionsprocesser och mikrobiella processer, är ändamålsenlig. SSM bedömer vidare att en prioriterad fråga för SKB inom kommande Fud-period bör vara att på ett tydligt sätt kravställa de eventuella tillsatsmedel som behövs i betongen vid kommande byggnation.

SSM ser positivt på den ansats som SKB beskriver i syfte att förbättra den nuklidspecifika karaktäriseringen av det långlivade avfallet från kärnkraftverken. SSM bedömer att det redovisade programmet gällande det långlivade avfallet från verksamheterna i Studsviksområdet behöver utvecklas. Givet de utmaningar som föreligger bedömer SSM att det behövs ett nära samarbete mellan SKB och avfallsproducenterna.

SSM bedömer, liksom tidigare, att det är angeläget att tydliga, om än preliminära acceptanskriterier för det långlivade avfallet utvecklas.

Även för den planerade utbyggnaden av SFR behöver acceptanskriterier utvecklas. I avvaktan på sådana kriterier bedömer SSM att utgångspunkten bör vara att inte konditionera avfall på ett icke-reversibelt sätt.

SSM bedömer vidare att den återkoppling som erhållits inom ramen för myndighetens granskning av säkerhetsanalysen inom ramen för tillståndsprövningen av ett utbyggt SFR bör utgöra ett viktigt underlag för att underbygga SKB:s prioritering av fortsatta forsknings- och utvecklingsinsatser för både SFR och SFL.

SSM bedömer också att utfallet från SKB:s genomförda säkerhetsvärdering för SFL på motsvarande sätt bör utgöra ett viktigt underlag för prioritering av fortsatta forsknings- och utvecklingsinsatser.

## 7 Omhändertagande av använt bränsle

SSM kommenterar i detta kapitel samlat redovisningen avseende omhändertagande av använt kärnbränsle i Fud-program 2019. Bedömningarna avser SKB:s redovisningar om genomförandeplan för använt kärnbränsle i avsnitt 3.4, handlingsalternativ vid förändrade förutsättningar i avsnitt 3.7.5 (Idrifttagning av Kärnbränsleförvar och Clink), fortsatt forskning och utveckling i avsnitt 4.1.3 (Kärnbränsleförvar och Clink), processförståelse, bränsleintegritet, bränslekaraktärisering och bränsleinformation samt kriticitet, strålning och kärnämneskontroll i avsnitt 4.3 (Använt kärnbränsle) samt kapitel 8 (Använt kärnbränsle).

### 7.1 Genomförandeplan för använt kärnbränsle

SSM redovisar i detta avsnitt synpunkter på avsnitt 3.4 *Genomförande plan för använt kärnbränsle*, Fud-program 2019 och kompletterar de mer övergripande synpunkter som lämnas i kapitel 3 i denna rapport.

#### ***SKB:s redovisning***

SKB redovisar i avsnitt 3.4 genomförandeplanen för omhändertagande och slutförvaring av det använda kärnbränslet utgående från den översiktliga tidsplan med viktiga milstolpar för genomförandet som redovisas i Figur 3-12 i Fud-program 2019.

SKB redogör i avsnitt 3.4.1 för nuläget i pågående verksamheter kopplat till tillståndsprovningar samt planering och projektering för att etablera återstående verksamheter i KBS-3-systemet, det vill säga den integrerade mellanlagrings- och inkapslingsanläggningen i Oskarshamn och slutförvarsanläggningen för kärnbränsle i Forsmark.

I Fud-program 2019 redovisas översiktliga tidsplaner för KBS-3-systemets olika anläggningar. Av redovisningen framgår att Clink är planerad att tas i drift 2031 och drivas till år 2066 (figur 3.11 avsnitt 3.4 i Fud-program 2019). Fud-program 2019 beskriver handlingsalternativ vid förändrade förutsättningar. I avsnitt 3.7.5 beskriver SKB vilka möjligheter det finns att öka inlagringen av bränsle i Clab om det skulle uppstå förseningar i tillståndsprovning och idrifttagandet av Kärnbränsleförvaret och Clink. Om endast bränsle, och inga hårdkomponenter, lagras i Clab kommer lagringspositionerna att räcka till cirka 2043. Om det skulle visa sig nödvändigt att utöka mellanlagringskapaciteten för bränslet utöver det som ryms i befintliga förvaringsbassänger så finns två alternativa lagringsmetoder, våt respektive torr förvaring.

SKB har till följd av kommentarer från SSM i granskningen av Fud-program 2016 förtydligat att genomförandeplanen inkluderar teknikutveckling för att möjliggöra återtag av deponerade kapslar (avsnitt 4.1.3 i Fud-program 2019). SKB:s identifierade behov omfattar teknikutveckling för deponeringsmaskin och praktiska metoder för att hantera bentonitblock som delvis har börjat vattenmättas.

#### ***Remissinstansernas synpunkter***

Luleå Tekniska Universitet (LTU) konstaterar att kärnbränsleförvarets stabilitet gäller kapslarnas korrosion och närfältbergets hållfasthet, varav SKB, som framgår av Fud-program 2019, numera räknar in kapselkorrosion i berg med betydande elektriska

potentialskillnader, särskilt i Forsmark, som en relevant risk som definierades i LTU:s remissvar avseende Fud-program 2016. När det gäller närfältbergets hållfasthet kvarstår LTU:s kritik i det sistnämnda programmet att det fattas resultat från spänningsberäkningar och värdering av brottrisen för värmegenererad ”spalling” och bristning av deponeringshålen i det tidiga skedet innan pellettillfyllningen vattenmättats och hunnit bygga upp ett uniformt stabiliserande mottryck, en process som kan ta flera hundra år. LTU menar att risken för bristning och därav betingad ökning av hydrauliska konduktiviteten hos närfältberget gäller för närfältberget i Forsmark där bergspänningarna är högre än i Laxemarberget, medan de lägre bergspänningarna där orsakar högre hydraulisk konduktivitet än i Forsmark (sid 155 i Fud-program 2019). LTU anser att jämförelse mellan de båda platsalternativen för använt kärnbränsle och långlivat avfall därför skulle kunna utfalla till Laxemarbergets fördel och det gör också den obefintliga risken för kapselkorrosion eftersom så höga elektriska potentialer som verkar i Forsmark saknas i Laxemar. LTU anser att en annan fördel med kärnbränsleförvarets placering i det sistnämnda berget är att risken för bristningar i närfältberget orsakad av bergspänningar är lägre än i Forsmark. LTU menar att om bristning under höga tangentialspänningar äger rum kan det i närfältberget skapas snabba vägar för radioaktivt kontaminerat vattenflöde utmed hålväggarna upp till tunnelåterfyllningen och vidare via sprickzoner i berget med möjlig risk för erosion och permanentning av flödesvägarna.

LTU konstaterar att Fud-program 2019 inte beskriver någon konceptutveckling av den typ som nämnts i LTU:s yttrande över Fud-program 2016, d.v.s. undersökning av hur snedställda deponeringshål, beskrivna i LTU:s remissvar gällande detta program, och ändring av hålen inbördes avstånd, skulle falla ut säkerhetsmässigt och påverka förfarandet vid kapseldeponering. Den sistnämnda frågan rör, enligt LTU, möjligheten att deponera ”supercontainers” i smektitmod innehållande kapslar åtskilda av lerblock, något som avsevärt skulle förbättra säkerheten och enkelheten vid installering av kapslar och lerblock i hålen. LTU anser för övrigt att en sådan konceptändring skulle sänka temperaturen hos kapslarna och lerblocken genom mindre överlappning av temperaturflödena från närliggande hål, vilket vore gynnsamt för livslängden hos lermaterialet och därmed för totala säkerheten hos avfallssystemet. Det är LTU:s uppfattning att den av SKB föreslagna metoden för KBS-3 konceptet att anbringa lös lerpellettfyllning genom att låta den strömma in i spalten mellan den högaktiva kapseln och den fuktiga bergväggen i deponeringshålen är opraktisk och olämplig eftersom den måste utföras ”remote”, innebärande strålningsrisk för arbetsstyrkan, och att den inte har bevisats ge tillräckligt hög mikrostrukturell homogenitet. LTU anser att ett lämpligare förfarande, som föreslagits för SKB, vore att öka spaltvidden vid bergväggen och minska den vid kapseln, något som här föreslås ske vid fortsatta försök i fält. Vinsten vore enligt LTU att lerpellettfyllningens homogenitet och densitet kommer att öka, något som förbättrar buffertens tätningsfunktion och erosionsmotstånd och ökar dess långtidsstabilitet.

### ***SSM:s bedömning***

SSM bedömer att SKB förtydligat de åtgärder som relaterar till den stegvisa utvecklingen och prövningen av ökad lagringskapacitet i Clab till 11 000 ton i Fud-programmet 2019 jämfört med föregående redovisning.

SSM bedömer att SKB på ett tillfredställande sätt har redogjort för förutsättningarna att lagra in mer bränsle i Clab och vilken flexibilitet som finns i systemet. Redovisningen av planerna för utvecklingen av de anläggningar som ingår i systemet för omhändertagande

av använt kärnbränsle har dock inte adresserat frågan om att planeringen för Clab medför att de delar av den befintliga anläggningen Clab som är uppförda på 1980-talet behöver klara långtidsdrift. Clab, som uppfördes kring år 1983-84, dimensionerades för en driftperiod på 60 år vilket medför att ej utbytbara byggnadskonstruktioner i mottagningshall, bränslehiss och förvaringsdel kommer att övergå i så kallad långtidsdrift från och med år 2044 (SSM2016-5595-5, SSM2013-3985-13). Dessa anläggningsdelar ingår i den integrerade anläggningen Clink för vilken det presenteras planer att anläggningen ska vara i drift till 2066 och därefter avvecklas fram till 2074.

SKB behöver planera för att utvärdera hur anläggningens icke utbytbara delar förväntas klara av att drivas efter år 2043 i syfte att ge beslutsunderlag för eventuella tillkommande åtgärder för systemet för omhändertagande av använt kärnbränsle. I sammanhanget kan det noteras att SSM:s föreskrifter innefattar bestämmelser om ett program för att systematiskt identifiera och hantera åldringsrelaterade försämringar och fenomen vilket kan följas upp i SSM:s tillsyn. SSM anser dock att det är en fråga för Fud-redovisningen, snarare än en tillsynsfråga, att övervaka vilka alternativa planer som finns för mellanlagring och hantering av bränsle i händelser att de äldsta anläggningsdelarna i Clab inte kan visas klara en långtidsdrift mellan åren 2043 och 2066. SKB behöver därför i kommande Fud-program tydliggöra hur information inhämtas om status på anläggningen Clab så att industrin i god tid kan planera för alternativa sätt att mellanlagra och hantera använt kärnbränsle.

SSM ser positivt på att SKB förtydligat genomförandeplanerna vad gäller metod- och teknikutveckling för att möjliggöra för återtag av deponerade kapslar, men noterar att de utvecklingsbehov som identifierats är avgränsade till anläggningen kärnbränsleförvaret. SSM förväntar sig att SKB till nästkommande Fud-program förtydligar och fördjupar beskrivningen av hur Clink och transportsystemet ska hantera kapslar med använt kärnbränsle som återtas och vilka typer av fel och defekter som systemet ska kunna hantera vid ett återtag.

## 7.2 Använt kärnbränsle

SSM redovisar i detta avsnitt synpunkter på kapitel 8 i Fud-program 2019 som avhandlar använt kärnbränsle. SSM:s kommentarer på avsnittet om kärnämneskontroll (8.7 i Fud-program 2019) redovisas dock separat i kapitel 9 i föreliggande granskningsrapport.

### 7.2.1 Icke-reguljära kärnbränslen och bränsleintegritet

#### *SKB:s redovisning*

Med icke-reguljärt bränsle avses bland annat bränsle från Ågestareaktorn, bränslerester från provningsprogram i Studsvik, Mox-bränsle samt skadat bränsle. SKB:s redovisning i Fud-program 2019 innehåller i huvudsak information om de pågående aktiviteterna för att ta hand om kärnbränsle som är skadat, till exempel bränsle som fått en skada under drift, som har en svaghet i konstruktionen eller som noterats skadat i Clab.

SKB har tillsammans med kärnkraftverken arbetat aktivt med att utveckla metoder för att ta omhand kärnbränsle som har skadats. Två metoder håller på att utvecklas; Quiver som

kan användas vid kärnkraftverken samt Studsviksmetoden som används vid Studsvik. Båda metoderna innebär en extra inkapsling av det skadade kärnbränslet och beskrivs övergripande i SKB:s redovisning. Utvecklingen av dessa metoder görs för att visa att behållarna är gas- och vattentäta och bränslet däri torrt. SSM har under 2018-2019 granskat en anmälan från SKB om införande av nya bränsletyper BWR Quiver och PWR Quiver och bedömt att alla granskade krav har uppfyllts (SSM2019-28-5).

Under kommande Fud-period kommer SKB att arbeta vidare med det skadade kärnbränslet i Clab, följa forskning och ha erfarenhetsutbyte om bassäng- och torrförvaring av bränsle samt göra en förnyad åldringsanalys av kärnbränsle i mellanlagring.

Som en del av omvärldsbevakning av de senaste rönen avseende bränsleintegritet i bassängmiljö och torr hantering av bränsle, är SKB med i OECD/NEA-projektet Scip III (Studsvik Cladding Integrity Project, fas III) och kommer också delta i nästa fas av projektet, Scip IV, som innehåller mer av backend-frågor än tidigare Scip-projekt.

### ***SSM:s bedömning***

SKB:s redovisning om fortsatt arbete med omhändertagande av skadat bränsle samt deltagande i forskningsprojekt bedömer SSM som rimligt ändamålsenliga.

Det bör noteras att SKB:s redovisning i detta Fud-program inte innehåller information om vad SKB gör med avseende på utveckling av omhändertagande av bränsle från Ågesta-reaktorn eller Mox-bränslet som finns i Clab. Detta kan bero på att detta bränsle har utretts i tidigare Fud-program och att SKB inte bedömer att kunskapen behöver utvecklas för närvarande. SSM vill dock i generell mening betona vikten av att hålla tidigare erhållen kunskap levande för att kunna hantera detta kärnbränsle korrekt och kunna notera tidiga tecken på eventuell degradering av dessa. För redovisningens skull vore det värdefullt om SKB i kommande Fud-program kortfattat informerade om nuläget med avseende på alla de icke-reguljära kärnbränslena.

## **7.2.2 Bränslekaraktärisering, resteffekt och strålning**

### ***SKB:s redovisning***

SKB beskriver övergripande i avsnitt 4.3.2 *Bränsleintegritet, bränslekaraktärisering och bränsleinformation* och avsnitt 4.3.3 *Kriticitet, strålning och kärnämneskontroll* kring planerade utvecklingsarbeten innefattande:

- sammanställning av information om bränslets egenskaper,
- beräkning av resteffekt på Clab,
- utveckling av metod för mätning av resteffekt inför kommande konstruktion av utrustning i Clink och säkerställa tillräcklig kunskap om bränslenas resteffekt inför den fortsatta hanteringen,
- framtagande av strategi för att hantera bränsleknippen som inte möter utbränningskraven, samt
- hantering och analys av icke-reguljära bränslen (skadat bränsle och bränslerester).

SKB redovisar mer ingående kring planerade forsknings- och teknikutvecklingsinstaser i avsnitt 8.4. Det använda bränslet alstrar värme även efter att det tagits ur reaktorn, denna

resteffekt gör att bränslet kräver kylning för att inte överhettas i bassängerna i Clab. I samband med utvärdering av kärnbränslets resteffekt är det fördelaktigt att även utvärdera flera parametrar och SKB utvecklar metoder för att kunna göra mätningar och beräkningar kombinerat på ett tillförlitligt och effektivt sätt. Tillämpningen för detta är ur flera perspektiv; kylning, källtermer och kärnämneskontroll.

SKB arbetar med både kortsiktiga och långsiktiga projekt. Bland de kortsiktiga noteras att SKB har gjort en översyn över samtliga beräkningar vilket resulterat i en uppdatering av beräkningsalgoritmer för resteffekt som används i databaserna PlutoWeb och Dark. I kommande period kommer denna översyn att fortsätta och beräkningsalgoritmer som används i andra delar inom Clab kommer också att ses över.

SKB tar upp två projekt som är mer långsiktiga, som har pågått i ett par år och som kommer att fortsätta i framtiden:

- Ett projekt med fokus på utveckling av mätningar och beräkningar av bränsleknippens gamma- och neutronstrålning samt resteffekt. Under kommande år planeras fortsatta kalorimetriska-, neutron- och gammamätningar på Clab, samt undersökningar med avseende på strålningskänsligheten och detektorresponser för olika detektorer med tillhörande elektronik. I perioden efter etableras det industriella systemet för användning i Clink med alla relevanta krav implementerade.
- SKB avser att utveckla forskningsområdet strålning. Idag görs mycket arbete om just strålningen, men på olika ställen inom SKB och i olika forskningsområden, och SKB ser ett behov av att förbättra samverkan mellan dessa områden. Bränslets radioaktivitet innebär interaktion mellan strålfältet och de omgivande materialerna såsom tekniska barriärer i ett slutförvar. Effekterna av denna interaktion är viktiga att identifiera och analysera i hela hanteringskedjan, för dimensionering av strålskydd, för förståelse av hur materialegenskaper påverkas, och för att uppskatta deponerad energi och resteffekt. SKB avser att i kommande period ta fram en metodik för beräkning av strållrelaterade parametrar som ska bidra till ökad effektivitet genom samordning och spårbarhet rörande strålnings- och stråldosberäkningar inom olika projekt.

SKB deltar i flera internationella grupper för samarbeten med andra parter, koordinerar ett projekt under Eurad samt genomför ett blindtest i samarbete inom OECD/NEA.

### ***SSM:s bedömning***

Av SKB:s redovisning framgår att organisationen arbetar för att öka kunskapen om, och utveckla metoder för bränslekaraktärisering, sammanställning av information om det använda kärnbränslet samt hanteringsstrategier. Utifrån SKB:s redovisning bedömer SSM att SKB:s planer är ändamålsenliga. SSM bedömer att SKB under den kommande Fud-perioden behöver SKB integrera utvecklingsarbetet med arbetet att utveckla och formalisera acceptanskriterier för kärnbränslet i Clab i enlighet med SSM:s föreskriftskrav och förbereda redovisning av acceptanskriterier för kärnbränslet i Clink respektive Kärnbränsleförvaret inför kommande steg i prövningen.

### 7.2.3 Bränsleinformation och optimering inför inkapsling

#### ***SKB:s redovisning***

För kommande Fud-period ser SKB som en viktig uppgift att säkerställa, sammanställa och bevara den bränsleinformation, som behövs inför hantering och slutförvaring i KBS-3-systemet. SKB redovisar behov av aktiviteter som behöver göras, bland annat; kvalitets-säkra data i SKB:s databaser, samordna SKB:s databaser och utreda osäkerhetspåslag för data med olika detaljeringsgrad. Kvalitetssäkring kommer att göras mot kraftverkens data på ett automatiserat sätt och med möjlighet att koppla olika beräkningsprogram till databasen. Kvalitetssäkrad data kommer att användas till att optimera systemet, att minimera antalet kapslar samtidigt som säkerhetskrav med avseende på resteffekt och kriticitets-säkerhet säkerställs.

#### ***SSM:s bedömning***

SSM anser att SKB:s redovisning avspeglar ett aktivt arbete med att utveckla en kvalitets-säkrad databas som möjliggör ett bevarande av data om kärnbränslet. Dock framgår det inte tydligt hur bränsledata ska bevaras, till exempel i samarbete med det arbete som görs inom SKB för bevarande av information (redovisat i avsnitt 4.12.1 i Fud-program 2019). Givet de antaganden som SKB tagit fasta på som grund för fortsatt verksamhet bedömer SSM att SKB:s planer för kvalitetssäkring av bränsleinformation visar på en utveckling inom området men att en tydligare koppling till SKB:s aktiviteter om bevarande av information vore värdefullt.

### 7.2.4 Kriticitet

#### ***SKB:s redovisning***

SKB:s program avseende kriticitets-säkerhet utvecklar kontinuerligt använd metodik och validerar nya versioner av beräkningsprogram. Både metodik och beräkningsprogram ska vara i enlighet med moderna internationellt accepterade standarder och krav.

Under den senaste perioden har SKB fortsatt förbättra metoden för kriticitetsberäkningar. De har gjort en validering av den nya versionen av datorkoden Scale samt uppdaterat metodiken med att även ha med geometriförändringar. Valideringen av Scale har inkluderat att välja nya fall att validera mot. SKB noterar att det finns en brist på lämpliga experimentella fall i OECD/NEA:s databank, speciellt för kombinationen höga utbränningar och kopparkapselns neutronkaraktäristik. SKB löste detta fall genom att använda ett par andra fall som tillsammans gav ett tillräckligt bra underlag för att uppskatta osäkerheten i Scale-koden.

För kommande Fud-period planerar SKB fortsatt arbete med att uppdatera kriticitets-analyserna;

- för Kärnbränsleförvaret för att ta hänsyn till möjliga geometriförändringar i en kapsel vars integritet har förlorats,
- för Clink på grund av en förändrad anläggningsutformning och ny händelseinventering.

Dessutom planerar SKB att utveckla strategin för vad som kan göras med bränsleelement som inte möter kapselns kriticitetskrav.

### ***SSM:s bedömning***

Ur SKB:s redovisning framgår att SKB upprätthåller kompetens och verktyg för att utföra kriticitetsanalyser. Redovisningen för kommande period innehåller mer analysarbete än utveckling, vilket kan vara berättigat efter perioder med utvecklingsarbete. SSM noterar också att utvecklingsområdena om kriticitetsanalyser med geometriförändringar samt strategi för bränsleelement som inte möter kapselns kriticitetskrav togs upp som utvecklingsområden i Fud-program 2016.

Det är även värdefullt att notera var det finns brister i det experimentella underlaget, detta kan diskuteras vidare i samarbetena inom OECD/NEA för att undersöka om ett gemensamt experiment bör göras.

Givet de antaganden som SKB tagit fasta på som grund för fortsatt verksamhet bedömer SSM att SKB:s planer för kriticitetssäkerhetsarbete är rimligt ändamålsenliga.

## **7.2.5 Bränsleupplösning**

### ***SKB:s redovisning***

Genom finansiering av ett doktorandprojekt (Fidalgo, 2017), har SKB studerat hur strålningsinducerad upplösning av urandioxid påverkas av den fasta fasens egenskaper. Det påvisades att reaktionen mellan syrgas och vätgas vid metalloxidytter,  $ZrO_2$  och  $UO_2$ , bildar väteperoxid, som är en effektivare oxidant än syrgas. Katalytisk sönderdelning av väteperoxid har indikerat bildning av ytbundna hydroxylradikaler. Även experimentella resultat från Kumagai m. fl. (2019) påpekar katalytiskt sönderfall av väteperoxid. I Fidalgos doktorandprojekt påvisades också att Gadolinium-dopad urandioxid minskar urandioxidens redox-reaktivitet. I ett annat SKB-finansierat doktorandprojekt (Bauhn, 2018), har SKB studerat den så kallade vätgaseffekten, d.v.s. hur vätgas kan verka reducerande och på så sätt motverka oxidativ upplösning av bränslematrisen, i system med dominerande alfastrålning. Effekten har studerats i en plutoniumlösning, samt i system med olika typer av urandioxid, och försöken visade att det krävs en yta för att åstadkomma vätgaseffekten där vätgasen kan reagera med ytbundna hydroxylradikaler och bilda en vattenmolekyl och en väteatom. Det är den bildade väteatomen som fungerar som ett reducerande ämne och hindrar oxidativ upplösning av urandioxid.

Succesiv uppbyggnad av vätgas genom syrefri korrosion av järn har också studerats i autoklav, vilket visade att den oxidativa bränsleupplösningen avtog i takt med bildandet av vätgas (Puranen m. fl., 2017).

SKB har studerat lakning av högutbrända bränslen under vätgas som visade försumbar oxidativ upplösning (Puranen m. fl., 2018), vilket kan innebära att en ökning av utbränning inte kommer påverka upplösningen nämnvärt.

Inverkan av urandioxidens stökiometri på upplösningen har studerats (Kumagai m. fl., 2019) och resultaten visar att helt reducerad urandioxid reagerar med väteperoxid mycket snabbare än delvis oxiderad urandioxid.

Upplösning av Uransilicid ( $U_3Si_2$ , förslagen typ av skadetåligt bränsle) har studerats och jämförts med urandioxid (Maier m. fl., 2019). Uransilicid har visat sig reagera snabbare med väteperoxid jämfört med urandioxid. I försök med gammastrålning reagerar urandioxid däremot snabbare.

I EU-projektet Disco pågår forskning kring bränsleupplösning med olika tillsatser som t.ex. krom och aluminium, och även försök med Mox-bränsle. Vanligt bränsle används som referens. Det pågår även lakningsförsök samt olika varianter av kemisk modellering.

Dessutom har SKB studerat den snabbupplösta fraktionen i bränslet, aktiveringsprodukter från korrosion av zircaloy och stål, samt silver-108m från PWR-styrstavar.

EU-projektet First Nuclides har resulterat i två artiklar med fokus på IRF (instant release fraction, d.v.s. snabbupplöst fraktion) från högutbrända bränslen. Projektet har bidraget till förståelse för hur den snabbupplösta fraktionen av jod, cesium och selen korrelerar med bränsleprovens egenskaper och gap- och korngränsinventarium av dessa fissionsprodukter (Kienzler m. fl., 2017, Lemmens m. fl., 2017, Fidalgo m. fl., 2019).

Frigörelse av kol-14 genom korrosion av zircaloy och stål har studerats (Cvetković m. fl., 2018) och det har visats att organiska ämnen så som karboxylsyror bildas vid korrosion av bestrålat stål.

Pågående forskningsuppdrag på Studsvik kommer fortsätta och även avslutas under Fud-perioden, som mångåriga bränslelakningsförsök i hot cell. Liknade försök kommer starta med fokus på dopat bränsle, t. ex. krom och aluminium. En studie med långtidslakning av bränsle i glasampuller kommer fortsätta, och en del av dem kommer öppnas under Fud-perioden. Studier av bitar av skadat bränsle kommer påbörjas på Studsvik, med avseende på oxiderat uran och radionuklidinnehåll.

På KTH och Chalmers kommer pågående doktorandprojekt fortsätta för att öka kunskapen om de processer och mekanismer som reglerar oxidativ upplösning av bränsle.

EU-projektet Disco fortsätter studera matrisupplösning av använt bränsle, främst under reducerande förhållanden (vätgas) men vissa i oxiderande miljö. Dessa experiment ska ge svar på om tillsatser påverkar upplösningskinetiken och resultat förväntas vara tillgängliga under Fud-perioden. SKB konstaterar också att fortsatta analyser behövs för att öka förståelsen om frigörelse (IRF) från korngränser eftersom resultaten från den typen av experiment är svårtolkade.

### ***SSM:s bedömning***

SSM bedömer att SKB:s forskning inom området är ändamålsenlig. SSM ser positivt på att utredningarna täcker in flertalet relevanta aspekter av det komplexa bränsleupplösningområdet. SSM ser positivt på att det pågår doktorandprojekt vid svenska lärosäten, att den infrastruktur som finns i Studsvik utnyttjas och att SKB samtidigt bedriver ett aktivt internationellt arbete.

SSM anser att det är positivt att SKB fortsätter med forskning för att öka kunskapen om processerna och mekanismerna som påverkar bränsleupplösning, som t.ex. vätgaseffekten och katalytisk sönderdelning av väteperoxid. SKB har medframgång genom två doktorandprojekt identifierat rollen av ytkatalytisk sönderdelning av väteperoxid i vätgaseffekten på bränsleupplösning. I SSM:s granskning av tillståndsansökan (SSM,

2018) samt vid bedömning av Fud-programmet 2016 ombads SKB i sitt fortsatta arbete för att förstå mekanismerna t.ex. utreda nivån av bakgrundsgammastrålning i alfadopade kutsar och jämföra denna med den nivå som det använda kärnbränslet har i Kärnbränsleförvaret flera tusen år efter förslutning för att utvärdera strålningens förmåga att aktivera väte. Denna forskning tas inte upp i detta Fud-program, men SSM är medvetna att SKB har studerat detta och att resultaten finns publicerade (SKB R-17-08).

SSM anser att SKB bör sammanställa all tillkommande information sedan tillståndsansökan mot bakgrund möjligheter och begränsningar kopplat till nya resultat från samtliga typer av bränsleupplösningsexperiment. Resultaten behöver värderas från perspektiven vilken information som kan användas för att förbättra en fenomenologisk modellering av bränslets långsiktiga utveckling i en fallerad kapsel, samt hur nya resultat kan bidra till att underbygga vilken eller vilka bränsleupplösningshastigheter som bör tillämpas i framtida uppdaterade konsekvensberäkningar. En betydande ny informationsmängd har tillkommit sedan den i SR-Site utnyttjade bränslemodellen med den generella upplösningshastigheten  $10^{-6}$  andelar per år togs fram (SKB TR-04-19).

SSM noterar att den katalytiska roll som 4d-metaller (Mo-Tc-Ru-Rh-Pd) spelar i vätgaseffekten inte har diskuterats i föreliggande Fud-program. SSM anser att SKB bör jämföra vikten av 4d-metallernas respektive urandioxidytans katalytiska roll i vätgaseffekten. SSM har också tidigare påpekat vid granskning av SKB:s ansökan att beroende på 4-d metallernas betydelse kan experimentella studier av katalysatorförgiftning pga. sulfidjoner behöva genomföras (SSM, 2018).

Frigörelse av radioaktivt silver (Ag-108m) från styrstavar hade en stor betydelse i vissa intrångscenarier i SR-Site då mycket konservativa antaganden användes. SSM ser därför positivt på insatserna att experimentellt undersöka frigörelse av Ag-108m. För att bedöma experimentens relevans behövs dock en analys och diskussion kring de mekanismer som skulle kunna påverka frigörelsen i slutförvarsmiljön och säkerhetsanalysens tidsskala, och hur dessa mekanismer kan studeras i labbmiljö.

Eftersom det pågående EU-projektet Disco kommer slutföras under kommande Fud-period förväntar sig SSM en värdering av dess resultat i kommande Fud-program, samt ett resonemang kring huruvida det svenska KBS-3 systemet kan ta emot dopat bränsle eller ATF-bränsle

## 7.2.6 Radionuklidspeciering och lösligheter

### ***SKB:s redovisning***

SKB har studerat hur radium inkorporeras i barit. Det visade sig vara en snabb reaktion som sker i tre steg; först försvinner de riktigt små porerna till fördel för makroporer, som en del av Ostwalds mogningsprocess, sen tas radium upp runt om makroporerna genom diffusion i porvätskan och upplösning-nedfällning i porerna, och slutligen har radiumbarit bildats i hela mineralkornet. Med dessa steg sker en fullständig omkristallisation av barit till radiumbarit via mikrostrukturella förändringar.

SKB har även studerat reduktion och fällning av neptunium på järn, både rent och korroderat, i syrefri miljö. Studierna visade att föroxiderat järn var mer effektivt för

reduktion och fällning av neptunium, vilket indikerar att det är vad som troligen kommer ske i en förväntad miljö i en trasig kopparkapsel.

SKB redogör för att EU-projektet Redupp som tidigare avslutats fortsätter resultera i vetenskapliga artiklar. Projektet fokuserade på upplösningsexperiment, och i den senaste artikeln beskrivs att ju fler interna defekter, såsom syrevakanser i ceriumoxid, desto högre upplösningshastighet. Ett doktorandprojekt inom Redupp har studerat isotoputbyte mellan torium-229 (tillsatt) och torium-232 i toriumoxiden, som visade att isotoputbytet fortgår även då systemet är nära kemisk jämvikt.

Ett annat EU-projekt, Skin, undersökte sorptions- och upptagsmekanismer för mycket låga koncentrationer av radionuklider i mineral. Vissa resultat har publicerats i en artikel, de indikerar att för urandioxid och toriumdioxid är mindre än ett monolager involverat i upplösning- och nedfällningsprocessen när systemet är nära jämvikt. Troligen är det bara delar av provets yta (defekter, korngränser) som deltar i upplösningen vilket författarna tolkar som om termodynamisk jämvikt inte hinner uppnås under tiden för experimentet (100 dagar).

Det pågår studier av möjlig omvandling av urandioxid och använt kärnbränsle till mineralet koffinit ( $USiO_4$ ) tillsammans med Amphos 21, Marcoule Institute for Separation Chemistry och Stanford University, där resultaten förväntas bli tillgängliga under kommande Fud-period. Det pågår också ett internationellt samarbete med NEA, en databas som finns tillgänglig online, NEA Thermochemical Database (NEA-TDB), där arbetet fortgår. De kommande fyra åren kommer fokus vara att uppdatera databasen för organiska föreningar, lantanider och/eller svaga komplex.

Stockholms universitet och Chalmers är i planeringsstadiet av ett samarbetsprojekt för studier rörande uranspeciering för möjlig existens av kalcium-uranyl-karbonatkomplex.

EU-projektet Disco fortsätter med syfte att fylla kunskapsluckor och minska osäkerheter när det gäller radionuklidens speciering och löslighet i förvarsmiljö.

### ***SSM:s bedömning***

SSM bedömer att de av SKB redovisade planerna för det fortsatta arbetet med löslighet av radionuklider är ändamålsenliga. SSM ser positivt på att det pågår doktorandprojekt vid svenska lärosäten och att SKB samtidigt bedriver ett aktivt internationellt arbete.

SSM ser positivt på att nya kunskaper kring samfällning av radium och barium har tillkommit som underbygger tidigare antaganden som använts kring processens betydelse i säkerhetsanalysen SR-Site. SKB tillgodoräknade sin här för första gången medfällning som en gynnsam process. Andra faktorer som tillkommer i slutförvarsmiljön och som inte har studerats i samband med experimenten så som att lokal utarmning av sulfatjoner kan förekomma i en fallerad kopparkapsel som en följd av korrosion av segjärnsinsatsen och mikrobiell sulfatreduktion. Den typen av reaktion har exempelvis visats ske i samband med de s.k. Minican-försöken, och behöver beaktas vid bedömning av samfällningens säkerhetsbetydelse. Det bör också noteras att förutom i fallet radium-barium antyder de övriga experimentella resultaten som SKB rapporterar inget stöd för förekomst av betydande medfällning av andra radioaktiva ämnen förutom radium.

SSM ser även positivt på att SKB närmare har studerat reduktion och utfällning av Np(V) i anslutning till en korroderande segjärnsinsats. Även andra nuklidens interaktioner med en

korroderande segjärnsinsats kan ha en säkerhetsbetydelse och vara relevanta att studera experimentellt, dels med tanke på järnkorrosionens inverkan på redoxförhållanden, dels eftersom korrosionsprodukterna tillför sorptionskapacitet. För att kunna inkluderas i en säkerhetsanalys krävs dock överväganden kring materietbyte mellan miljön inuti och utanför en fallerad kapsel för olika typer av kapselskador och i synnerhet för fallet med en eroderad bentonitbuffert. SKB:s relativt konservativa antaganden för bufferterrosionsfallet i samband med SR-Site kan behöva utvärderas genom både experiment och modelleringsinsatser.

SSM konstaterar att frågan kring huruvida bildning av koffinit kan förväntas ske i slutförvarsmiljön har diskuterats länge. SKB kan mot bakgrund av tillkommande information behöva utvärdera den potentiella betydelsen av processen mot bakgrund av materietransportbegränsningar och kemiska processer i slutförvarsmiljön. Processen skulle t.ex. kunna ha en betydelse för att utvärdera bränslematrisens omvandling för tidsperioden då bildning av radiolytiska oxidanter nått försumbar nivå.

### 7.2.7 Äldring av kärnbränsle

SSM lämnar i detta kapitel synpunkter på redovisningen i kapitel 4.3.2, Bränsleintegritet, bränslekaraktärisering och bränsleinformation och 8.3 Icke-reguljära bränslen och bränsleintegritet i Fud-program 2019.

#### ***SKB:s redovisning***

SKB redovisar att åldringsrelaterade förändringar i bränslets egenskaper under lagring i bassängmiljö studeras inom ramen för ett program för kontroll av bränslets integritet (det så kallade åldringsprogrammet). SKB följer internationell forskning och erfarenheter beträffande förändringar i bränslets integritet för att använda denna kunskap i åldringsprogrammet och inför hanteringen av bränslet i inkapslingsanläggningen. Det identifieras som viktigt att säkerställa att bränslet inte påverkas negativt av de påfrestningar som den planerade hanteringen kommer att innebära, exempelvis de temperaturväxlingar som uppstår vid torkning vilket kan påverka kapslingsrören som omger bränslet. SKB redovisar att en förnyad åldringsanalys av kärnbränsle i mellanlagring kommer att utföras vilket är planerat att initieras under 2019.

#### ***SSM:s bedömning***

SSM ser positivt att SKB lyfter fram kontroll av åldringsrelaterade försämringar av bränslet som en forsknings- och utvecklingsfråga och att SKB följer internationell forskning och erfarenheter. SSM ser det dock som viktigt att SKB utvecklar egna kontrollmetoder och forskningsstudier för att öka kunskapen om åldringsfenomen specifika för lång tids mellanlagring i våt miljö. De internationella forskningsstudier som genomförts har främst varit inriktade på torr mellanlagring där det till följd av högre bränsletemperaturer uppstår andra typer av degraderingsmekanismer än vid våt mellanlagring (IAEA, 2019). Utöver Sverige är det endast ett fåtal länder som har valt våt mellanlagring, varför antalet forskningsstudier på dessa områden är begränsat. Med anledning av det, och med tanke på den långa tid som bränsle förväntas mellanlagras i Clab, bedömer SSM att det behövs forskningsinsatser om degraderingsmekanismer i bränsle och strukturmaterial i bränsleelement vid de miljöförhållanden som råder i Clab.

Med en ökad kunskap om vilka degraderingsmekanismer som påverkar strukturintegriteten kan ett kontrollprogram utformas för att följa utvecklingen för olika material och bränsletyper. Det i sin tur kan ge ett bättre beslutsunderlag om risker vid den kommande hanteringen i Clink samt ge underlag till värdering av handlingsalternativ vid förändrade förutsättningar för det planerade i slutförvarssystemet.

Sammanfattningsvis bedömer SSM att en viktig fråga inför kommande Fud- period är att SKB visar på en framdrift i att utveckla och etablera ett åldringsprogram för bränsle vid Clab i enlighet med de initiativ SKB redovisar. Det äldsta bränslet uppnår en ålder på över 60 år.

### 7.3 Kapsel

Följande avsnitt avhandlar aspekter som rör kapseln, bestående av en lastbärande segjärnsinsats och ett kopparkopparhölje som utgör korrosionsbarriär, som inom ramen för SKB:s metod för slutförvaring av använt kärnbränsle (KBS-3) används för att innesluta det använda bränslet efter slutförvarets förslutning. Avsnittet följer samma disposition som SKB:s Fud-program 2019 är de två inledande underavsnitten beaktar olika degraderingsprocesser, kopparkorrosion och effekter på kapselmaterialens mekaniska egenskaper, följt av konstruktion samt avslutningsvis tillverkning, kontroll och provning av kapseln.

#### 7.3.1 Korrosion

##### *SKB:s redovisning*

SKB redovisar sitt forsknings- och utvecklingsarbete med betoning på fem olika kopparkorrosionsprocesser:

- Sulfidkorrosion
- Korrosion under oxiderande förhållanden
- Korrosion i rent, syrgasfritt vatten
- Strålningsinducerad korrosion
- Spänningskorrosion

Avseende sulfidkorrosion, vilken är den process som förväntas att dominera korrosionsförloppet efter att kemiskt reducerande förhållanden har uppstått i slutförvarsmiljön, redovisar SKB översiktligt det nuvarande kunskapsläget kring lokal och allmän sulfidkorrosion. Omfattande SKB-finansierade insatser har utförts vid University of Western Ontario, Kanada, för att studera och kategorisera filmtillväxt av kopparsulfid på kopparytor (t.ex. Martino m.fl. 2017) samt för att studera den korroderade kopparytans morfologi och topografi (t.ex. Chen m.fl. 2017). Stort fokus har lagts på att kartlägga vilka förutsättningar som krävs för att lokal korrosion ska kunna ske med syftet att gränssätta dessa i förhållande till betingelserna i slutförvarsmiljön. Bildandet av en kompakt, passiverande kopparsulfidfilm på kapselytan är en sådan förutsättning, vilken främst associeras med höga sulfidkoncentrationer och höga sulfidflöden. Relaterade studier med fokus på kartläggning av masstransportbegränsningar för sulfidkorrosion har också utförts (King m.fl. 2017).

SKB kommenterar även försök utförda av en annan forskargrupp (Huttunen-Saarivirta m.fl. 2018), vilken har tillämpat punktdefektmodellen PDM ("Point Defect Model") för att tolka elektrokemiska impedansspektroskopimätningar (EIS) på  $\text{Cu}_2\text{S}$ -filmer. Dessa filmer har bildats under fritt korroderande förhållanden respektive i samband med exponering för sulfatreducerande bakterier. SKB anser dock att PDM-modellen inte är applicerbar för att tolka experiment i vilka aktiv upplösning fortfarande pågår då man menar att passivering är ett initialt antagande som finns integrerat i modellen (Martino m.fl. 2019).

I sitt program avser SKB att fortsätta med studier av sulfidkorrosion för att ytterligare stärka den vetenskapliga grunden för dess hantering i kommande säkerhetsanalyser. Stort fokus kommer att läggas på att bättre förstå förutsättningarna för initiering och propagering av lokal korrosion, hur mekanismen påverkas av olika joner samt på att studera den korroderade ytans topografi.

SKB har även bland annat låtit utföra kvantkemiska studier, bland annat av sulfideringen av kopparoxidfilmer på kopparytor. Under den inledande oxiderande fasen i slutförvarets utveckling förväntas kopparytan främst vara täckt av kopparoxid vilket innebär att sulfid initialt kommer att reagera med kopparoxid. Studierna (Stenlid m.fl. 2017) visar att sulfideringsreaktionen är spontan och sker ytligt. Beräkningskemiska studier har även genomförts i syfte att förstå tillväxtmekanismer för bildning av kopparsulfidfilmer (Lousada m.fl. 2018). I SKB:s program kommer även kvantkemiska studier framgent att tillämpas för att fördjupa förståelsen för mekanistiska förutsättningar för kopparkorrosion med sulfid.

I SKB:s analys av korrosion av koppar under oxiderande förhållanden har man påbörjat en utveckling av probabilistiska modeller för lokal korrosion. Denna utveckling har inledningsvis fokuserat på modellering av den hypotetiska kombinationen oxiderande kemiska förhållanden och mättade buffertförhållanden. En planerad vidareutveckling kommer dock fokuseras på modellering av det mer realistiska fallet lokal korrosion i samband med kombinationen oxiderande kemiska förhållanden och omättad buffert.

SKB har analyserat och kompulerat resultaten från ett antal fältförsök, bland annat LOT, MiniCan och Prototypförvaret (SKB dokID 1713264). Analysen visar att omfattningen av korrosionen som har uppmätts kan korreleras med den initiala mängd syrgas som uppskattas finnas i anslutning till kapselytan. SKB framhåller även att analysen visar att den initiala mängden syrgas har styrt vilken korrosionsprodukt som observeras i fältförsöken, där syreinhållande, divalenta produkter erhålls vid initialt högre syrehalter medan monovalenta syreinhållande korrosionsprodukter observeras i fallen med initialt lägre syrehalter (Johansson m.fl., 2019). Analyser av ytan hos korroderad koppar från fältförsök har jämförts den hos koppar som endast genomgått atmosfärisk korrosion med slutsatsen att observerade grop- och sprickliknande defekter i storleksordningen några mikrometer med stor sannolikhet härrör från tillverkningsprocessen (SKB P-13-50, SKB P-17-11). SKB kommer att fortsätta att analysera resultaten från olika fältförsök i enlighet med den plan som övergripande redovisades i Fud-program 2016.

Avseende den omdiskuterade processen kopparkorrosion i rent, syrgasfritt vatten har SKB publicerat ett antal studier och analyser sedan Fud-program 2016 som man menar ytterligare bekräftar bolagets bedömning att processen sker i enlighet med vad som förutsägs av etablerad termodynamisk data. Detta innebär att korrosionen sker i väldigt liten

omfattning och således är av försumbar betydelse för kapselns långsiktiga integritet (Ottosson m.fl. 2017; Hedin m.fl. 2018; SKB dokID 1707895). Man pekar även bland annat på experiment utförda av andra forskargrupper som stöd för sin bedömning (exempelvis Senior m.fl. 2019). En mer detaljerad redogörelse av SKB:s underlag kopplat till processen återfinns i kompletteringen till tillståndsansökan om slutförvaret för använt kärnbränsle (SKB TR-19-15, kapitel 4). Utöver en slutrapportering för arbetet med framtagandet av en kinetisk modell för korrosion i rent vatten, vilken preliminärt redovisades i SKB dokID 1602591 avser inte SKB att utföra fler studier rörande processen kopparkorrosion i rent, syrgasfritt vatten.

Experimentella studier av strålningsinducerad korrosion av koppar har i huvudsak utförts vid KTH för att närmare beskriva hur radiolysprodukter som bildas i gammabestrålat vatten korroderar koppar (exempelvis Björkbacka m.fl. 2016, 2017). I mer nyligen utförda studier har fokus legat på att vidareutveckla den kinetiska modell som beskriver de ytkemiska reaktionerna mellan de radiolytiska oxidanterna och kopparmaterialet. I en preliminär redovisning av modellen erhålls en förbättrad korrelation mellan teoretisk prediktion och experimentell observation av omfattningen av strålningsinducerad korrosion (SKB dokID 1706535). SKB avser att i sitt fortsatta program bland annat fokusera på att utveckla den teoretiska modellen till att även inbegripa effekter även av grundvattenjoner på den strålningsinducerade korrosionen.

SKB har låtit utföra ett antal studier i syfte att bättre förstå förutsättningarna för spänningskorrosion av koppar i sulfidmiljö. Vid långsam dragprovning i höga sulfidkoncentrationer har sprickförekomst lokaliserat till korngränser i materialet observerats (SKB TR-17-16, SKB TR-19-13). SKB har även gjort en ansats att beskriva de mekanistiska förutsättningarna till sprickinitiering och sprickpropagering som bygger på att viss korrosion kan ske i korngränser, som är mer reaktiva än själva kristallkornen, men att processen kontrolleras av sulfidtransport in i sprickan, vilket leder till att processen avstannar allt eftersom korrosionsprodukter fyller igen sprickan (SKB TR-19-13). SKB har även utfört beräkningar med syfte att kartlägga spänningssituationen i kopparhöljet vid olika lastfall (SKB dokID 1614038, SKB dokID 1707582). Man har även varierat designparametrarna för att utröna möjligheter till reducering av dragspänningar vid detaljoptimering av kapselutformningen. Beräkningarna visar på att dragspänningarna kan reduceras genom att minska gapet mellan kapselns kopparhölje och segjärmsinsats. SKB avser framgent att bland annat utföra ytterligare dragprovningsexperiment under längre tidsrymder och med långsammare töjningshastigheter samt i varierad kemisk miljö för att erhålla ett bättre dataunderlag samt fördjupa sin mekanistiska förståelse för processen. Även försök för att utröna betydelsen av vakansinjektion på kopparhöljets mekaniska egenskaper planeras att genomföras.

### ***Remissinstansernas synpunkter***

*Stockholms universitet* noterar att en aspekt som inte diskuteras i rapporten är möjligheten att inducera lokal korrosion på kopparkapseln via en kombinerad exponering av sulfid ( $H_2S$ ,  $HS^-$ ,  $S^{2-}$ ) och gammastrålning. Enligt universitetet är det välkänt att tiosulfater kan bildas då sulfid kommer i kontakt med syrgas. Detta kan enligt universitetet, även vid mycket små syrgasmängder, leda till lokal korrosion av stål, och eventuellt även koppar. Enligt universitetet är ett sådant scenario oönskat då det kan ge upphov till prematur korrosiv penetration av kapseln och eventuellt läckage av kärnbränsle. Givet det faktum att syrgas är en av de huvudsakliga radiolysprodukterna ur gammabestrålat vatten, samt att

ett antal kapselhål förväntas återmättas med sulfidinnehållande grundvatten och/eller exponeras för vattenånga och gasformig  $H_2S$  under den period då den gammastrålning som passerar kapselväggen anses vara signifikant, anser universitetet att det är rimligt att frågan ges utrymme i säkerhetsanalysen.

Universitetet noterar att de modelleringar av masstransport som beskrivs i Fud-program 2019, samt i referensen King et al 2017, är utförda i en spatial dimension (1D). Universitetet anser att man i en sådan modell riskerar att underskatta massflödet jämfört med en full 3D modellering. Universitetet anser vidare att en modellering i 3D även har möjlighet att ge lokal information för olika delar av kapseln. Exempelvis skulle modellen enligt universitetet kunna beskriva huruvida kapselns hörn riskerar att bli mer utsatta för korrosion än övriga kapseln. Universitetet anser därför att dessa faktorer är av vikt för en heltäckande beskrivning av kapselns beteende över tid.

Beträffande koppar konstaterar universitetet att korrosion är en komplex process som typiskt äger rum på polykristallina ytor. På atomär nivå kan detta enligt universitetet emellertid anses ske på en ensemble av någorlunda väldefinierade ytor. I ljuset av detta anser universitetet att det är önskvärt att mer insikt erhålls om kopparkorrosion på modellsystem av enkristallina ytor. Detta är enligt universitetet ett tillvägagångssätt som ofta tillgrips i till exempel heterogen katalys, ett med korrosion närbesläktat forskningsfält. Av denna anledning föreslår universitetet att enkristallina ytor (exempelvis med exponerade kristallplanen 100, 110 och 111, men även mer korrugerade ytor såsom 211) studeras under kontrollerade former i simulerad grundvattenmiljö – experimentellt och/eller beräkningskemiskt.

Beträffande sulfidfilmer noterar universitetet att egenskaper och makrostruktur hos de sulfidfilmerna som långsiktigt förväntas bildas på kopparmaterialet under förvarstiden har studerats under det av SKB redovisade programmet. Universitetet noterar vidare att utöver detta föreslås utökade studier på atom-/nanonivå för att bättre reda ut följande aspekter; tillväxtmekanismer på koppar vid olika grundvattensammansättningar; tillväxtmekanismer från en oxidfilm; samt skillnader mellan sulfidfilmer som skapats genom sulfidering av oxidfilmer, tillväxt direkt på ytan eller efter transport via omgivande grundvatten. Universitetet anser att dessa studier borde inkludera undersökningar av vilka kristallplan av  $Cu_2S$  som premieras vid olika förhållanden, samt om sammansättningen och kristallstrukturen verkligen är  $Cu_2S$  eller någon annan fas, till exempel  $Cu_{2-x}S$ . Universitetet anser att tillgång till denna fundamentala information skulle underlätta grundförståelsen av sulfidfilmernas egenskaper – vilket universitetet anser vara nödvändigt för att uppskatta det långsiktiga korrosionsbeteendet för kopparkapslarna.

*Naturskyddsföreningen, Jordens Vänner och Miljöorganisationernas kärnavfallsgranskning* (föreningarna) noterar att i avsnittet 4.4.1 om ”processförståelse” och avsnitten 9.1 om ”korrosion” och 9.2 om ”materialegenskaper kapselmateriäl” beskrivs SKB:s forskningsprogram för att studera den långsiktiga integriteten för kopparkapseln som är tänkt att användas i kärnbränsleförvaret.

Föreningarna menar att det som bolaget anger som behov av kunskapsutveckling rörande kopparkapselns långsiktiga integritet inte har fokus på rätt frågor. Upptaget av FEBEX-försöket visade, enligt föreningarna, att det funnits en omfattande korrosion, inklusive gropfrätning, på kopparbitar i försöket som varit utsatta för en syrgasfri förvarsmiljö i 18 år. Eftersom resultaten, enligt föreningarna, är högst problematiska för SKB:s förordade

metod med koppar som kapselmaterial, har SKB, enligt föreningarna, hävdad att korrosionen måste komma från inläckande syre. Detta trots att det, enligt föreningarna, sedan länge är visat att syre snabbt konsumeras i en förvarsmiljö som innehåller lera. Om inte detta varit tillräckligt tydligt innan, så visade enligt föreningarna det så kallade FE-försöket att en hel tunnel fylld med lera blir syrgasfri på några månader.

Föreningarna anser att efter resultaten från FEBEX-försöken borde det ha varit en prioritet för SKB att ta upp nästa försökspaket i LOT-försöket för att se hur koppar som legat 20 år i en syrgasfri förvarsmiljö påverkats. Men i forskningsprogrammet står, enligt föreningarna, endast följande om LOT-försöket i avsnitt 9.1.2 på sidan 190:

”Såväl Prototypförvarets inre sektion som kvarvarande försök ur serierna LOT och ABM kommer att ge möjligheter att ytterligare utvärdera korrosion under framför allt oxiderande förhållanden, även om huvudsyftet med dessa försök inte var att studera korrosion. Brytningen av kommande försökspaket följer den övergripande plan som redovisades i Fud-program 2016.”

Föreningarna noterar att följande plan redovisades på sidan 175 i Fud-program 2016:

”Det pågående LOT-försöket (LOT, Long Term test of bentonite) vid Äspölaboratoriet syftar till att identifiera och kvantifiera mineralogiska förändringar i bentoniten som följd av exponering för en förvarsliknande miljö. Dessutom undersöks relaterade processer i bentoniten som rör kopparkorrosion, diffusion av katjoner, samt överlevnad och aktivitet hos bakterier. Avsikten är att ta upp och undersöka ett ytterligare bentonitpaket från LOT under denna Fud-period.”

Föreningarna menar att det är tydligt att SKB inte varit intresserad av att ta upp fler försökspaket i LOT-projektet. Att hänvisa till att den kopparkorrosion som finns i projektet kommer från korrosion av syre är, enligt föreningarna, uppenbart felaktigt. Föreningarna menar att det måste stå klart även för SKB att om det finns omfattande kopparkorrosion i de 20-åriga LOT-paketet, särskilt vid den varmaste delen av centralröret, så kan detta inte bortförklaras som orsakat av syre. Trots att det, enligt föreningarna, redan när det första 5-årspaketet i LOT-försöket togs upp 2006 konstaterades oväntat mycket kopparkorrosion, så redovisade SKB inte den totala korrosionen på den varmaste delen av centralröret eller bilder på den delen av röret.

Enligt föreningarna är frågan uppenbarligen så känslig för SKB att när två 20-åriga försökspaket sedan togs upp, förmodligen under 2019, gjordes detta utan att informera omvärlden. Att upptaget skett framkom, enligt föreningarna, av en slump på ett SSM-möte under hösten 2019.

Föreningarna har vid upprepade tillfällen fört fram krav till SKB och SSM om att se till att kvalitetssäkrade resultat på hur mycket koppar som korroderat, och hur, i det nyligen upptagna LOT-paketet. Det är, enligt föreningarna, av utomordentligt stor vikt att få fram resultaten så fort som möjligt, så att kunskapen kan vara en del av regeringens miljöprövning av kärnbränsleförvaret. Bolaget har, enligt föreningarna, sagt att resultaten inte ska presenteras förrän efter alla regeringsbeslut är tagna.

Föreningarna anser att framtagandet av kopparkorrosionsresultaten från de upptagna LOT-paketet måste vara en prioritet i forskningsprogrammet i stället för att gömmas undan och nedprioriteras. Framtagningen av forskningsresultaten bör enligt föreningarna

inte genomföras endast av till SKB närstående konsultbolag och dessutom anser föreningarna att de måste kvalitetssäkras av oberoende instanser och inte av SKB själv.

Föreningarna vill även påpeka att avsnittet 9.1.3 om kopparkorrosion i syrgasfritt vatten är mycket ensidigt vinklat och att flera av de försök som beskrivs inte har varit konstruerade för att kunna mäta syrgasfri kopparkorrosion. De vanligaste misstagen är, enligt föreningarna, att göra kopparytan så slät att processen inte har lätt att komma igång (Uppsala universitet), ha så mycket koppar i relation till vatten i slutna system så att korrosionsprocessen avstannar direkt – och sedan tömma systemet sällan (Micans, Ollila, m.fl.), ha kvävgas utanför ett palladiummembran när det är syre utanför membranet som driver vätgasflödet genom detta (Ollila, Uppsala universitet) eller ha hög vätgasbakgrund i försöksutrustningen (Uppsala universitet).

Föreningarna anser att det är viktigt att forskning fortsatt bedrivs för att förstå orsakerna till varför det, som flera forskningsresultat enligt föreningarna tyder på, finns en kopparkorrosion i syrgasfritt vatten, som till exempel i FEBEX-försöket och förmodligen även i LOT-försöket.

Föreningarna anser att det är på hög tid att SKB genomför storskaliga laboratorieförsök i autoklaver med koppar och lera i en uppmätt syrgasfri simulerad slutförvarsmiljö.

Föreningarna vill även hänvisa till att SSM har ett nyss framtaget eget underlag för att förstå vilken forskning som krävs för att få klarhet i olika processer som kan degradera kopparkapseln. KTH-forskarna Peter Szakálos och Christofer Leygraf har i en beställd extern rapport beskrivit många av de problem som måste utredas.

### ***SSM:s bedömning***

SSM konstaterar att SKB:s redovisning i Fud-program 2019 avseende kopparkorrosion i stor utsträckning överensstämmer med det kompletterande material som inlämnades av SKB till regeringen tidigare under 2019 i samband med den fortsatta prövningen av tillståndsansökningarna (enligt både miljöbalken och kärntekniklagen) rörande slutförvaret för använt kärnbränsle (SKB TR-19-15). Huvudsyftet med detta arbete var att adressera frågeställningar kopplade till ett antal specifika kapseldegraderingsprocesser som lyftes av mark- och miljödomstolen i dess yttrande till regeringen (Mark- och miljödomstolen, 2018) angående SKB:s ansökan enligt miljöbalken om anläggningar i ett sammanhängande system för slutförvaring av använt kärnbränsle och kärnavfall. Dessa processer var:

- korrosion på grund av reaktion i syrgasfritt vatten
- gropkorrosion på grund av reaktion med sulfid, inklusive saunaeffektens inverkan på gropkorrosion
- spänningskorrosion på grund av reaktion med sulfid, inklusive saunaeffektens inverkan på spänningskorrosion
- väteförspredning
- joniserande strålningens inverkan på gropkorrosion, spänningskorrosion och väteförspredning.

Baserat på SSM:s granskning av det kompletterande underlaget (SSM2019-3222-4) så yttrade sig myndigheten som remissinstans till regeringen om ansökan enligt miljöbalken (SSM2019-3222-2) och om ansökan enligt kärntekniklagen (SSM2019-3168-7) under

hösten 2019. De områden som adresseras i SKB:s kompletterande material och som rör kopparkorrosion innefattas i fyra av de fem delområden som SKB:s redovisning i Fud-programmet är uppdelad i; avsnittet kopparkorrosion under oxiderande förhållanden var inte explicit redovisat i kompletteringsrapporten (SKB TR-19-15) även om en diskussion kring olika fältförsök återfanns i viss utsträckning i avsnittet rörande den så kallade Sauna-effekten. En kortfattad sammanfattning av SSM:s bedömningar rörande dessa processer med bäring på SKB:s Fud-program följer nedan. SSM:s detaljerade bedömningar avseende de ovan nämnda processernas relevans för långsiktig strålsäkerhet återfinns i granskningsrapporten (SSM2019-3222-4).

SSM instämmer med SKB att sulfid är det långsiktigt viktigaste korroderande ämnet för koppar i den slutförvarsmiljö som förväntas råda på förvarsdjup vid Forsmarksplatsen. Avseende sulfidkorrosion så ser därför SSM positivt på det betydande tillskott av vetenskapliga studier som har utförts på uppdrag av SKB och som redovisas i Fud-program 2019. Dessa har medfört en fördjupad förståelse för, i synnerhet, lokala korrosionsfenomen och deras eventuella betydelse i slutförvarsmiljön. Studierna bedöms överlag att ha hög vetenskaplig kvalitet med en belysning av processen från flera perspektiv, med hjälp av bland annat elektrokemiska experiment för att studera passivering av kopparytan i sulfidmiljö, samt även metallografiska studier för att kartlägga kopparytans topografi och morfologi. Studierna inkluderade koppar som har korroderats i både abiotisk och biotisk sulfidlösning, samt även i en gasfas efter reaktion med gasformig sulfid. Även framgent avser SKB att fördjupa sina experimentella forskningsinsatser inom dessa områden vilket SSM ser positivt på. Att SKB som ett komplement till sitt experimentella program har tillämpat, och även fortsatt avser att tillämpa, beräkningskemiska metoder för att detaljstudera de mekanismer som styr filmbildning, filmstabilitet och andra aspekter kopplade till sulfidkorrosion bedöms vara ett vederhäftigt tillvägagångssätt för att fördjupa den grundläggande förståelsen för korrosionsprocessen.

SSM anser att SKB, genom den betydande omfattningen av studier och experiment som har 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 gränsvärden avseende tillförsel av sulfid samt sulfidhalt i närheten av kapselns yta under vilka gropkorrosion inte förväntas kunna ske.

Avseende framtida insatser i SKB:s program anser SSM att ytterligare experimentella studier är berättigade för att på ett mer definitivt sätt karaktärisera förutsättningar för och effekter av möjliga korrosionsprocesser under buffertens återmättnad som en följd av en eventuell tillförsel av gasformig vätesulfid från återfyllnaden. Sådana resultat kan eventuellt bidra till optimering av detaljkonstruktioner och tillverkningskrav.

Beträffande en potentiell mikrobiell påverkan på sulfidkorrosion anser SSM att SKB även framgent bör genomföra studier för att tydligare utröna sulfatreducerande bakteriers bidrag till kapselkorrosion under olika förutsättningar och faser i slutförvarets utveckling. SSM konstaterade även i sin granskning av SKB:s komplettering att SKB genom fortsatta studier bör sträva efter en ökad förståelse för förutsättningarna för mikrogalvanisk korrosion, vilket enligt Fud-programmet också planeras genomföras.

SKB:s program kopplat till analyser av korrosion under oxiderande förhållanden avser bland annat utvecklingen av probabilistiska modeller för lokal korrosion. Detta var något

SSM tog upp i sin ursprungliga granskningsrapport av SKB:s ansökan (SSM 2018:07) och myndigheten ser positivt på att SKB fördjupar sina insatser inom detta område. SKB har även utfört betydande insatser av relevans för korrosion under oxiderande förhållanden baserat på fältförsök utförda vid Äspölaboratoriet. SSM konstaterar i sammanhanget bland annat att SKB under hösten 2019 tagit upp två försökspaket inom den så kallade LOT-försöksserien. SSM anser generellt att den typ av fältförsök, såsom LOT-försöken vid Äspö, bidrar till förståelsen för den initiala utvecklingen av de tekniska barriärerna under förhållanden som så långt som möjligt efterliknar slutförvarsmiljön. Värdefulla observationer innefattar exempelvis bentonitlerans mineralogiska utveckling, identifikation av kopparkorrosionsprodukter samt de korroderade kopparyornas morfologi. Det är dock enligt SSM:s bedömning inte möjligt att dra några definitiva slutsatser avseende den relativa betydelsen av olika korrosionsprocesser eftersom denna typ av fältförsök genomförs utan detaljerad kontroll över randvillkor och omgivningsbetingelser. SSM konstaterar vidare att avsaknad av fullständig kontroll av omgivningsbetingelser och syreexponering under denna typ av fältförsök innebär att möjligheterna att med någon större precision på förhand definiera förväntad omfattning av korrosion är begränsade.

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 (SSM2019-3222-4, avsnitt 5). SSM anser att inga ytterligare experimentella studier behövs utöver dem som SKB hittills har låtit utföra för att påvisa vätgasutveckling och korrosion för kopparprover exponerade i rent syrgasfritt vatten.

Generell grundforskning kring koppar som inkapslingsmaterial behöver dock långsiktigt upprätthållas så som exempelvis studier av kopparföreningars termodynamiska egenskaper, termodynamisk modellering, och kvantkemiska beräkningar. Fortsatt experimentell korrosionsforskning bör orienteras mot kemiska förhållanden som är relevanta för slutförvarsmiljön. SSM anser att korrosionsförsök bör ingå i en plan för verifierande tester av barriärfunktioner som utöver i Äspölaboratoriet även genomförs i samband med ett uppförande av ett slutförvar i testtunnlar vid Forsmarksplatsen.

SSM konstaterar att SKB har gjort betydande insatser kopplat till studier som rör strålningsinducerad korrosion av koppar. SSM anser trots de förväntade små effekterna av denna typ av processer att det finns ett värde i att SKB i sitt program fortsätter med experimentella och teoretiska studier av strålningskemiska mekanismer av betydelse för bl.a. lokal korrosion av kopparkapseln i slutförvaret. SSM konstaterar att strålfältets inverkan på kopparkapseln är en oundviklig effekt. SSM ser därför positivt på att SKB fortsätter med studier kopplat till dessa typer av frågeställningar. I myndighetens granskning (SSM2019-3222-4, avsnitt 9) av SKB:s komplettering föreslog SSM dosratens betydelse för inverkan på lokalkorrosion som ett område att fortsatt studera. Myndigheten anser det därför vara ändamålsenligt att SKB:s program framgent innefattar övervägande av denna faktor.

Rörande spänningskorrosion ser SSM positivt på att SKB nyligen har låtit utföra experimentella studier i syfte att ytterligare belysa en eventuell betydelse av processen i ett slutförvar. SSM anser att SKB:s totala insatser för att analysera processens förutsättningar i sulfidmiljö, som förutom insatser för förståelse av processens mekanismer innefattar analys av materietransport av sulfid i deponeringshålen och kapselns spännings-tillstånd, har skapat ytterligare tilltro till att risken för att processen ska initieras,

propageras, och orsaka kapselbrott vid låga sulfidhalter och låga sulfidflux i paritet med de som förväntas råda i slutförvarsmiljön är mycket liten.

Med tanke på att spänningskorrosion är en komplex korrosionsform som innefattar en samverkan mellan utvecklingen av kapselns mekaniska tillstånd och slutförvarets kemiska miljö anser SSM att SKB även fortsättningsvis bör studera spänningskorrosion och interkristallin korrosion i syfte att ytterligare stärka den vetenskapliga grunden för beaktande av processerna i framtida säkerhetsanalyser. Exempelvis lyfts i SSM 2019:22 betydelsen av att tillämpa mer precisa metoder och utföra experiment under längre försökstider för att studera extremt långsam sprickbildning och sprickpropagering. SSM noterar att SKB:s program framgent kommer innefatta dessa moment i viss utsträckning men anser att de specifika synpunkter som anförs i SSM 2019:22 explicit bör beaktas av SKB i sin precisering av kommande forskningsinsatser, där kopplingen mellan spänningskorrosion och lokal väteladdning lyftes fram som en fråga att utforska vidare.

SSM konstaterar med hänvisning till vad som framförts av Naturskyddsföreningen, Jordens Vänner och Miljöorganisationernas kärnavfallsgranskning att LOT-försöken har givit användbar information om den initiala utvecklingen av KBS-3-systemets tekniska barriärer efter slutförvarets slutliga förslutning. Försöken har dock inte utformats för att visa om koppar fungerar eller inte fungerar som inkapslingsmaterial under säkerhetsanalysens tidsskala. För sådana bedömningar är det mer ändamålsenligt att inom ramen för en säkerhetsanalys väga samman information från olika typer av både experimentella och teoretiska studier.

### 7.3.2 Materialegenskaper hos kopparmaterial

#### ***SKB:s redovisning***

SKB har delat in sin redovisning i Fud-program 2019 om degraderingsprocesser med bäring på kapselns mekaniska egenskaper i tre olika områden:

- Kopparkrypning
- Väteförspredning
- Strålningseffekter på koppar och segjärn

SKB:s insatser rörande kopparkrypning innefattar både experimentellt och teoretiskt arbete. För att studera inverkan av fosfor på koppars krypegenskaper har olika typer av experiment utförts för att analysera eventuell fosforanrikning i korngränser i krypprobad koppar (SKB R-17-19, SKB R-17-24). Inte i någon av studierna observerades dock en sådan anrikning. Från dragprovingsförsök av fyra olika kopparmaterial drogs slutsatsen att tillsatt fosfor på ett avgörande sätt bidrar till en förbättrad duktilitet hos materialet (SKB R-18-09). Resultaten från den nya studien är i enlighet med tidigare försök som utförts på OFP-koppar (SKB TR-09-32). Även fortsättningsvis kommer SKB att lägga stort fokus på att studera lokalisering av fosfor i korngränser, bland annat med hjälp av Augerundersökningar av brottytor.

Modelleringsinsatser har riktats mot att utvärdera effekten av kallbearbetning på deformationshastigheten (Sandström, 2016; Sandström, 2017). Ytterligare modelleringsarbete har utförts i syfte att analysera fleraxliga spänningstillstånd vid långsam dragprovning (Sui

och Sandström, 2016). Även krypmodellen av koppars krypdeformation har vidare utvecklats från att endast inkludera primär- och sekundärkryp till att nu även innehålla tertiärkryp (Sui m.fl. 2018). Modelleringen av denna avslutande fas för brott visar på att glidning av kristallplan är det viktigaste bidraget till deformationen. Krypmodelleringen kommer att utökas till att integrera bland annat kavitetbildning.

I SKB:s forskningsprogram rörande kopparkrypning ingår även kvantkemiska och termodynamiska studier av koppar-fosfor-systemet och hur föroreningsatomer växelverkar med korngränser i kopparmaterialet (SKB R-17-20, Li m.fl. 2017). Även framgent kommer de teoretiska insatserna att fortsätta med kvantkemiska studier av växelverkan mellan atomer, dislokationer och defekter i fokus.

Ytterligare SKB-finansierade insatser relaterade till krypning av koppar innefattar uppdaterade beräkningar av den totala plastiska och krypdeformationen i koppar (SKB dokID 1707582). Samma studie visar på reducerade dragspänningar i höljet vid minskning av gapet mellan kopparhöljet och segjärnsinsatsen. Vidare har brottmekanismerna vid tidigare krypprovningstudier återanalyserats med slutsatsen att OFP-koppar är plastiskt duktil och stabil vid krypning (Posiva SKB Report 03).

SKB avser att tillämpa ett tillverkningskrav för kopparhöljet med närvarande maximalt 0,6 vikts-ppm väte. Detta krav syftar till att förhindra väteförspredning av kopparmaterialet. SKB har också ett relaterat krav på ett maximalt innehåll av syre i koppar på 5 vikts-ppm. Syre har betydelse i sammanhanget påverkan av väte på kopparmaterialet eftersom en vätereduktion av syre i oxidform av tillförd väte ger upphov till bildning av vattenmolekyler, företrädesvis i korngränser (så kallad vätesjuka).

Rörande väteförspredning har SKB studerat olika aspekter av processen genom experimentella försök och med teoretiska metoder. De experimentella insatserna innefattar bland annat studier av strålningsinducerat väteupptag i kopparmaterialet (Lousada m.fl. 2016). Fokus har även lagts på att analysera känsligheten vid mätningar av vätehalt (SKB R-17-15). SKB har även uppdaterat beräkningarna av lösligheten för väte i koppar (Magnusson och Frisk, 2017) och har utfört kvantkemiska studier av väteinteraktion med koppar (SKB dokID 1708457). I sitt forskningsprogram avseende väteförspredning avser SKB att fortsatt tillämpa kvantkemiska metoder för att fördjupa sin förståelse för växelverkan mellan väte och föroreningar i kopparmaterialet, och dess påverkan på transport av väte i koppar. Experimentellt avser man att fortsatt utföra elektrokemiska försök i syfte att bland annat gränssätta vid vilka förhållanden väteladdning av koppar kan ske, samt hur transport av väte i koppar sker som funktion av strömtäthet. Även fortsättningsvis finns planer på att utveckla känsligare mätmetoder för bestämning av väteinnehåll i koppar samt att bättre förstå befintliga metoders begränsningar i samma avseende.

Insatser rörande strålningseffekter på kapselmaterialen har också utförts av SKB, bland annat genom uppdaterade beräkningar av strålskador på koppar och segjärn (SKB TR-19-14). De nya resultaten överensstämmer med de uppskattningar som tidigare har gjorts. I beräkningarna antas konservativt att inga självläkningseffekter kan ske, något som ytterligare skulle reducera skadeomfattningen som en följd av strålning (SKB TR-19-12). SKB har även utfört experimentella undersökningar (SKB TR-19-12) i vilka kopparprover har exponerats för en ackumulerad gammastråldos på 100 kGy, vilket motsvarar den totala dos som kapseln kommer att utsättas för i ett verkligt slutförvar. SKB konstaterar att de

utökade experimentella undersökningarna bekräftar att ingen betydande påverkan kan påvisas, vilket är i linje med resultaten från utförda beräkningar som indikerar att strålskador kan förväntas ske i så liten omfattning av de sannolikt inte kan detekteras. SKB anger att det inte finns några planer på fortsatta insatser avseende direkta strålskador i kapselmaterialet.

I syfte att bland annat underbygga krav på maximal kopparhalt i segjärnsinsatsen har SKB låtit utföra teoretiska studier för att analysera utfällningar av kopparpartiklar i järnmaterialet. Arbetet grundar sig på kvantkemiska beräkningar av växelverkan mellan lösta atomer, föroreningsatomer och vakanser i både järn (Gorbatov m.fl. 2016) och koppar (SKB R-16-07). Dessa beräkningar utgör utgångspunkten för formuleringen av den experimentella verksamhet som planeras för att adressera samma frågeställning, det vill säga utfällning av kopparpartiklar i segjärn.

### ***SSM:s bedömning***

Liksom för SKB:s redovisning om kopparkorrosion konstaterar SSM att SKB:s redovisning i Fud-program 2019 avseende koppars materialegenskaper till viss del överlappar delar av den komplettering till tillståndsansökningarna (enligt både miljöbalken och kärntekniklagen) rörande slutförvaret för använt kärnbränsle som inlämnades till regeringen under 2019 (SKB TR-19-15). SSM:s detaljerade bedömningar rörande betydelsen av väteförsprödning respektive strålnings effekter på koppar i perspektivet långsiktig strålsäkerhet återfinns i myndighetens yttrande till regeringen avseende SKB:s komplettering (SSM2019-3222-4, avsnitt 8 respektive 9).

SSM konstaterar att SKB har gjort betydande insatser kopplat till forskning som rör krypning av koppar, med fokus på fördjupad förståelse av fosfors roll och dess inverkan på kapselkoppars krypegenskaper och duktilitet. Insatserna innefattar teoretiska studier på atomskala, klassisk krypmodellering och experiment på provstavsskala. SSM anser att detta breda angreppssätt med kombinerade teoretiska och experimentella studier ger goda förutsättningar för en utökad förståelse för fosfors roll i koppar. SSM noterar att SKB har lagt stora resurser på att experimentellt lokalisera fosfor i korngränser och delar SKB:s uppfattning att fler insatser behövs i detta avseende för att experimentellt validera orsaken till varför fosfor är en avgörande faktor till observerad förbättrad duktilitet efter fosforlegering (SKB R-17-19). I detta sammanhang är också den kvantkemiska delen av programmet en viktig del med syftet en fördjupad förståelse av hur tillsatser och föroreningar stabiliseras i korngränser. En vidareutveckling av denna del av programmet skulle i enligt SSM:s bedömning kunna vara att använda de interaktionsenergier som beräknats för olika Cu-P-X-system till att parametrisera kraftfält för tillämpning i molekylodynamiksimuleringar. Syftet med en sådan insats skulle i så fall vara att fånga dynamiska processer och temperaturberoenden utan en föregående ansats av exempelvis ett Arrheniusbeteende.

SKB:s modellering visar på att en minskning av gapet mellan hölje och insats reducerar dragspänningarna. SSM anser därför att SKB bör, i samband med optimering av den detaljerade kapselutformningen, utforska möjligheter för anpassning i syfte att minska dragspänningarnas omfattning och utbredning. SSM konstaterar dock i detta avseende att tillverkningsförutsättningarna avgör i vilken utsträckning en sådan optimering av kapselns detaljutformning som är genomförbar.

Rörande potentiell väteladdning av koppar i slutförvarsmiljö bedömer SSM att sulfidkorrosion av koppar är den process som skulle kunna ha störst betydelse för tillförsel av väte till metallen, följt av en viss initial väteladdning från väte bildat genom radiolys under inverkan av gammastrålfältet. SSM anser dock att det finns betydande stöd för att sulfidkorrosionen och en eventuell associerad väteinträngning kommer vara liten för det stora flertalet kopparkapslar som en följd av den generellt mycket begränsade tillförseln av sulfidjoner (beroende på generellt låga sulfidhalter och låga grundvattenflödes-hastigheter i anslutning till deponeringshålen).

I SSM:s granskning av SKB:s kompletterande underlag (SKB TR-19-15) betonade myndigheten att studier som dels simulerar väteladdning av koppar i slutförvarsmiljö, dels inverkan av väteladdning i perspektivet spänningsskorrosion är berättigade åtminstone fram till en kommande ansökan om driftstart (SSM2019-3222-4, avsnitt 8). Dessa typer av insatser bör inbegripa användning av metoder med hög känslighet och detektionsförmåga, vilket även betonades i SSM 2019:22. SSM konstaterar att SKB:s planerade program också innefattar insatser av denna typ.

Avseende strålningsinducerade effekter på kapselmaterialen noterar SSM att de experimentella undersökningarna (SKB TR-19-12) har utförts på ren koppar och inte fosforlegerad koppar som är det material som kapselhöljet kommer att utgöras av. SSM anser att tillsatserna av fosfor potentiellt skulle kunna ge ett förändrat beteende hos materialet. Exempelvis kan antal och typ av defekter som uppkommer påverkas av en fosfortillsats. SSM anser därför att verifierande bestrålningsexperiment med fosforlegerad koppar skulle behöva genomföras. Det finns eventuellt även ett behov av att studera samverkans effekter med hög bestrålning, tillgång till en vattenfas samt hög temperatur. En samverkan mellan faktorerna strålning, tillgång till en vattenfas och temperatur skulle möjligen kunna ge upphov till en förändrad mikrostruktur och defektfördelning av betydelse för kapselns mekaniska egenskaper. SSM anser därmed att det finns ett värde i att fortsätta med dessa typer av experiment som en del av ett forskningsprogram för en fördjupad grundläggande förståelse för processer som kan ha en påverkan på kapselns integritet. Huvuddelen av dessa studier bör kunna utföras med sedan länge etablerade metoder. Avseende SKB:s fortsatta arbete med att bättre underbygga kravet på kopparhalten i segjärnsinsatsen anser SSM att den kombinerade experimentella och teoretiska verksamheten bör ge goda förutsättningar till att allsidigt belysa frågeställningen kring utfällning av kopparpartiklar i järn.

### 7.3.3 Konstruktion

#### ***SKB:s redovisning***

SKB arbetar med att formulera krav på kapselkoppars hållfasthet och duktilitet för inkapsling, transport och slutförvaring. För närvarande används en materialspecifikation för kopparkomponenterna som anges i (SKB TR-10-14). SKB har tydliga krav på halten fosfor, svavel och väte. Vidare, anges ett ungefärligt krav på maximal syrehalt. SKB anger att man har för avsikt att utreda och förtydliga acceptanskrav med avseende på material-sammansättning, exempelvis maximal syrehalt i kopparihöljet.

SKB anger att de har uppdaterat designanalysen i samarbete med Posiva för att förtydliga krav samt inkludera de nya verifierande spännings- och skadetålighetsanalyserna som

tagits fram. För analyserna av de mekaniska lastfallen har de nya konstruktionsförutsättningarna från 2017 beaktats. Kraven på kapselns hållfasthet och tillåtna defektstorlek har formulerats deterministiskt baserat på konstruktionsförutsättningar och materialstandarder. För att värdera kapselns robusthet har SKB även genomfört probabilistiska analyser av såväl det isostatiska lastfallet som skjuvlastfallet.

Vidare anger SKB att, trots att de mekaniska belastningarna varierar mellan delar av kapseln i slutförvaret har inte kapselns hållfasthetskrav anpassats för detta. De acceptabla defekternas storlek varierar i olika delar av insatsernas tvärsnitt, men i övrigt har kravbilderna med avseende på defekter och materialegenskaper varit enhetlig för insatsen. SKB ser möjligheter att mildra standardkrav med avseende på materialegenskaper och tillåtna defektstorlekar, samtidigt som kapselns integritet behålls. SKB anger vidare att de kan motivera att inte alla delar av kapseln behöver provas.

För att anpassa kraven till förändringar i konstruktionsförutsättningar, variationen i mekaniska belastningar, och den systematiska variationen av egenskaperna inom kapseldelar, anger SKB att de utvecklar kravbilderna och gör en bedömning av kravuppfyllnad i PSAR.

Tillåtna hanteringslasterna utreds liksom tillåtna storlekar på hanteringsdefekter i kopparhöljet. För kopparhöljet genomförs nya utredningar rörande den största kvarstående deformation som kopparhöljet kan komma att utsättas för. I dessa utredningar används både elasto-plastiska materialmodeller och materialmodeller som innehåller krypning. De olika lastfallen värderas med avseende på om dessa är deformationsstyrda eller kraftstyrda för kopparhöljet. Vidare, kommer SKB att beakta inverkan av excentriskt placerad insats. Därefter anser SKB att kraven på kopparmaterialets duktilitet kommer kunna revideras och en förnyad bedömning av kravuppfyllnad göras.

SKB anger att preliminära resultat visar att det finns förutsättningar att revidera kravet på brottförlängning i segjärnet. Kravställningen med avseende på idealiserade defekter i segjärnet utreds vidare, och även här indikerar preliminära resultat att dessa krav kan mildras, framför allt för de centrala delarna av insatsen. SKB utreder vidare hur detta ska kontrolleras i serietillverkning. För närvarande används en materialspecifikation för segjärnet som anges i (SKB TR-10-14).

### ***SSM:s bedömning***

SSM ser positivt på att SKB har för avsikt att arbeta vidare med att utreda och förtydliga kraven på materialsammansättning. SSM anser att materialspecifikationen, förutom krav på halten fosfor, svavel, väte och syre, även bör innehålla krav på föroreningar. Ett exempel är nickel och järn som skulle kunna samverka med fosfor. Även syre bör ha en tydligare maxgräns än nuvarande krav på några tiondels ppm.

SSM ser positivt på att SKB har uppdaterat designanalysen för att förtydliga krav samt arbeta in de nya verifierande spännings- och skadetålighetsanalyserna som tagits fram. Vidare ser SSM positivt på SKBs arbete med att formulera kraven på kapselns hållfasthet och tillåtna defektstorlek deterministiskt baserat på konstruktionsförutsättningar och materialstandarder, samt att SKB även genomfört probabilistiska analyser av såväl det isostatiska lastfallet som skjuvlastfallet.

I bedömningen av 2016 års Fud-program påpekade SSM att kvalificeringen av tillverkningsprocesserna med hänsyn till exempelvis variation i materialegenskaper och defektbilder utgör grunden till SKB:s fortsatta arbete med designanalysen och skadetålighetsanalyserna som enligt SKB ska vara slutförda till kommande preliminära säkerhetsredovisning, PSAR. SSM ser positivt på SKBs fortsatta arbete med utveckling av kravbilderna med hänsyn till variationen i mekaniska belastningar och variationen av egenskaperna inom kapseldelar. Vidare, ser SSM positivt på arbetet med utredning av tillåtna hanteringslaster samt den största kvarstående deformation som kopparhöljet kan komma att utsättas för.

SSM noterar att utvecklingsarbetet med kravställningen på idealiserade defekter i segjärnet framskrider och ser positivt på den pågående utredningen av hur kontroll ska ske i serietillverkning.

SSM ser positivt på det arbete som pågår med att optimera gjutningen av kapselns insats och uppmuntrar SKB att ta tillvara denna kunskap och erfarenhet och förtydliga acceptanskraven med avseende på materialsammansättning, etc. som för närvarande anges i SKB TR-10-14. Eftersom bestrålning kan ha en försprödande effekt på segjärnet är det viktigt att studera materialets beteende och ställa väl underbyggda krav på maximal kopparhalt i materialspecifikationen. SSM anser att tydliga krav i en framtida materialspecifikation, där man tar hänsyn till konstruktionskrav och tillverkningskrav, ger en bra grund för kvalitetssäkrad serietillverkning. Exempelvis har SSM även tidigare nämnt att SKB vid kravställning av maximal kopparhalt i insatserna bör ta hänsyn till att tillverkningsprocessen kan medföra att koppar blir inhomogent fördelad. Vidare, bör SKB tydliggöra krav på mikrostruktur, med avseende på till exempel perlithalt, modulstorlek, etc. samt krav på defekter så som porer, oxidinneslutningar, etc.

### 7.3.4 Tillverkning, kontroll och provning

#### ***SKB:s redovisning***

I avsnitt 9.4 i Fud-rapport 2019 redovisar SKB arbetet med tillverkning, kontroll och provning av kapseln under fyra olika rubriker; utformning och bearbetning av koppardelar, gjutning av kapselns insats, svetsning samt kontroll och provning.

Rörande utformning och bearbetning av koppardelar redovisar SKB att de planerar tillverka koppardelarna genom gjutning, varmbearbetning och skärande bearbetning enligt standarder och branschpraxis hos metallverk. SKB anger att man har byggt upp kunskap om koppars hållfasthet och deformationsmotstånd, samt att man har erfarenhet av varmbearbetning.

SKB redovisar att mätningar av koppars maximala flytspänning vid varmbearbetning kan modelleras som en funktion av en temperaturkompenserad deformationshastighet. Modellen kan användas för att interpolera koppars flytspänning och ingå i kraftberäkningar för bearbetning av arbetsstycken från koppargöt. Eftersom temperatur och deformationshastighet påverkar koppars nybildning av kristallkorn modelleras ofta den nybildade kornstorleken som funktion av den temperaturkompenserade deformationshastigheten. Modellerna kan användas för att välja en lämplig kombination av temperatur och presshastighet i de avslutande bearbetningsstegen för att metallstrukturen ska bli tillräckligt finkornig.



Gällande utveckling kring utformning och bearbetning av koppardelar planerar SKB att studera och beskriva hur härdningsmekanismer påverkar hållfastheten för kapselkopporn utifrån mätningar gjorda av sträckgräns, brottgräns, kornstorlek och temperatur, ta fram modeller för flytspänning och nybildad kornstorlek vid varmbearbetning, utreda kravet på medelkornstorlek i koppardelarna samt utreda och förbättra metoderna för kvalitetssäkring av fosforhalten och övriga specifikationer av den kemiska sammansättningen och densiteten i koppardelarna, liksom hur jämnare kornstorlek ska kunna uppnås. SKB kommer också att utveckla varmformningen av lock och botten för att förbättra hållfastheten, minska spridningen i kornstorlek i färdig produkt samt minimera risken för smidesveck. Dessutom planerar SKB extrudering av kopparrör och smidning av kopparlock med lämpliga processparametrar för serietillverkning, samt provning och kontroll mot krav och acceptanskriterier i syfte att verifiera att koppardelarnas egenskaper uppnås och kunna vidta korrigerande åtgärder i tillverkningsprocesserna.

Därtill genomför SKB i samarbete med Posiva utveckling av dornpressning som en ytterligare referensmetod för tillverkning av kopparrör. Arbete återstår för att utveckla dornpressningen, verifiera att jämn kornstorlek kan uppnås även i den integrerade botten på röret samt att kartlägga vilka defekter som kan uppstå vid dornpressning och utveckling av acceptanskriterier för dessa. SKB redovisar också avsikt att utreda hur verifiering av koppertillverkning med dornpressning kan genomföras.

Kring gjutning av kapselns insats redovisar SKB att den mekaniska hållfastheten måste vara tillräcklig i hela insatsen samt att det inte får kvarstå några oacceptabla fel eller avvikelser i insatsen för att trygga strålsäkerheten under transport och deponering samt för att bidra till ett säkert förvar. SKB har till kapselns insats valt ett ferritiskt segjärn som balanserar hållfasthet och seghet.

SKB har undersökt struktur och grafitnodulstorleksfördelning hos provtillverkade segjärnsinsatser och simulerat stelning- och svalningsförlopp. Forskningen visar att PWR-insatser stelnar mycket långsammare än BWR-insatser. Små grafitnoder bildas vid snabb stelning och grövre noder vid långsam stelning, men variationer i mekaniska egenskaper kan inte helt förklaras av skillnaderna i nodulstorlek.

Järn och stål kan vid lagring efter avkylning eller deformation bli hårdare och sprödare. SKB bedömer efter genomgång av tillgänglig litteratur och av lastfallen i slutförvaret att varken statisk eller dynamisk deformationsåldring påverkar kapselinsatsens mekaniska egenskaper eller funktioner i slutförvaret. Dels krävs plasticerande laster för att fenomenen ska uppstå medan kapselinsatsen är dimensionerad så att plasticering inte uppnås utom i osannolika fall, dels uppnås i slutförvaret inte de temperaturer som krävs för att dynamisk åldring ska uppträda.

SKB har under Fud-perioden gjutit både BWR- och PWR-insatser för att utveckla gjutprocesserna och jämföra olika gjuteriers kvalitetsnivåer. Segjärnets egenskaper, hållfasthet och struktur kommer att mätas och analyseras för flera höjder och provlagen.

SKB kommer att undersöka hur en ingjuten stålkonstruktion samverkar med segjärns-smältan under gjutningen samt om det påverkar segjärnets egenskaper. Dessutom kommer dragprov av segjärn under förhöjda temperaturer genomföras. Dynamisk deformationsåldring och eventuell sprödhet beroende av temperatur ska också utvärderas för två olika segjärnsinsatser.



Rörande svetsning påpekas att SKB:s referensmetod för sammanfogning av kapselns delar är friktionssvetsning (FSW, Friction Stir Welding). Även finska Posiva valde under 2014 friktionssvetsning som referensmetod. SKB och Posiva har sedan dess samarbetat för att utveckla och verifiera svetsmetodiken. SKB anger att FSW resulterar i en svetsfog med materialegenskaper som är jämförbara med grundmaterialet

Sedan Fud-program 2016 har inriktningen varit att utveckla svetsprocessen med avseende på industrialisering och automatisering samt att undersöka hur oxider påverkar svetsgodsets duktilitet och korrosionsegenskaper. Duktiliteten har undersökts genom att variera oxidjockleken på arbetsstyckets fogytor och sedan utföra dragprovning och krypprovning på svetsat material. Undersökning av korrosionsegenskaperna har skett med elektrokemiska studier samt beräkningar av kemisk upplösning av oxidstråk. På så sätt har ett (preliminärt) processfönster för syrgashalten i gasskyddet under svetsning tagits fram.

För att säkra funktionen av den s.k. kaskadregulatorn som styr svetsverktygets rotationshastighet och därmed också verktygstemperatur, har en s.k. fail-safe-funktion utvecklats och testats. Funktionen innebär att regulatorn styr enbart på värmestillsättning om verktygstemperatursignalen uteblir.

Svetsverktygets tryckkraft mot arbetsstycket regleras med den s.k. djupregulatorn. Sedan Fud-program 2016 har funktionen hos denna verifierats under ett antal fullvarvsvetsningar i arbetet mot ytterligare automatisering. Genom försöken har det visats att foglinjeavböjningen kan begränsas till mindre än 2 mm då en viss tapplängd användes och skulderdjupet hölls inom ett visst intervall.

I syfte att undersöka tillverkningstoleranser för lock och rör samt att förenkla fogberedningen har provsvetsning med en rak foglinje testats, istället för den tidigare utformningen med klack. Vid testerna med rak foglinje visade resultaten från förstörande- och oförstörande provning samma resultat som tidigare, d.v.s. inga diskontinuiteter förutom foglinjeavböjning mindre än 2 mm.

Tillsammans med Posiva kommer SKB att fortsätta arbetet med att förbereda svetsproceduren för kvalificering. Ytterligare utfallsprovning kommer att göras för att få fram processfönster för alla ingående parametrar. Fokus kommer att läggas på den nya foglinjeutformningen och toleranser för sammanfogningen av lock och rör.

Kring kontroll och provning redovisas att SKB skiljer mellan begreppen styrande- och accepterande kontroll. Den styrande kontrollen syftar till att kvalitetssäkra tillverkningsprocesserna medan den accepterande kontrollen görs för att säkerställa kapselns egenskaper och att inga oacceptabla fel eller avvikelser kvarstår.

SKB redovisar att de fysikaliska oförstörande provningsmetoder (OFP) som visat sig lämpliga för att detektera defekter i kapselns kopparhöljen och segjärnsinsatser, är baserade på ultraljud, magnetism och röntgen där ultraljud och röntgen kan detektera volymetriska defekter medan ytbrytande defekter kan detekteras med magnetism (virvelström). SKB anger att metoderna anpassats till kapselns geometri, dimensioner och material samt till förekommande defekters storlek, karaktär och orientering.

SKB redogör för att små kontaktytor mellan smidesverktyg och smidesämne liksom små verktygsradier ökar risken för att s.k. smidesveck bildas. Sådana smidesveck kan, p.g.a. sin storlek och orientering, inte accepteras. För att detektera smidesveck i kopparlock anger SKB att virvelströmsprovning visat sig vara framgångsrikt.

SSM har i tidigare granskningar påpekat avsaknaden av utvecklade OFP-tekniker för att prova hela insatsens homogena botten eller det inre området mellan kanälrören. SKB har som en följd av detta initierat en studie med syfte att applicera röntgenteknik för dessa områden. SKB anger att de preliminära resultaten av studien visar att provning med röntgen är möjlig särskilt mot bakgrund av att acceptanskriterierna troligen kan revideras.

SKB planerar att utveckla en kontrollordning för kapseln och därför genomföra utredningar där utgångspunkten är att använda SSM:s föreskrifter SSMFS2008:13 som bas, även om dessa är avsedda för mekanisk utrustning i kärnkraftverk. Där inte SSMFS2008:13 anses tillämpbar för kapseln avser SKB att utnyttja andra vägledningsdokument och normer från IAEA som stöd för kontrollordningens principer och strategier. SKB anger att kontrollordningen syftar till att fastställa hur ett system och en strategi för produktens kravuppfyllnad och kvalitetssäkring ska uppfyllas. I detta ska även ingå att ange hur de ingående aktiviteterna ska rapporteras och dokumenteras.

I kommande steg avser SKB att föreslå detaljerade acceptanskriterier för OFP av kapseln. För att åstadkomma detta behövs fortsatta analyser av de defekter som kan förväntas i kapselns delar och svetsförband. Resultatet kommer att sammanställas i defektbeskrivningar. Arbetet med att utveckla tekniken för OFP kommer att fortlöpa parallellt där de framtagna detaljerade acceptanskriterierna beaktas. Framförallt inriktas arbetet på att utveckla kompletterande ultraljudsteknik för volymetrisk provning av insatsen och alternativ teknik för ytprovning av koppardelarna. Teknikutvecklingen kommer också att inriktas mot storleksbestämning av förväntade defekter. Därutöver planerar SKB att se över metodiken som används för att prova utgångsmaterialet och anpassa standardmetoder med hänsyn till teknikutveckling etc.

SKB redogör för att det bedrivs fortsatta parameterstudier av geometri, material och defekter för att klargöra hur dessa påverkar kapselns provbarhet. Dessa studier ska sedan ligga till grund för krav på egenskaper såsom ljuddämpning och ytfinhet. SKB anger också att det pågår fortsatt utvecklingsarbete där simuleringsteknik och artificiella defekter utnyttjas.

Avslutningsvis anger SKB att svetsfogen kommer att provas med ultraljudsprovning och röntgen i den framtida produktionen av kapslar, och att metodik för kontrollerna liksom krav på svetsförbandet behöver fastställas för att sedan bli styrande för konstruktionen av inkapslingsanläggningen. Förutom att kunna detektera förväntade defekter kan det också bli nödvändigt att kunna karaktärisera och höjdbestämma dessa. Utifrån den kravbilden återstår det att fastställa teknik för OFP. När det gäller krav på förekomsten av oxider konstaterar SKB att eftersom det saknas OFP-teknik för detektering av oxid så måste svetsprocessen kvalificeras med avseende på maximalt tillåten syrehalt i gasskyddet.

### ***Remissinstansernas synpunkter***

*Styrelsen för ackreditering och teknisk kontroll (Swedac)* noterar att i avsnitt 9.4.4 Kontroll och provning behandlas program för kontroll och provning som är under utveckling. Swedac noterar vidare att vissa delar av utredningarna har genomförts i samarbete med ackrediterade kontroll- och kvalificeringsorgan. Swedac anser att det är av vikt att det säkerställs att den aktör som senare utför kontroll och provning är oberoende och opartisk samt har rätt kompetens för verksamheten. Swedac anser vidare att genom att ställa krav på att kontroll och provning ska utföras av ackrediterade organ för respektive

uppgift skulle det säkerställas att metodiken som tillämpats har kvalitetssäkrats, vilket skulle öka tilltron till resultaten.

### ***SSM:s bedömning***

I bedömningen av 2016 års Fud-program påpekade SSM att det saknades en tidplan som redovisar utveckling av tillverkningsprocesserna och kvalificering av dessa i industriell skala. SSM bedömer fortfarande att SKB, när förutsättningarna för det fortsatta arbetet klarlagts, behöver ta fram en principiell tidplan som redogör för hur initialtillståndet ska uppnås vid tidpunkten för rutinmässig drift.

SSM noterar att SKB:s arbete med att utveckla varmbearbetningsprocesserna avseende koppardelar fortlöper. SKB:s utvecklingsarbete med att bygga upp kunskap om hur materialets mekaniska egenskaper påverkas av valda varmbearbetningsprocesser kommer att ge en bra grund till formuleringen av konstruktionskrav och tillverkningskrav.

SSM noterar att SKB:s arbete med provtillverkning av segjärnsinsatser fortlöper. SSM ser positivt på SKB:s arbete med att utveckla och optimera gjutprocesserna med hänsyn till de konstruktionskrav som ställs på hållfasthet, provbarhet, etc.

SSM bedömer att SKB beaktat SSM:s kommentarer om vikten av fortsatta studier för att klargöra hur den kopparoxid som bildas vid svetsningen inverkar på materialets hållfasthetsegenskaper. SSM noterar att de försök med varierande grad av oxid på fogytorna, hållfasthetsprovningar, elektrokemiska studier och beräkningar har resulterat i ett preliminärt processfönster för svetsningen.

SSM noterar att SKB:s arbete med att automatisera svetsprocessen fortlöper. SKB:s utvecklingsarbete med att fastställa vilka värden på svetsverktygets rotationshastighet och tryckkraft som måste innehållas för att erhålla önskade egenskaper och toleranser hos svetsförbandet, bedöms som ändamålsenligt. SSM noterar också att SKB utvecklat en stödjande funktion för styrning av verktygstemperaturen om den ordinarie styrningen via temperatursignal inte fungerar. SSM bedömer att det är till fördel för tillverkningsprocessen om en enklare färgberedning kan användas om det kan visas att denna ger likvärdiga egenskaper för svetsförbandet.

SSM noterar att utvecklingsarbetet för att ta fram provningsteknik framskrider där SKB anger att s.k. smidesveck i kopparlocket kan detekteras med virvelströmsteknik. SSM ser positivt på att SKB initierat en studie för att undersöka möjligheten att prova insatsens centrala delar med röntgenteknik.

När det gäller kontrollordningen så gör SSM bedömningen att SKB:s utgångspunkt om att tillämpa SSM:s föreskrifter om mekaniska anordningar i kärntekniska anläggningar (SSMFS2008:13) som grund för inriktningen, är lämplig. SSM delar också att SKB:s syn på kontrollordningens syfte och innebörd.

SSM anser att det är viktigt att SKB:s arbete med att fastställa defektbeskrivningar för kapseldelar och svetsförband prioriteras så att acceptanskriterier kan föreslås och för att ge förutsättningar för kvalificering av den föreslagna OFP-tekniken. En förutsättning för kvalificeringar är att fastställa krav på egenskaper hos provobjektet genom parameterstudier. SSM ser positivt på att SKB förutom experimentella studier baserade på testblock med verkliga defekter, även utnyttjar simuleringsteknik och artificiella defekter. När det

gäller krav på renhet och förekomst av oxider vid svetsning så instämmer SSM i att sådana krav måste hanteras i svetsprocedurskvalificeringen.

## 7.4 SSM:s samlade bedömning

SSM har i innevarande kapitel redovisat myndighetens bedömningar av de områden i Fud-program 2019 som rör omhändertagande av använt kärnbränsle, vilka har delats in i följande avsnitt:

- Genomförandeplan för använt kärnbränsle
- Använt kärnbränsle
- Kapsel

Forsknings- och utvecklingsaspekter kopplade till frågeställningar som rör använt kärnbränsle redovisas och bedöms inom ramen för områdena icke-reguljära kärnbränslen och bränsleintegritet, bränslekaraktärisering, resteffekt och strålning, bränsleinformation och optimering inför inkapsling, kriticitet, bränsleupplösning, radionuklidspicering och lösligheter samt åldring av kärnbränsle.

SKB:s redovisning avseende fortsatt arbete med omhändertagande av skadat bränsle bedöms av SSM som rimligt ändamålsenligt. Avseende bränslekaraktärisering bedöms SKB ha identifierat relevanta behov för att utveckla metoder för bränslekaraktärisering, sammanställning av information om det använda kärnbränslet samt hanteringsstrategier. SSM bedömer att SKB:s planer avseende kvalitetssäkring av bränsleinformation är godtagbara men anser även att det vore värdefullt om SKB förtydligade kopplingen till sitt arbete med informationsbevarande. SSM anser att SKB:s program kopplat till kriticitets-säkerhet är rimligt ändamålsenligt med ett fokus mer på analys än utveckling i kommande Fud-period. SSM bedömer att SKB:s forskning kring frågeställningar som rör bränsleupplösning är ändamålsenlig, liksom de av SKB redovisade planerna för det fortsatta arbetet med löslighet av radionuklider.

SKB:s forsknings- och utvecklingsarbete som rör kapseln som inom ramen för SKB:s metod för slutförvaring av använt kärnbränsle (KBS-3) används för att innesluta det använda bränslet efter slutförvarets förslutning är indelat i frågeställningar som rör långsiktiga kemiska och mekaniska degraderingsprocesser, liksom frågeställningar kopplat till konstruktion, tillverkning, kontroll och provning av kapseln.

SSM konstaterar att SKB:s redovisning i Fud-program 2019 avseende kopparkorrosionsprocesser i stor utsträckning överensstämmer med det kompletterande material som inlämnades av SKB till regeringen under 2019 i samband med den fortsatta prövningen av tillståndsansökningarna (enligt både miljöbalken och kärntekniklagen) rörande slutförvaret för använt kärnbränsle (SKB TR-19-15). SSM:s detaljerade bedömningar avseende betydelsen av dessa processer, liksom väteförsprödning och strålningseffekter på koppar, för långsiktig strålsäkerhet återfinns i myndighetens granskningsrapport av kompletteringen (SSM2019-3222-4). Generellt anser SSM att SKB har ett gediget forsknings- och utvecklingsprogram för en fördjupad grundläggande förståelse för de processer som har betydelse för kapselns integritet, inklusive kopparkorrosion.

SSM konstaterar att SKB har gjort betydande insatser kopplat till forskning som rör krypning av koppar. Arbetet innefattar teoretiska studier på atomskala, klassisk



krypmodellering och experiment på provstavsskala. SSM anser att detta breda angreppssätt med kombinerade teoretiska och experimentella studier ger goda förutsättningar för en utökad förståelse för bland annat fosforns roll i koppar.

SSM bedömer att det utvecklingsarbete som SKB har utfört och planerar att genomföra avseende konstruktion, tillverkning, kontroll och provning är godtagbart.



## 8 Transporter

SSM kommenterar i detta kapitel samlat redovisningen avseende transporter i Fud-program 2019. Bedömningarna avser SKB:s redovisning om transportsystemet i avsnitt 2.3 samt redovisningen av genomförandeplanen för transporter i avsnitt 3.6.

### ***SKB:s redovisning***

SKB:s redovisar i Fud-program 2019 en överskådlig bild av det nuvarande transportsystemet vars uppgifter är att ombesörja transport av använt kärnbränsle från de svenska kärnkraftverken till Clab i Oskarshamn och transport av avfall från kärnkraftverken och Studsvik till SFR i Forsmark. I redovisningen nämns de befintliga huvudelementen i transportsystemet, bestående av fartyget m/s Sigrid, tre olika typer av landtransportfordon samt ett antal transportbehållare. Det anges vidare att valet av transportfordon och transportbehållare bestäms av avfallstypen och de lagkrav som ställs för dess transport. De avfallstyper som berörs är kortlivat låg- och medelaktivt avfall samt långlivat avfall.

Transportsystemets planerade framtida kapacitet beskrivs som fartyget m/s Sigrid, avfallstransportbehållare, bränsletransportbehållare, kapseltransportbehållare samt de i dag gällande och kända restriktionerna och förutsättningarna avseende terminalfordon, tid för varje transport inklusive lastning och lossning, servicebehov för fartyg och behållare, isförhållanden etc. Transportbehovet kommer att öka under hela 2030-talet när SKB:s nya anläggningar tas i drift för att kunna ta emot även inkapslat kärnbränsle från Clink och ökade mängder rivningsavfall från kärnkraftverken. Enligt SKB:s uppskattning kommer under denna period att ske en fördubbling av transporter med fartyget m/s Sigrid från 20 till 40 resor per år.

Transportsystemet kommer att vara som mest belastat när SFL är i drift 2045. SKB har i en egen utredning konstaterat att den förväntade transportkapaciteten för denna period kommer att täcka transportbehovet. Det uttrycks emellertid vissa farhågor om att transportlogistiken kan försvagas om vissa praktiska transportmoment inte hanteras på ett adekvat sätt. Det anges också att förutsättningarna för den ovannämnda utredningen av det årliga transportbehovet delvis bygger på ej fastlagda antaganden och att det i kommande arbetet med att utveckla och anpassa transportsystemet kommer dessa att genomarbetas.

I redovisningen beskrivs översiktligt avfallsposter såsom styrtstavar samt låg- och medelaktivt avfall som ska transporteras till Clab respektive till SFR. Den ökade volymen av lågaktivt avfall planeras transporteras med m/s Sigrid i kampanjer. Enligt SKB:s planering kommer även drift- och rivningsavfall från AB SVAFO, Studsvik Nuclear AB och Cyclife Sweden AB i Studsvik samt rivningsavfall från Ågesta att behöva transporteras till SFR. Prognoserna för dessa anläggningar är osäkra men volymen är begränsad jämfört med avfallet från kärnkraftverken.

Allt långlivat avfall från kärnkraftverken, men även likartat som härrör från Studsvik Nuclear AB:s verksamheter samt från sjukvård, forskning och industri, som ska förflyttas till SFL kommer att transporteras inom en tioårsperiod. För transport av ståltankar kommer att användas en ny lämpligt anpassad transportbehållare (ATB 1T). Ett kontrakt med en amerikansk leverantör (Holtec International Power Division) har redan tecknats och enligt rapporten förväntas den första leveransen äga rum sommaren 2020. Av rapporten framgår att utöver den planerade transportbehållaren kan ytterligare typer

behöva utvecklas och att behovet styrs av vilka tillkommande avfallsbehållare som behöver utvecklas.

Dagens transporter med använt kärnbränsle i bränsletransportbehållare till Clab kommer att fortsätta på motsvarande sätt till Clink så länge det finns reaktorer i drift. Nya bottenstöddämpare till de befintliga bränsletransportbehållarna har anskaffats och SKB planerar att ansöka om svensk validering våren 2020. Ett kontrakt för leverans av fem eventuellt sex nya bränsletransportbehållare (HI-STAR 80) är tecknat sedan 2013 med samma leverantör som för leverans av transportbehållare för långlivat radioaktivt avfall. Transportbehållaren har fått svensk validering och den första leveransen är planerad till våren 2021.

En ny transportbehållare benämnd KTB kommer att anskaffas när kopparkapslar med använt kärnbränsle ska transporteras regelbundet från Clink till Kärnbränsleförvaret. En utredning pågår om hur många kapseltransportbehållare som kommer att behövas och SKB tillsammans med olika leverantörer har tagit fram ett förslag på behållarens konstruktion och funktionalitet så att önskemål, förutsättningar och myndighetskrav uppfylls. Tidsåtgång för konstruktion och licensieringsprocessen skattas till cirka sju år. Första leveransen uppskattas ske ca 2029 i samband med provningen av enskilda system och resterande leverans kommer att äga rum succesivt under åren 2030-2034.

För att öka kompetensen för framtida specialtransporter i samband med rivningen av kärntechniska anläggningar meddelar SKB att det kan vara till fördel att utföra externa transportuppdrag. SKB tillkännager också att specialtransport av udda komponenter ännu inte har studerats, men att antalet sådana transporter rimligtvis kommer att vara få.

### ***Remissinstansernas synpunkter***

*Oskarshamns kommun* noterar att transporter behandlas på ett flertal platser i Fud-program 2019. Kommunen anser att det emellertid inte finns något tydligt fokus på hur miljö- och klimatpåverkan från dessa transporter kan begränsas. Kommunen anser därför att detta bör behandlas i ett särskilt kapitel i Fud-program 2022.

### ***SSM:s bedömning***

SSM:s bedömning av SKB:s redovisning för transportsystemet baseras främst på de åtgärder som vidtagits från observationerna som gjordes vid granskningen av Fud-program 2016 och också på de villkor som regeringen har fastställt med avseende på transport.

SSM noterar att en framtida uppskattning avseende transportlogistik och transportsystemets kapacitet inkluderas i SKB:s redovisning. Samtidigt konstaterar SKB att denna uppskattning delvis bygger på ej fastlagda antaganden och att i kommande arbete med att utveckla och anpassa transportsystemet kommer dessa att genomarbetas. SSM är av samma åsikt och vill därför uppmuntra SKB att fortsatt utreda frågan.

I sin granskning av Fud-program 2016 uttryckte SSM önskemål om en beskrivning av transportverksamheter som planeras genomföras utanför SKB:s nuvarande system. Ett exempel är transport av stora rivningskomponenter som kräver specialtonnage. SKB:s svar på frågan i den här redovisningen är att specialtransport av udda komponenter som eventuellt uppkommer i samband med rivningen av kärnkraftverken ännu inte har



studerats. SKB motiverar sitt svar på det faktum att transportlogistiken nu har förenklats genom beslutet att segmentera reaktortankarna för BWR-reaktorerna, i stället för att deponera dem hela. SKB bedömer att det handlar bara om ett fåtal stora rivningskomponenter som kan komma att kräva specialtransport. SSM förstår motiveringen men anser att SKB bör återkomma till frågan i kommande Fud-redovisning med en konkret redovisning för de åtgärder som avses bli vidtagna för att säkerställa transportsystemets bemanningskompetens i framtida specialtransporter.

SSM vill påpeka att framtagandet av de nya transportbehållarna är en förutsättning för att SKB ska kunna genomföra transporter av långlivat låg- och medelaktivt avfall samt använt kärnbränsle enligt föreliggande planer. SSM vill därför understryka betydelsen av samordning och samarbete inom SKB och med avfallsproducenterna så att transportbehållarens licensiering sker vid rätt tidpunkt. Detta gäller även transport av radioaktivt avfall från European Spallation Source ERIC (ESS) i Lund till ett slutförvar där både lämpliga avfallstransportbehållare och möjligheten till olika transportvägar är viktiga förutsättningar för säker överföring av avfallet.



## 9 Kärnämneskontroll

### 9.1 Övergripande

#### *SKB:s redovisning*

I Fud-program 2019 avsnitt 2.4 redovisar SKB en övergripande sammanfattning av kärnämneskontrollen och i avsnitt 8.7 ges mer detaljerad information av pågående och planerat arbete inom kärnämneskontroll för Clink och Kärnbränsleförvaret. Programmet innefattar sju identifierade områden och ska enligt SKB:s beskrivning säkerställa att utvecklingsarbetet genomförs sammanhållet samt möjliggöra utvecklingen av ett system för verifiering och kontinuerlig kännedom (*Continuity of Knowledge*) om kärnämnet i hela KBS-3-systemet. Kärnämneskontroll har därutöver inkluderats som en del i flera andra avsnitt av Fud-program 2019, t.ex. i avsnitt 3.3.4 där SKB ger en översiktlig beskrivning av kärnämneskontrollaspekter för slutförvaret för långlivat avfall (SFL).

Inom forsknings- och utvecklingsarbetet för Clink och Kärnbränsleförvaret deltar SKB i flera nationella och internationella samarbetsorgan, forskningsprojekt och möten.

#### *SSM:s bedömning*

SSM ser positivt på att SKB identifierat principiella steg i kärnämneskontrollen som ska säkerställa kontinuerlig kännedom om kärnbränslet i KBS-3-systemet, något som efterfrågades i SSM:s granskning av Fud-program 2016. SSM ser vidare positivt på att SKB har breddat sitt forsknings- och utvecklingsprogram inom kärnämneskontroll. SSM noterar dock att SKB i Fud-program 2019, i likhet med Fud-programmen 2013 och 2016, är sparsamma med att redovisa resultat från sitt forsknings- och utvecklingsarbete inom kärnämneskontroll. I framtida redovisningar önskar SSM att SKB mer utförligt beskriver uppnådda resultat samt inkluderar relevanta referenser.

SSM ser positivt på att SKB avser beakta krav rörande kärnämneskontroll i planeringen av SFL. Frågor att ta hänsyn till är hur kärnämneskontrollen påverkas av anläggningens lokalisering och utformning av anläggningen samt kravbildens vid konditionering av avfall som ska till SFL.

SSM anser att det är positivt att SKB:s personal deltar i olika samarbetsorgan och möten för att hålla sig uppdaterade kring utvecklingen av internationella krav för kärnämneskontroll vid slutförvar. SSM ser ett behov av att det arbetet prioriteras under kommande Fud-period.

### 9.2 Slutförvaret för långlivat avfall (SFL)

#### *SKB:s redovisning*

SKB redovisar att kärnämneskontroll ska beaktas i samband med konstruktion av anläggningen för slutförvaring av långlivat avfall samt att metoder behöver utformas för verifiering, märkningssystem, paketering, sigillhantering, transport och slutförvaring.

SKB redogör att en samlokalisering av SFL med SFR eller Kärnbränsleförvaret skulle kunna medföra en tidigareläggning av för drifttagande av SFL. SKB undersöker dock

fortsatt möjligheten att förlägga slutförvaringen av det långlivade avfallet på två geografiskt skilda platser.

SKB bedömer vidare att det kommer bli aktuellt att konditionera det långlivade avfallet innan deponering i SFL. Arbetet med att ta fram preliminära acceptanskriterier kommer fortsätta under kommande Fud-period.

Enligt SKB:s beskrivning kan kärnämne i det historiska avfallet, som i dag mellanlagras i bergsrumsförvaret AM (Aktivt mellanlager) i Studsvik, inte hanteras som bestämda enheter, vilket är fallet för bränsleelement. SKB bedömer därför att verifiering av kärnämnesinnehållet inte kommer vara behäftat med vissa osäkerheter.

### ***SSM:s bedömning***

SSM ser positivt på att SKB avser beakta kärnämneskontrollen redan under konstruktion av anläggningen samt avser ta fram metoder för t.ex. verifiering och sigillhantering. SSM konstaterar att då delar av det långlivade avfallet från verksamheten i Studsvik samt det historiska avfallet som mellanlagras i AM redan är under internationell kärnämneskontroll måste kontinuerlig kännedom om kärnämnet säkerställas. Frågor att ta hänsyn till är t.ex. val av metod för verifiering och utformning av framtida avfallsbehållare som ska skickas till SFL. SSM anser att detta arbete bör ske i dialog med SSM och de internationella kontrollorganen Euratom och IAEA.

SSM anser, liksom i granskningen av Fud-programmet 2016, att kärnämneskontrollens särskilda karaktär kan komma att medföra specifika utmaningar vid en eventuell samlokalisering av SFL med en annan slutförvarsanläggning, speciellt Kärnbränsleförvaret. SSM anser därför att SKB bör beakta kärnämneskontrollen redan i förstudiearbetet inför val av plats för SFL.

SSM anser, liksom i granskningen av Fud-programmet 2016, att SKB behöver inleda arbetet med att utveckla en process för verifiering av aktuellt kärnämne innan konditionering. Vidare bedömer SSM att SKB bör inkludera kärnämneskontrollaspekten vid framtagandet av preliminära acceptanskriterier för konditionering av avfall avsett för SFL.

## **9.3 Slutförvarssystemet för använt kärnbränsle**

### ***SKB:s redovisning***

SKB har i Fud-programmet 2019 identifierat principiella steg i kärnämneskontrollen som ska säkerställa kontinuerlig kännedom om kärnbränslet (*Continuity of Knowledge*). SKB pekar ut sju områden inom vilka olika forsknings- och utvecklingsprojekt kommer att fortsätta eller påbörjas under kommande Fud-perioder.

Under Fud-perioden har SKB samarbetat med Joint Research Center (JRC), Ispra som har utvecklat en metod för identifiering av enskilda kopparkapslar genom ultraljudsmätning av svetsfogen i kombination med avläsning av ett ingraverat mönster på insidan av kapsellocket. SKB anser att ytterligare utveckling är nödvändig för att se om metoden är tillförlitlig i produktionsmiljö och att den rimligaste identifieringsmetoden i dagsläget är att förlita sig på avläsningsbar märkning med ett identifieringsnummer på in- och utsidan av varje kapsel.

SKB avser att under kommande Fud-perioder påbörja en utredning av logistik för kärnämneskontroll i syfte att säkerställa att bränsleelement som verifierats i inkapslingsanläggningen inte kan förväxlas med overifierat kärnbränsle. SKB kommer även att fortsätta utvecklingen av en metodik för att kombinera mätningar av bränsledata med karakteriseringsmätningar för verifiering mot deklarerat innehåll av kärnämne.

För att säkerställa kontinuerlig kännedom om kärnbränslet på vägen från Clink till Kärnbränsleförvaret vill SKB använda speciellt utvecklade sigill som integreras i kapseltransportbehållaren. SKB föreslår att de som operatör ska få applicera sigillet i Clink och bryta det vid ankomst till Kärnbränsleförvaret utan närvaro av inspektörer från de internationella kontrollorganen. SKB avser hantera utvecklingen av sigillhanteringen i samarbete med JRC och kontrollorganen.

Utöver forsknings- och utvecklingsprojekt inom de sju områden som SKB beskriver i avsnitt 8.7 pågår aktiviteter inom bränslekaraktärisering (avsnitt 8.4) och bränsleinformation (avsnitt 8.5) som har bäring på kärnämneskontrollen. I dessa projekt planerar SKB ett fortsatt samarbete med flera internationella och nationella organisationer samt universitet, bl.a. Los Alamos National Laboratory, Oak Ridge National Laboratory, Uppsala universitet, Lunds universitet och EU-programmet Eurad.

### ***SSM:s bedömning***

SSM ser positivt på att SKB under Fud-perioden har breddat sitt forsknings- och utvecklingsprogram. SSM delar SKB:s bedömning att utpekandet av prioriterade områden ger SKB utökad möjlighet till en sammanhållen utveckling inom kärnämneskontrollen. SSM ser vidare positivt på att SKB inkluderat möjligheter för utveckling av kärnämneskontroll inom projekten för bränslekaraktärisering och bränsleinformation. SSM bedömer, liksom i granskningen av Fud-programmet 2016, att SKB:s utveckling av mätmetoder för använt kärnbränsle ger SKB möjlighet att möta nuvarande och framtida krav på verifiering.

SSM ser positivt på att SKB under kommande Fud-perioder avser utreda logistiken för förflyttningar av bränsleelement och färdiga kopparkapslar i Clink. SSM anser att detta är ett viktigt steg i SKB:s utveckling av ett robust system gällande kontinuerlig kännedom om kärnbränslet (*Continuity of Knowledge*) vilket är centralt för kärnämneskontroll. Under Fud-perioden har SKB, genom sitt samarbete med JRC, gjort vissa insatser i utvecklingen av en metod för identifieringsmärkning av färdiga kapslarna. Då SKB skriver att den metoden behöver vidareutvecklas och att det finns andra alternativa metoder (såsom märkning med identitetsnummer) anser SSM att SKB under kommande Fud-perioder bör intensifiera arbetet för att utveckla en metod som uppfyller kraven inom kärnämneskontrollen samt ger minimal påverkan på den långsiktiga säkerheten.

SSM ser positivt på att SKB deltar aktivt i internationella möten och arbetsgrupper och SSM anser att SKB:s arbete inom forsknings- och utvecklingsprogram fortsatt bör ske i dialog med de internationella kontrollorganen Euratom och IAEA, speciellt med fokus på det som ofta benämns som *Safeguards by Design*.

SSM ser också positivt på att SKB konstruktionen av kapseltransportbehållaren ska inkludera någon form av integrerat sigill (även om sigill och kärnämneskontroll inte nämns i avsnitt 3.6.4 Transport av använt bränsle). Ett integrerat sigill är väsentligt för kärnämneskontrollen.

SSM anser, liksom i granskningen av Fud-programmet 2016, att SKB i kommande Fud-perioder bör undersöka vilka verifieringsmetoder som passar icke-typiska kärnbränsleelement, detta i synnerhet då nya behållare har tillkommit för hantering av skadat bränsle från kärnkraftsanläggningarna. Gällande hanteringen av skadat bränsle på Clab vill SSM framföra att införande av ny utrustning avsedd att hantera enskilda bränsleelement eller stavar kan förändra förutsättningarna för systemet för kärnämneskontrollen vid anläggningen.

SSM konstaterar att SKB i Fud-program 2019 inte nämner det pågående arbetet med utkast till grundläggande teknisk beskrivning<sup>5</sup> (*Basic Technical Characteristic, BTC*) som är ett regelbundet ämne för diskussion med IAEA och EU-kommissionen i internationella forum.

SSM bedömer, i linje med tidigare bedömning av Fud-program 2016, att detta arbete behöver intensifieras med tanke på att SKB:s nuvarande tidsplan inbegriper påbörjat uppförande av Kärnbränsleförvaret under 2022 följt av Clink under 2024.

Under driftsättning av slutförvarssystemet kommer varje del för sig för att provas och slutligen provas hela sammankopplade systemet under driftsmässiga förhållanden, inklusive provdeponering av tomma kapslar. SSM anser det viktigt att SKB vid provning av systemet även inkluderar kärnämneskontroll i samarbete med SSM och de internationella kontrollorganen. Detta är speciellt viktigt eftersom internationella kontrollorganen kan förväntas vilja verifiera vad SKB deponerar, även vid deponi av tomma kapslar.

SKB har i Fud-programmet 2019 redovisat sin bedömning att anläggningarna kan utformas och verksamheten bedrivs så att det inte försvårar möjligheterna till kärnämneskontroll efter förslutning. SSM noterar dock att, rörande dessa aspekter saknas en uttömmande redovisning av vad som hittills uppnåtts samt en detaljerad plan för kommande Fud-perioder. SSM konstaterar, i likhet med vad myndigheten ansåg behövas vid granskningen av Fud-programmen 2013 och 2016, att SKB mer aktivt ska verka för att utformningen av anläggningen beaktar underlättande av kärnämneskontroll.

Slutligen noterar SSM att en kartläggning av vilka dokument och data med koppling till kärnämneskontroll som behöver bevaras kan utgöra ett komplement till SKB:s medverkan i de arbetsgrupper inom OECD/NEA som fokuserar på bevarande av information och kunskap över generationer (redovisas i avsnitt 4.12.1 av Fud-program 2019).

---

<sup>5</sup> Enligt Euratoms förordning 302/2005 om kärnämneskontroll

## 10 Slutförvarsgemensam forskning och teknikutveckling

SSM bedömer i detta kapitel den forskning och utveckling som SKB redogör för och som är relevant för de tre geologiska slutförvarsanläggningar som SKB ansvarar för, det vill säga gemensamt för slutförvaret för kortlivat avfall (SFR), slutförvaret för långlivat avfall (SFL) och kärnbränsle förvaret. De områden som berörs är SKB:s redovisning i kapitel 10 om cementbaserade material, kapitel 11 om lerbarriärer och förslutning, kapitel 12 om berge, kapitel 13 om ytekosystem och kapitel 14 om klimat och klimatrelaterade processer.

### 10.1 Cementbaserade material

Cementbaserade material förekommer i samtliga slutförvar i SKB:s program. I SFR, både det befintliga och den planerade utbyggnaden, utgörs avfallsmatriser, tekniska barriärer och komponenter av cementbaserade material. SFL-konceptet som formulerats i en säkerhetsvärdering som redovisats av SKB under hösten 2019 innefattar också denna typ av material, där betong utgör den huvudsakliga tekniska barriären i en av de två föreslagna bergsalarna, BHK. I Kärnbränsleförvaret är cement ett konstruktionsmaterial men inkluderas inte i någon av de tekniska barriärerna.

Följande avsnitt följer dispositionen i SKB:s Fud-program 2019, där inledningsvis SKB:s forskningsprogram rörande utvecklingen efter förslutning av cementbaserade material beskrivs och bedöms varpå slutförvarsspecifika betongkonstruktioner redovisas.

#### 10.1.1 Utveckling efter förslutning

##### *SKB:s redovisning*

SKB redovisar sitt arbete kopplat till ett antal olika områden kopplat till utvecklingen efter förslutning av cementbaserade material. Dessa processer är:

- Grundvattenpåverkan
- Modellerings av gastransport
- Påverkan från nedbrytning av organiskt avfall
- Påverkan från korrosion av metalliskt avfall
- Bentonitens inverkan på cementbaserade material
- Inverkan av tillsatsmaterial
- Frysning
- Inre och yttre laster

Rörande kemiska påverkan av grundvatten på betong har SKB:s senaste insatser fokuserat på bergsalen för hårdkomponenter (BHK) inom ramen för det koncept som framtagits för SFL (SKB R-19-11, SKB R-19-12, SKB R-19-13, SKB R-19-14). Modelleringen identifierar de viktigaste kemiska degraderingsprocesserna, så som urlakning av kalcium, och visar sammantaget på en låg degraderingshastighet till följd av låga vattenflöden i återfyllnadsbetongen. Modelleringen visar även att betongens initiala fysikaliska egenskaper är viktigare än dess kemiska sammansättning. Den betong som ligger till

grund för SFL-analyserna bedöms, baserat på innehåll av finmald kalksten, degradera långsammare än betongen som använts i SFR och utgör referensbetong för modelleringen i SR-PSU. SKB avser att även fortsättningsvis utföra studier inom detta område.

Gastransport är ett annat område i vilket SKB har lagt ner stora resurser på att utforska. Frågan är av relevans för 2BMA där gas, främst vätgas, som bildats genom korrosion av metaller i avfallet kan påverka barriärernas integritet om inte gasen kan ledas bort. Analyser av flerfasflöde genom barriärer har utförts för 2BMA (SKB dokID 1409731) liksom för BHK i SFL-konceptet (SKB R-19-06). Frågan kommer även framgent att studeras av SKB med syfte att bland annat utveckla förståelse för processen med betoning på modellering av tvåfasflöde för närzonen i SFR, vilket även kommer inbegripa gas-transport i berg och där eventuell särskiljning av faserna i olika medium kan komma att beaktas.

Nedbrytning av organiskt material i cementmatrisen kan påverka betongens sorptionskapacitet. SKB bedriver i anslutning till denna frågeställning fältförsök vid Äspö-laboratoriet inom projektet Concrete and Clay. Resultat från provåtertag visar på begränsad nedbrytning (SKB dokID 1570764). Ytterligare återtag och analyser kopplat till projektet planeras för under den kommande femårsperioden.

I samma forskningsprojekt har även korrosion av metalliska material studerats (SKB dokID 1495415), främst för att studera korrosion av aluminium och zink under högalkaliska förhållanden. Preliminärt tyder resultaten på en hög initial korrosions-hastighet som avtar i och med bildandet av korrosionsprodukter på metallytan. Fortsättningsstudier med analyser av framtida återtagna prover planeras för.

Bentonitinteraktioner med cement är av relevans för Silo i befintliga SFR, liksom för förvarsdelen BHA i ett kommande SFL-förvar, då processen kan påverka cement-materialens egenskaper. Frågan har analyserats i en rad studier (bland andra SKB R-05-80). Även i fältprojektet Concrete and Clay vid Äspölaboratoriet innefattar prover med syfte att belysa frågeställningen. Analyser av återtagna prover redovisas i (SKB dokID 1692024). SKB deltar även i det internationella forskningsprojektet Cebama som har inriktats på dessa typer av frågeställningar. Interaktioner mellan bentonit och cement kommer även fortsatt att studeras genom ytterligare analyser av återtagna prover inom ramen för Concrete and Clay-projektet med syfte att främst studera jontransport och mineralomvandlingar i gränssytorna mellan cement och bentonit.

SKB har lagt stor vikt vid studier av effekten av olika tillsatsmaterial på betongens egenskaper. SKB:s modellering av kemisk betongdegradering inom ramen för SR-PSU (SKB R-13-40) utgick från en betong baserad på portlandcement utan tillsatsmaterial. I utvecklingsarbetet för 2BMA-konstruktionen har SKB analyserat effekten av kalkstens-tillsatser på betongens kemiska och fysikaliska utveckling (SKB R-19-14). Även experimentella insatser för att bättre förstå egenskaperna hos denna typ av betong pågår i syfte att beskriva initialtillståndet för betongkonstruktionen i 2BMA.

Frysning av betong kan medföra sprickbildning i materialet. SKB har utfört en serie olika studier i syfte att bättre underbygga sin förståelse för denna process (Babaahmadi 2015, Fridh 2017), och att kunna gränssätta vid vilka temperaturer skador på betongen erhålls. Denna kunskap behövs för att kunna relatera processens betydelse till slutförvarets förväntade utveckling och de temperaturer som kan uppstå på förvarsdjup efter förslutning (SKB dokID 1572377). SKB planerar inga fortsatta studier på området. För SFL, som

planeras till ett betydligt större djup, blir frågan om processens betydelse för barriär-integriteten också mindre relevant.

Effekten av olika lastsituationer på de relevanta försvarsdelarnas betongkonstruktioner är viktigt att förstå för att kunna dimensionera planerade konstruktioner och uppskatta eventuella skador i barriärerna till följd av inre och yttre laster. Referensutformningen för 2BMA uppdaterades under SSM:s beredning av tillståndsansökan om utbyggnad och fortsatt drift av SFR för att kunna hantera yttre laster utan att kringgjutning av potentiellt svällande avfall fordras. SKB:s plan i nuläget avseende 1BMA är att avfallet i försvarsdelen inte heller ska kringgjutas (SKB dokID 1571075) då planerade förstärkningsåtgärder bedöms ge erforderligt bidrag till hållfastheten för att försvarsdelen ska kunna motstå yttre laster. SKB planerar bland annat att analysera och undersöka bottenplattorna i de befintliga försvarsdelarna med syfte att utreda eventuell diskrepans mot ansatt initialtillstånd i säkerhetsanalysen SR-PSU.

### ***Remissinstansernas synpunkter***

*Kungliga Vetenskapsakademien (KVA)* påtalar med referens till avsnitt 10.1.1 att cementbaserade material visserligen påverkas av grundvattnet, men minst lika viktigt är, att cementen skapar ett lokala pH förhållanden i vattnet, pH över 10 - 10,5 så länge cementen är intakt. KVA framhåller att karbonatsystemets jämvikt är förskjutet från dominans av vätekarbonat till karbonat. KVA påpekar att specieringen och mobiliteten hos spårmetaller och i förekommande fall radionuklider därmed påverkas av den lokala vattenmiljön (hydroxid- såväl som karbonatkomplex, samt vid höga halter organiskt material även humuskomplex). KVA anser att en viktig fråga är hur cementbaserade material påverkar grundvattnets kemiska sammansättning och reaktivitet, speciellt med avseende på förhållanden (pH, totalhalt av karbonat, närvaro av organiska ämnen, naturliga såväl som tillsatser i cementen) som påverkar aktuella metallers och radionuklidens löslighet och speciering. KVA anser vidare att denna kunskap behöver beaktas i säkerhetsanalysen med fokus på olika tänkbara betingelser, konceptval och relaterade konsekvenser.

### ***SSM:s bedömning***

SSM bedömer att SKB:s redovisning i Fud-program 2019 avseende insatser som rör studier av cementmaterials utveckling efter förslutning är ändamålsenlig. Givet det koncept som SKB presenterar för SFL med en betongmonolit för bergsal för hårdkomponenter, BHK, är det uppenbart att det finns stora överlapp i det forsknings- och utvecklingsarbete som SKB bedriver kopplat till förvaren SFR och SFL. Dock hade myndigheten gärna sett en tydligare uppdelning av de insatser som har rört och som framgent avser mer allmän cementforskning och de studier som är mer inriktade på de olika försvarspecifika programmen.

SSM konstaterar att SKB har utfört betydande insatser kopplat till modelleringen av betongens degradering där en större varians av kemisk sammansättning i cementmaterialet samt användning av olika tillsatsmedel har beaktats för att få en mer allsidig belysning av frågeställningen. Detta bedöms vara ändamålsenligt. SSM vill betona vikten av att i denna typ av modelleringsinsatser koordinera arbetet med angränsande områden så att analyserna är så uppdaterade som rimligt möjligt. En sådan koordinering är även viktig utifrån ett kvalitetssäkringsperspektiv. Exempelvis bör grundvattensammansättningar från eventuella uppdaterade platsbeskrivande modeller tillämpas i analyser av betongens

interaktion med grundvatten. SSM anser även att inverkan av salint grundvatten på betongens kemiska och fysikaliska degradering är en viktig fråga att inkorporera i denna typ av analyser, främst avseende utvecklingen av den betong som avses för SFR.

SSM noterar att SKB beskriver att modelleringsarbetet kopplat till säkerhetsvärderingen för SFL baseras på den betong som planeras för 2BMA i utbyggnaden av SFR. SSM anser att liknande analyser av betongens kemiska och fysikaliska degradering för konstruktionerna som planeras för utbyggnaden av SFR bör genomföras. Detta då tidsramar, tänkta förvarsdjup och geokemiska förutsättningar skiljer sig mellan de olika förvarerna, liksom i viss utsträckning den förväntade utvecklingen av betongbarriären.

SSM ser positivt på de fältförsök som bedrivs inom ramen för projektet Concrete and Clay. De initierade försöken syftar till att belysa en bred front av frågeställningar, såsom nedbrytning av organiskt material, interaktion mellan bentonit och betong och korrosion av metalliska material i cementmiljö, vilka samtliga är av relevans för betongbarriärens integritet. Slutsatser kopplade till isolerade processer från försök som genomförs under fältmässiga förhållanden utan detaljerad kontroll över randvillkor och omgivningsbetingelser bör göras med ett stort mått av försiktighet. SSM anser därför att det är viktigt att kompletterande verksamhet i laboratoriemiljö också bedrivs.

Rörande gastransport noterar SSM att SKB avser att detaljera sin förståelse för och beskrivning av denna typ av process vilket bedöms vara ändamålsenligt och av relevans för både SFR och SFL.

Kopplat till studier av inre och yttre laster för betongkonstruktionerna i SFR anser SSM att SKB bör i noggrannare mån analysera vilka lastsituationer betongkonstruktionen i 1BMA kan förväntas motstå, oavsett vilka reparationsåtgärder man inom ramen för driften väljer att gå vidare med. Detta dels för att utöka konstruktionens beständighet mot portlandit-utarmning, dels för att noggrannare kunna uppskatta de osäkerheter som påverkar slutsatserna om tålighet lång tid efter förslutning.

Kopplat till SKB:s arbete inför kommande säkerhetsredovisningar för utbyggnaden av SFR har SSM lämnat detaljerade synpunkter rörande analysen av betongbarriärernas initialtillstånd och utveckling efter förslutning i sin granskningsrapport (SSM 2019:18) som bilades myndighetens yttrande till regeringen avseende SKB:s tillståndsansökan för utbyggnad och fortsatt drift av SFR.

### 10.1.2 Utformning av betongkonstruktioner och material till SFR

#### ***SKB:s redovisning***

Av de tillkommande förvarsdelarna vid SFR är 2BMA och BRT av relevans i sammanhanget betongkonstruktioner. Detta då 2-5BLA är bergsalar som planeras uppföras utan tekniska betongbarriärer.

Rörande BRT har referensutformningen av förvarsdelen uppdaterats som följd av SKB:s beslut att i stället för att deponera reaktortankarna hela segmentera dem inför deponering. Vidare beskriver SKB att det inte finns något specifikt program för utvecklingsarbetet inför uppförandet av förvarsdelen utan att arbetet med 2BMA bedöms vara tillämpligt även på BRT.

Referensutförningen för förvardsdelen 2BMA i den planerade utbyggnaden av SFR uppdaterades även den under SSM:s beredning av SKB:s tillståndsansökan enligt kärntekniklagen om utbyggnad och fortsatt drift av SFR. Den uppdaterade designen innefattar tjockare ytterväggar på kassunerna, ett nätverk av innerväggar som tidigare saknades då avfallet var tänkt att bära externa laster efter förslutning, samt ökad tjocklek på bottenplattan. Som en följd av uppdateringen avses inte avfallet att kringgjutas innan förslutning av förvaret.

Utvecklingsarbetet med 2BMA har bland annat innefattat studier av möjligheter att använda krossat berg från SFR som ballast i betongen, vilket SKB bedömer att man kommer att kunna göra (SKB P-16-13). Vidare har SKB gjort uppskalningsförsök (SKB R-17-21) och gjutning av hörnsektioner baserat på den äldre referensutförningen av förvardsdelen (SKB TR-18-12). SKB har även provgjutit en oarmerad kassun i fjärdedels-skala baserat på uppdaterad referensutförning (SKB dokID 1569813). Slutrapportering från detta försök väntas under 2020. SKB avser tillämpa finmald kalksten som tillsats för ökad arbetbarhet (SKB R-17-21). I (SKB TR-18-12) analyserades möjligheterna att uppföra botten och väggar i en gjutning men förfarandet visade sig vara tekniskt svår genomförbart. Ett uppenbart alternativ är att uppföra komponenterna i två steg.

SKB avser att fortsätta arbetet med utförningen, utvecklingen och produktionen av kassunerna och planerar i detta avseende att fokusera på genomförande, analys och dimensionering av konstruktionsdetaljer, produktionsmetod, verifierande tester samt framtagande av drift- och underhållsprogram.

Avseende gasavledning från förvardsdelar beskrivs i förslutningsplanen för Silo (SKB dokID 1358612) hur det betonglager som gjuts ovanpå silokonstruktionen förses med porösa genomföringar för att släppa igenom gas som bildats i avfallet genom exempelvis korrosion. Även för 2BMA redovisar SKB översiktligt gasavledningssystemet, vilket bygger på porösa vertikala kanaler längs med ytterväggarna (SKB dokID 1569813), och man betonar att utredningar kopplat till utförningen av detta system kommer att fortsätta. Tillämpbarheten av 2BMA-systemet även för den analoga befintliga förvardsdelen 1BMA kommer att utredas framgent.

### ***SSM:s bedömning***

SSM har i detalj bedömt betongkonstruktionerna i den planerade utbyggnaden av SFR, deras utförning samt utveckling efter förslutning inom ramen för myndighetens granskning av SKB:s tillståndsansökan (SSM 2019:18, avsnitt 4.3, 5.3, 6.3).

SSM noterar att SKB har utfört ett betydande arbete med utvecklingen av förvardsdelen 2BMA med avseende på utförning och genomförbarhet i uppförande genom provgjutningar vid Äspölaboratoriet, vilket myndigheten anser ger ökad tilltro till förutsättningarna att kunna uppföra konstruktionen i enlighet med uppsatta krav. SSM anser dock att verifieringsmöjligheter kopplade till de säkerhetsfunktioner man avser tillskriva konstruktionens betongbarriär förtydligas i detta sammanhang. Det behövs med andra ord en tydligare koppling mellan produktions- och konstruktionskrav, och de krav utifrån långsiktig strålsäkerhet som behövs för att erhålla erforderlig långsiktig skyddsförmåga för förvardsdelen.

SSM konstaterar också att SKB betonar utvecklingsarbetet kopplat till framtagande av lämpligt betongmaterial för den oarmerade konstruktionen för 2BMA, vilket innefattar

både experimentella studier och teoretisk modellering. SSM vill framhäva betydelsen av att implementera detta arbete i framtagandet av kommande säkerhetsredovisningar inför uppförandet av den utbyggda anläggningen.

Avseende BRT kan kortfattat nämnas att SSM bedömer att referensutformningen för betongbarriären i BRT (beskrivs i SKB dokID 1604614) är ändamålsenlig mot bakgrund av förvarsdelens förutsatta skyddsfunktion. SSM lyfte i sin bedömning fram behovet av en verifikation av betongbarriärkonstruktionen under vissa specifika förhållanden. Frågan gäller om uppskattade degraderade materialegenskaper är tillräckliga för att upprätthålla den mekaniska funktionen under den inledande 20 000 års-perioden (SSM 2019:18, avsnitt 4.3.3).

### 10.1.3 Utformning av betongkonstruktioner och material till SFL

#### ***SKB:s redovisning***

Baserat på konceptet för SFL i Fud-program 2019 beskrivs, baserat på de framtagna utformningsförslagen, komponenter med betonginslag. Bergsalen för hårdkomponenter (BHK) är tänkt att uppföras som en betongkonstruktion som återfylls med betong medan bergsalen för historiskt avfall (BHA) är utgjord av en broliknande betongkonstruktion som planeras återfyllas med bentonitlera. Avseende BHK bedömer SKB att inga riktade insatser kopplade till betongforskning eller teknikutveckling är nödvändig för uppförandet. De kommande insatserna kan baseras på konventionella metoder samt det arbete som har utförts och som pågår rörande 2BMA i SFR. För BHA, givet den konstruktionsutformning som redovisas, bedöms utvecklingsbehov dock föreligga avseende metod för uppförande, material till de broplare som konstruktionen vilar på (SKB Fud-program 2019, Figur 10-8), liksom dimensionering och teknik för uppförande av både den bärande konstruktionen och konstruktionen ovanpå. SKB har gjort vissa inledande studier (SKB dokID 1532426, SKB dokID 1542482) kopplat till materialval och metod för grundläggning, samt återfyllnad av BHK. De insatser man gjort kopplat till den säkerhetsvärdering för SFL som publicerades hösten 2019 (SKB TR-19-01) kommer att sammanställas för att ge förutsättningar för utformningen av ett utvecklingsprogram kring dessa frågeställningar.

#### ***SSM:s bedömning***

SSM noterar att SKB gjort ett betydande arbete med att analysera betongdegradering kopplat till det föreslagna koncept för SFL som presenteras. Man beskriver att detta analysarbete utgår från den betong som avses tillämpas för 2BMA i SFR-utbyggnaden.

SSM konstaterar att den massiva betongkonstruktionen BHK skiljer sig väsentligt från den slanka oarmerade konstruktionen som planeras för förvarsdelen 2BMA. Baserat på SKB:s redovisning i Fud-program 2019 är tillämpbarheten för utvecklings- och konstruktionsarbetet kopplat till 2BMA och SFR på SFL-förvarets betongkonstruktioner svårbedömt. SSM delar dock SKB:s uppfattning att ett mer riktat utvecklingsarbete kopplat till betongkonstruktionens utformning och materialval är motiverat för det utformningsförslag som översiktligt redovisas för BHA-bergsalen givet förvarsdelens komplexitet.

## 10.1.4 Utformning av betongkonstruktioner och material till kärnbränsleförvaret

### ***SKB:s redovisning***

För Kärnbränsleförvaret kommer pluggarna till deponeringstunnlarna att till stor del utgöras av betong. Vid Äspölaboratoriet har ett fullskaleförsök, det så kallade Domplu-experimentet, genomförts (SKB TR-14-23) på 450 meters djup i syfte att simulera förväntad slutförvarsmiljö. Baserat på utvärdering och analys efter försökets avslutande har SKB konstaterat att pluggen, bestående av oarmerad, låg-pH-betong, har kunnat uppföras i enlighet med uppsatta funktionskrav (SKB TR-18-02). Vidare visar tester som utfördes innan rivning av försöksuppställningen att pluggen är gastät (SKB P-17-37). Under Fud-perioden avser SKB att avsluta utvärderingen av Domplu-experimentet.

Det låg-pH-cement för injektering (SKB R-05-40) och bergförstärkning (SKB R-11-08) som fordras utifrån uppsatta krav för Kärnbränsleförvaret har varit föremål för ett antal studier. SKB anser det viktigt att ingående komponenter är utbytbara baserat på den långa uppförande och drifttiden som avses för Kärnbränsleförvaret. Studier av korrosion av injekterade bergbultar och provstänger ingjutna i både konventionell och låg-pH-betong har utförts under en nioårsperiod och visar på mycket begränsad korrosion (SKB dokID 1706958).

I kommande Fud-period avser SKB bland annat att uppdatera analysen av pH-plymens utbredning från områden med konventionell betong (SKB R-12-17) med mer realistiska antaganden.

### ***Remissinstansernas synpunkter***

Statens geotekniska institut (SGI) konstaterar att låg-pH material kommer att användas över en lång tidsperiod för förstärkning, injektering och pluggkonstruktion och SKB skriver att " det är av vikt att receptet är utformat på ett sådant sätt att.. ". SGI tycker att fokus bör ligga på funktionskraven för det cementbaserade materialet (viskositet, hållfasthetstillväxt, mm) och strategi för anpassning av recept till ändrade komponenter (cement, tillsatsmedel) samt tillverkning av låg-pH, cementbaserade material. Erfarenheter från infrastrukturprojekt visar enligt SGI att egenskaperna av cementblandningarna påverkas av ändringar i kvaliteten på cement, och SGI tycker därför att en strategi för löpande kvalitetskontroll bör utformas.

### ***SSM:s bedömning***

SSM konstaterar att SKB:s Domplu-experiment (SKB TR-14-23) har genomförts på ett framgångsrikt sätt och att betydande ny information har erhållits som en följd av verksamheten. SSM framhävde i sin granskning av SR-Site (SSM 2018:07) att pluggens gastäthet bör kunna säkerställas så länge filterdelen kan hållas helt vattenmättad på det sätt som SKB föreslår, vilket SKB:s försök förefaller att ha demonstrerat (SKB P-17-37). Pluggens gastäthet utgör en säkerhetsfunktion kopplad till förvarets långsiktiga strålsäkerhet som kan och behöver kontrolleras regelbundet under hela förvarets tilltänkta drifttid.

Det sammantagna arbetet kopplat till tillämpbarheten av och egenskaper hos låg-pH-cement bedöms ha bidragit till ett mer omfattande underlag för att bättre underbygga konstruktionsförutsättningarna för pluggen.

Vid granskning av SR-Site (SSM 2018:07) betonade SSM även vikten av att analysera beständigheten för kontaktinjekteringen mellan berg och betong. Resultaten från försöken vid Äspölaboratoriet tyder på att denna är rimligt god. Frågan bör dock likväl beaktas även i kommande utvärderingar av försöken vid Äspö.

Vidare anser SSM att en utvecklad förståelse av pH-ptymens utbredning från områdena där standardcement använts är av vikt för att bättre underbygga kravformuleringar för konstruktion och materialval. Myndigheten anser således att en utvecklad analys av (SKB R-12-17) är ändamålsenlig.

### 10.1.5 SSM:s samlade bedömning avseende cementbaserade material

SSM bedömer att SKB:s arbete att öka processförståelsen för cementbaserade material är omfattande och ändamålsenligt. Önskvärt dock vore en tydligare uppdelning av framtida insatser som berör de olika slutförvaren och en mer allmän cementforskning utan specifik koppling till ett förvar. Även om SFL och SFR har gemensamma behov kommer deras olika förutsättningar leda till att modelleringsarbetet bör anpassas efter de försvarsspecifika lösningarna. För SFR understryker SSM vikten av att SKB dels undersöker betongdegradering i närvaro av salint grundvatten i samband med längre tider med havstäckta förhållanden, dels analyserar vilka lastsituationer betongkonstruktionen i 1BMA kan förväntas motstå, oavsett vilka reparationsåtgärder man inom ramen för driften väljer att gå vidare med. Slutligen betonar SSM vikten av att in situ experiment i verklig skala av betongdegraderingsprocesser kompletteras med väldefinierade laboratorieexperiment.

För utformning av betongkonstruktioner och material till SFR betonar SSM vikten av verifikationsmöjligheter kopplade till de säkerhetsfunktioner som SKB avser tillskriva konstruktionens betongbarriär, d.v.s. en tydligare koppling mellan produktions- och konstruktionskrav, och de krav utifrån långsiktig strålsäkerhet som behövs för att erhålla erforderlig långsiktig skyddsförmåga.

SSM noterar att SKB, baserat på utvecklingsarbetet av betongkonstruktioner vid SFR, gjort ett betydande arbete med att analysera betongdegradering kopplat till det föreslagna konceptet för SFL. Vidare delar SSM SKB:s uppfattning att ett mer riktat utvecklingsarbete kopplat till SFL konceptets betongkonstruktioner och materialval är behövligt.

SSM bedömer sammanfattningsvis att SKB:s redovisning i Fud-program 2019 avseende utformning av cementsbaserade material till kärnbränsleförvaret är ändamålsenlig.

## 10.2 Buffert, återfyllning och förslutning

SSM lämnar i detta avsnitt synpunkter på redovisningen avseende insatser för fortsatt forskning och utveckling inom området lerbarriärer och förslutning i Fud-program 2019 vilka SKB redovisar i kapitel 11. Barriärer med lermaterialet bentonit används i olika slutförvar som buffert och till hydrauliskt täta sektioner. Lerbarriärerna har ett flertal säkerhetsfunktioner som att; förhindra vattenflöden, begränsa mikrobiell aktivitet samt förhindra transport av kolloidpartiklar. Bentoniten ska dessutom vara kemiskt och fysikaliskt stabil och i hög utsträckning bibehålla sina egenskaper under de långa tider som säkerhetsanalysen ställer krav på. I Kärnbränsleförvaret har lerbarriärer ytterligare ett antal säkerhetsfunktioner som att; hålla kapseln i sin centrerade position i deponeringshålet och dämpa jordskalvsinverkan på kopparkapseln. Därutöver har lermaterialet bentonit bra sorptionsförmåga för flertalet radionuklider vilket bidrar till fördröjning av spridning av radiotoxicitet i miljön.

### 10.2.1 Gasfasens sammansättning under den omättade perioden

#### *SKB:s redovisning*

SKB:s redovisning av gasfasens sammansättning i avsnitt 11.1.1 i Fud-program 2019 under den omättade perioden fokuserar på syrgas och vätesulfid, vilka är av betydelse för korrosion av kopparkapslar. Två försök har genomförts för att analysera utvecklingen av syreförbrukning m.m. i den omättade bufferten i Kärnbränsleförvaret (SKB TR-18-11). I det ena försöket monterades en värmare i form av ett kopparrör centralt i bentonitblock och pellets. Värmaren hade en temperatur kring 80°C och den omgivande bentoniten hade en temperaturgradient med en högsta temperatur på ca. 50°C närmast kopparröret. I det andra försöket testades utvecklingen av syrgashalt i ett isotermiskt (rumstemperatur respektive 50°C), isolerat system med enbart bentonitpellets. Efter ungefär 50-60 dagar var syrehalten ca. en procent av den ursprungliga halten i försöket med kopparvärmare. I försöket utan koppar observerades ingen märkbar syreförbrukning vid rumstemperatur och syrehalten minskade endast några få volymprocent under ca. 250 dagar i samband med att temperaturen ökade till 50°C. SKB drar därav slutsatsen att syrgasen, som utgör en del av den instängda luften i lerbarriärerna under installationen av ett slutförvar, i hög utsträckning förväntas att förbrukas genom korrosion av kopparkapslar i en KBS-3-förvarsliknande miljö.

Trots att den i försöket använda bentoniten innehåller en relativt hög koncentration av svavel detekterades ingen sulfidgas i något av proven. Baserat på denna observation anser SKB att gasformig vätesulfid sannolikt inte förväntas förekomma i ett omättat KBS-3-förvar.

SKB redovisar även resultat från det schweiziska försöket Full-scale Emplacement Experiment, utfört i underjordslaboratoriet i Mont Terri, Schweiz. Försöket syftade till att undersöka syreförbrukning i omättad bentonit och bestod av ett system av tre värmare i form av stålkapslar och granulär bentonit packad runt värmarna, samt bentonitblock och granulär bentonit i täta sektioner i en tunnel i lerformationen. Temperaturen uppnådde 100 – 120°C närmast värmarna och ca. 50°C närmare tunnelväggen. Försöket visade att det instängda syret förbrukades mycket snabbt, som snabbast några veckor efter att försöket var återfyllt. Resultaten tolkas som att det i den största utsträckningen är den störda zonen

i berget och bentoniten som förbrukar syret, och att reaktionen med de metalliska värmarna bara bidrar till en mindre del av syreförbrukningen. Ett kompletterande laboratorieförsök med bentonit i en gastät glasflaska visade att minskningen av syrgas sker i samma hastighet som minskningen av andra inertgaser. Detta gör att forskarna tolkar interaktionen mellan bl.a. syrgas och bentonit som en sorptionsprocess.

SKB planerar att fortsätta studera gassammansättningen i omättad bentonit i SKB:s forskningslaboratorium vid Äspö. En ny försöksuppsättning kommer att tas fram för ytterligare experimentella studier med eller utan närvaro av metallisk koppar. Även andra gaser såsom vätesulfid, vätgas, svaveldioxid och koldioxid kommer att kunna mätas in situ.

### ***SSM:s bedömning***

SSM ser positivt på att SKB har börjat studera gassammansättning i omättad bentonit. På grund av de förhållandevis långa mättnadstiderna för lerbarriärerna i ett KBS-3 system vid Forsmarksplatsen, och möjligen även i ett kommande SFL förvar, kan reaktiva gasformiga ämnen i omättade lerbarriärer och dess interaktioner med kopparkapslarna och andra tillförda material en betydelse för initiala korrosionsprocesser och omvandlingsreaktioner. SSM bedömer att resultat från SKB:s genomförda experiment ger ett värdefullt komplement i förhållande till förståelse av enbart porvattenfasens kemiska utveckling i buffert och återfyllnad. Enligt SSM:s bedömning är den viktigaste frågeställningen om det går att helt utesluta betydande tillförsel av vätesulfid via gasfasen, vilket skulle kunna ha en betydelse för risken för lokala korrosionsprocesser. SSM bedömer också att de av SKB planerade insatserna med utökad kapacitet för gassammansättningsmätningar är ändamålsenliga.

SSM vill påpeka att utifrån SKB:s redovisning i avsnitt 11.1.1 i föreliggande Fud-program finns det fortfarande en viss otydlighet kring mekanismer och betydelse av sorption av gaser på bentonit. SKB:s nyligen genomförda försök (SKB TR-18-11) antyder att syrgas förbrukas av korrosion medan det schweiziska försöket (Girouda m.fl., 2018) preliminärt förklaras med en ospecificerad sorptionsprocess för syre vilket även verkar inkludera andra inerta gasformiga ämnen. SSM anser att SKB under kommande Fud-period bör sträva efter ett förtydligande av detta. I studier bör inverkan av temperaturer på de olika processerna och dess resulterande omfattning utredas. Dessutom bör entalpi, aktiveringsenergi och reversibilitet av sorption av syrgas på olika typer av bentonit studeras. SSM anser att fördjupad förståelse för vilka parametrar som styr olika mekanismer för sulfidbildning respektive syreförbrukning under olika typer av omgivningsbetingelser som kan förekomma i slutförvarsmiljön ytterligare kan underbygga analysen av de tekniska barriärernas utveckling i allmänhet och koppar korrosion i synnerhet för deponeringshålspositioner i berget som kan förbli omättade under en tidsskala upp till 1000-tals år.

## **10.2.2 Kanalbildning med efterföljande erosion**

### ***SKB:s redovisning***

SKB redogör för kanalbildning/erosion i avsnitt 11.1.2 i Fud-program 2019. SKB redovisar att kanalbildning/erosion är en hydraulisk process som förekommer när en spricka i berget tillför deponeringshållet vatten i en snabbare takt än den takt som den svällande bufferten kan absorbera. Det uppbyggda vattentrycket i sprickan gör att gelen i den svällande bentoniten kan brista och en kanal bildas då inuti bentoniten. Ett

kontinuerligt vattenflöde samt fortlöpande erosion av bentonitpartiklar kan möjligen uppstå under den tidiga mättnadsfasen.

Resultaten från tidigare studier har avrapporterats av SKB i en teknisk rapport (SKB TR-14-22). I rapporten redovisas SKB:s fördjupade förståelse av framför allt de underliggande mekanismerna i processen och en del av redovisningen har granskats och bedömts inom ramen för Fud-program 2016.

Under föreliggande Fud-period identifierade SKB en fråga som ännu inte har besvarats efter många experiment rörande kanalbildning/erosion. Frågan rör att när vatteninflödet är litet, mellan 0,01 – 0,05 L/min, blir kanalerna inte alltid stabila och kan därför öppnas och stängas under testets gång. Repetitionen av öppning och stängning gör att den totala lerkoncentrationen i erosionsvattnet är högre än om vattenflödet är högre och kanalen är stabil. SKB misstänker att fenomenet med de instabila kanalbildningarna är en artefakt som orsakas av att den eroderade leran har tillåtits lämna testsystemet. SKB planerar att göra ett något större test med både buffert och återfyllning för att ta fram underlag för att kunna bättre besvara frågan. Vattenflödet kommer att begränsas till mellan 0,01 till 0,05 L/min och kommer gå genom bufferten till återfyllningen. Vattenflödet får sedan antingen lämna systemet på ett sätt som gör att leran inte kan komma ut, eller rymmas i återfyllningens tomvolym. Eventuella bristningar av leran analyseras från observationer av inflödestrycket, och mängden eroderad lera bestäms genom analys av lermaterialet som finns kvar i bufferten efter försöket.

### ***SSM:s bedömning***

SSM bedömer att SKB:s arbete under denna Fud-period har lett till ökad kunskap och fördjupad förståelse av processen kanalbildning/erosion. Den nyvunna kunskapen kommer att utgöra ett bra underlag för SKB:s fortsatta arbete i den stegvisa processen för att bygga Kärnbränsleförvaret. Kunskapen kommer även att ha en betydelse för utvecklingen av SFL när det gäller utvärdering av risk/omfattning för kanalbildning/erosion i bentonitfyllningen i BHA.

SSM är positiv till genomförandet av en fördjupad analys av processen under relativt låga vatteninflöden som möjligen kan leda till instabila kanaler och en totalt sett högre mängd eroderat bentonitmaterial vid återkommande kanalöppningar. SSM anser att dessa insatser är nödvändiga för att säkerställa konservatism i modelleringen av processens omfattning under olika betingelser som kan förekomma i slutförvarsmiljö.

## 10.2.3 Vattenupptag i lerbarriärer

### ***SKB:s redovisning***

SKB redogör för vattenupptag i lerbarriärer i avsnitt 11.1.3 i Fud-program 2019. När lerbarriärerna installeras i olika delar i slutförvaren kommer bentonitleran att ta upp vatten från det omgivande berget tills leran blir vattenmättad. Den viktigaste drivkraften för att nå vattenmättnad är den relativa fuktigheten i bentoniten som leder till ett kapillärt undertryck i bentonitens porer som drar in vattnet från det omgivande berget. SKB anser att vattenupptaget och återmättnadstider av lerbarriärer i sig inte har någon direkt betydelse för barriärens funktion. Processen kan dock indirekt ha betydelse för slutförvarets långsiktiga säkerhet genom att påverka den maximala temperaturen, svällnings-

och homogeniseringsprocessen, tiden för när vattenupplösta ämnen (t.ex. koppar-korrodanter) kan transporteras mellan berg och kapsel samt tiden för kontakt mellan gasfas och kapsel.

Flerfasflödesmodeller har använts att simulera den transienta processen av vattenupptaget i bentonitfyllningen i BHA och BHK i SFL (SKB R-19-03). Dessutom har SKB:s och andra kopplade termisk-, mekanisk- och hydrauliska modeller (THM-modeller) för flerfasflöde testats genom att simulera en stor uppsättning av laboratorie- och fältförsök inom ramen för det internationella samarbetsprojektet SKB Task Force Engineered Barrier Systems (Task Force EBS), med syfte att validera, verifiera och vidareutveckla modellerna, samt att förbättra och fördjupa förståelsen av bevättningsprocessen hos lerbarriärer (SKB TR-13-06, SKB TR-13-07, SKB P-17-08).

SKB planerar fortsatt arbete med att verifiera och uppdatera modellerna för lerbarriärernas vattenmättnad. Arbetet kommer huvudsakligen att genomföras inom ramen för Task Force EBS för att ta fram bättre och mer flexibla verktyg för eventuella kommande säkerhetsanalyser för Kärnbränsleförvaret och SFL. En viktig frågeställning att försöka besvara i det fortsatta arbetet är hur ett mycket långsamt vattenupptag kommer att påverka lerbarriärernas mättnadsförlopp och vattenfördelning mellan de olika delarna av en barriär. Även kopplingen mellan ett mycket långsamt vattenupptag och lerbarriärernas mekaniska utveckling kommer att beaktas.

### ***SSM:s bedömning***

SSM bedömer att SKB:s nuvarande samt planerade arbete inom området för vattenupptag och återmättnad av lerbarriärer är ändamålsenligt. SSM anser att de planerade insatserna är välmotiverade med tanke på att de mekaniska och hydrauliska processerna i lerbarriärerna fortfarande är ett vetenskapsområde där det pågår intensiv forskning. Trots att kunskaper kring flerfasflödet i ett icke-svällande poröst medium är relativt vedertagna, är tillämpningen av kunskaperna till svällande porösa medium såsom bentonit fortfarande utmanande.

SSM anser att SKB:s modellering av den transienta processen av vattenupptaget till bentonitfyllningen i BHA i SFL fortfarande är av en relativt preliminär karaktär, t.ex. är de återmättnadstider som beräknades med modellen beroende av en parameter ( $\beta$ ). Parametern erhålls genom att anpassa Darcyflödet i modellen till grundvattenflödena vid olika djup i förvarsområde. Det är oklart om syftet med beräkningar som använda olika värden av  $\beta$  är att avslöja inverkan av förvarsdjup på återmättnadstider eller inte (SKB R-19-03, avsnitt 8.6). SSM anser att SKB under den kommande Fud-perioden även behöver vidareutveckla modelleringen av bevättningsprocessen i förvarsdelarna i SFL.

## **10.2.4 Svällning, homogenisering av block, pellets och hålrum**

### ***SKB:s redovisning***

SKB redogör för processerna svällning och homogenisering av block, pellets och hålrum i lerbarriärer i avsnitt 11.1.3 i Fud-program 2019. Svällning och homogenisering efter vattenupptag är viktiga processer i lerbarriärer, genom dessa typer av förlopp uppnår en lerbarriär en relativt jämn massfördelning, och därför en relativt jämn fördelning av egenskaper i utrymmet vari barriären ursprungligen installeras. Emellertid kommer en viss

heterogenitet att kvarstår under en lång tid p.g.a. friktion i bentoniten. Denna kvarstående heterogenitet har betydelse för konstruktionsförutsättningarna och för den konfiguration av pellets och block med vilken bufferten installeras. Syftet med att studera svällningen och homogeniseringen hos lerbarriärer är att utröna om den förväntade graden av homogenisering är tillräcklig för att upprätthålla barriärens säkerhetsfunktioner på lång sikt. SKB deltar i EU-forskningsprojektet Beacon ("Bentonite Mechanical Evolution") för att utveckla förståelsen för de grundläggande processer som påverkar homogeniseringen och för att förbättra modelleringsverktygen.

En serie av laboratoriestudier av processerna har utförts och resultaten sammanställts (SKB TR-16-04). Relevanta egenskaper hos bentonit såsom vattenkvot, bulkdensitet, spänningar och svälltryck har bestämts i olika tester. Även homogenisering efter massförlust av bentonit har utretts.

Laboratorieförsök har även utförts (SKB TR-19-11)<sup>6</sup> med syfte att tillhandahålla resultat som kan användas för modellering, för att förbättra modeller eller för att bestämma mekaniska parametrar för THM-modellering. Resultat från kompletterande svällningsförsök med olika vattentillförsel och försök som undersöker friktionen mellan bentonit och andra ytor presenteras i rapporten. Skillnader i densitet som kvarstår efter lång tid har studerats i en serie försök med så kallat långa rör.

Även resultaten från ett fullskaligt fältförsök ("Buffer Swelling Test") vid Äspö-laboratoriet har redovisats (SKB TR-16-07). Några av syftena med försöket var att utreda svällning och expansion uppåt av bufferten i deponeringshål mot en torr tunnelåterfyllning och att validera modelleringsresultat som tidigare erhållits av SKB med modellering av buffertens uppsvällning i ett fall då bufferten antogs uppnå mättnad tidigare än återfyllningen. I försöket simulerades svällningen av bufferten med hydrauliska domkrafter. Mätningar av exaxliga tryckhållfastheten och draghållfastheten hos återfyllningsblocken visar att hållfastheten är låg i jämförelse med andra försök, i huvudsak beroende på den låga densiteten och låga vattenkvoten hos blocken. Denna observation har modellerats i rapporten och jämförts med andra modelleringsresultat (SKB TR-16-08). Jämförelsen visar mycket god överensstämmelse och pekar på att återfyllningens densitet har stor betydelse för att motverka buffertens uppsvällning. En jämförelse mellan resultaten från två olika beräkningsmodeller som har använts för modellering av "Buffer Swelling Test" har redovisats (SKB TR-17-03). Trots skillnaderna i materialmodeller, geometrier, indata och angreppssätt av två olika numeriska koder (Abaqus och PLAXIS), erhålls jämförbara resultat av exempelvis förhållandet mellan förskjutning och normalspänning i bufferten. En del av försökets och modelleringens resultat, om de bekräftas efter ytterligare utredning, kommer att beaktas vid den fortsatta utvecklingen av återfyllningskonceptet.

---

<sup>6</sup> I skrivande stund har rapporten SKB TR-19-11 ännu inte publicerats. Granskningen och bedömningen av redovisningen baseras därför på SKB:s sammanfattning av rapporten i Fud-program 2019.

SKB planerar ett fortsatt arbete i området under den kommande Fud-perioden. Huvuddelen kommer att genomföras inom ramen för Beacon-projektet, inklusive vidareutveckling av olika beräkningskoder. Modellerna kommer att testas på experiment i större skala för att kunna ta fram verifierade modeller med god prediktionsförmåga. Resultaten från både försök och modelleringar kommer att tillämpas för verifieringen av förvarsutformningarna för buffert och återfyllning i Kärnbränsleförvaret och för återfyllningen i BHA i SFL.

Angående utredning av buffertsuppsvällning och interaktionen mellan buffert och återfyllning planerar SKB att fokusera på att utföra ett antal skalförsök för att öka förståelsen för olika bevättningsfall och avgöra om det torra fallet är det mest ogynnsamma, för att jämföra med modelleringsresultat samt för att skala upp resultaten till full skala.

### ***SSM:s bedömning***

SSM bedömer att SKB:s insatser i området är ändamålsenliga och att redovisningen av processerna svällning och homogenisering av block, pellets och hålrum hos lerbarriärerna är vetenskapligt välgrundad.

SSM anser att en fördjupad förståelse av processerna är betydelsefull och myndigheten ser därför positivt på att SKB har vunnit nya kunskaper i området genom laboratorie- och fältförsök samt modelleringsansatser.

SSM anser dock att utöver de av SKB planerade insatserna under den kommande Fud-perioden bör SKB utreda den resterande heterogeniteten hos lerbarriärer som kan kvarstå i slutförvarsmiljön under relativt lång tid och möjligen i relativt stor omfattning. Inverkan av den resterande heterogeniteten på barriärernas säkerhetsfunktioner och i slutändan på förvarets långsiktiga strålsäkerhet behöver sedan övervägas. Denna information behöver sedan utgöra en grund för att definiera toleranser i samband med tillverkning och installation av lerbarriärer i Kärnbränsleförvaret och i SFL.

SSM är positiv till att SKB planerar att koppla studier av buffert-återfyllning-interaktion med verifiering av förvarsutformning för buffert och återfyllning i Kärnbränsleförvaret och för återfyllning i BHA i SFL. SSM anser att det särskilt är viktigt att SKB utreder konsekvenserna av om återfyllningsblock i Kärnbränsleförvaret går sönder p.g.a. buffertens uppsvällning, samt så tidigt som möjligt fastställer eventuellt krav på hållfastheten hos blocken.

## 10.2.5 Ångcirkulation

### ***SKB:s redovisning***

SKB redovisar ångcirkulation i bufferten i avsnitt 11.1.5 i Fud-program 2019. SKB påpekar att denna fråga endast är aktuell för bufferten i Kärnbränsleförvaret då endast använt kärnbränsle alstrar en stor mängd värme under förvarets tidiga utveckling. Frågan har däremot ingen betydelse för SFR och SFL.

Frågan om ångcirkulation avser huruvida grundvatten från bergsprickor kan förångas mot kapseln i Kärnbränsleförvaret och transporteras ut i återfyllningen vilket då leder till saltanrikning mot kapseln. Strålsäkerhetsbetydelsen av denna process är att de ackumulerade

salterna har möjlighet att korrodera kapseln och äventyra kapselns integritet. Processen utgör en del av den så kallade ”saunaeffekten”.

SKB:s uppfattning är att denna process inte kan inträffa i någon omfattning som är skadlig för kapseln eller bentoniten i och med att det i slutförvarsmiljön inte förväntas att vatten kommer att transporteras ut från deponeringshålet.

SKB redovisar testerna utförda för att studera ångtransport i, och förslutningsförmågan hos den inre spalten mellan bentonitblock och kapsel i ett deponeringshål i Kärnbränsleförvaret (SKB TR-17-07), som en del av utredning av saunaeffekten. Försöket visade att hastigheten av vattenupptag minskar betydligt när vatten tillförs genom ett bentonitblock, vilket är fallet i ett KBS-3 förvar, istället för att matas direkt till den inre spalten, som tidigare brukade göras i försöken.

Försök har genomförts för att mäta ångtransport genom bentonit (SKB dokID 1712120). Försöket visade att ångtransporten var likartad genom vanliga block som genom block delade med en artificiell spricka. SKB drar slutsatser att möjlig sprickbildning i bentoniten kommer att ha en försumbar inverkan på ångtransport genom bentoniten.

SKB:s sammanvägda slutsats gällande saunaeffekten är att saltackumulering som en konsekvens av förångning av tillflöde av grundvatten till ett deponeringshål inte kommer att uppstå i kärnbränsleförvarsmiljön. Därför anser SKB att det inte är motiverat med ytterligare studier av processen. Området bevakas dock och det kan bli aktuellt med ytterligare insatser om nya frågeställningar dyker upp.

### ***SSM:s bedömning***

SSM är positiv till att SKB efter tillståndsansökningarna har genomfört ytterligare experimentella och teoretiska utredningar kopplade till saunaeffekten. Slutsatserna från dessa insatser har legat till grund för redovisningen av processen i SKB:s komplettering till regeringen om saunaeffekten och dess inverkan på kapselintegritet (SKB TR-19-15, kapitel 3). SSM anser att underlaget har förstärkts vilket har ytterligare underbyggt SKB:s tidigare slutsatser kring saunaeffektens ringa betydelse för kopparkorrosionsfrågor.

SSM instämmer med SKB att ackumulation av salter på kapselytorna eller i bufferten som en konsekvens av förångning av tillflödande grundvatten till ett deponeringshål inte kommer att uppstå i nämnvärd omfattning i aktuell slutförvarsmiljö. SSM anser att SKB:s förståelse av processen är tillräcklig för arbetet i de kommande stegen av SKB:s program avseende eventuellt uppförande och drift av Kärnbränsleförvaret samt instämmer med SKB i att ytterligare stora insatser inom området inte är motiverade. SSM anser dock, som också påpekats i SSM:s granskning av SKB:s komplettering till regeringen om kapselintegritet, att det vore av intresse att få resultaten från FEBEX-försöket ytterligare belysta (SSM2019-3222-4, avsnitt 4.4).

## **10.2.6 Mikrobiell sulfidbildning under omättade förhållanden**

### ***SKB:s redovisning***

Frågan om mikrobiell sulfidbildning under omättade förhållanden redovisas i avsnitt 11.1.6 i Fud-program 2019. Under den förhållandevis långa perioden innan bentoniten i en lerbarriär blir vattenmättad, går det inte att utesluta mikrobiella aktiviteter i bentoniten i

omättat tillstånd. Den viktigaste mikrobiella processen för slutförvarets långsiktiga strålsäkerhet är sulfidbildning genom mikrobiell reduktion av sulfat till sulfid. I bufferten i Kärnbränsleförvaret är mängden svavel begränsad och betydelsen av mikrobiell sulfidbildning hanteras konservativt med massbalans i strålsäkerhetsanalysen. Det är dock svårare att begränsa mängden av svavel i återfyllningen på samma sätt p.g.a. den relativt stora mängden återfyllningsmaterial.

SKB redogör för laboratorieförsök (SKB dokId 1708461) för att studera inverkan av tillgången till vatten, även i form av vattenånga under olika nivåer av relativ fuktighet. Resultaten i försöket visar att tillgången till vätskeformigt vatten är avgörande för sulfidbildningen. Tillförseln av vatten i ångform vid så hög som 100% relativ fuktighet räckte inte för sulfidreduktion och bildning av sulfid. Dessutom upptäcktes att bentonit möjligen kan reagera med sulfid (frågan diskuteras ytterligare i avsnitt 10.2.3 i denna granskningsrapport) och att bakterierna erhållna från Äspö-grundvatten, d.v.s. naturligt förekommande bakterier, kräver längre tid att återaktiveras än de odlade bakterierna. Slutsatsen från denna studie är att det krävs både en energikälla, i detta fall laktat, och vatten i vätskefas för att sulfatreduktion ska ske.

SKB planerar att fortsätta arbeta med flera försök, dels med monokulturbakterier och dels med naturligt förekommande mikrober isolerade från borrhål i Äspölaboratoriet. Detekteringsmetoden kommer att utvecklas för att kunna även mäta sulfid i fast fas i bentonit. Även kol- och energikällor i gasfasen (koldioxid och vätgas) kommer att testas.

### ***SSM:s bedömning***

SSM bedömer att SKB:s nuvarande och planerade insatser på området är ändamålsenliga. SKB:s nyvunna kunskap att det förutom sulfatreducerande bakterier, kolkällor och tillgång till näring, även krävs en flytande vattenfas för sulfidbildning har en betydelse för värdering av risken för gasformig transport av sulfid i en omättad lerbarriär.

SSM anser att SKB under den kommande Fud-perioden bör utreda hur stor andel av vattnet i bentoniten som beter sig som en flytande vattenfas respektive som är bundet på ytan av, och i mikroporerna i bentoniten.

## **10.2.7 Bentonitmateriallets egenskaper i mättat tillstånd**

### ***SKB:s redovisning***

SKB redovisar bentonitmateriallets egenskaper i mättat tillstånd i avsnitt 11.2 i Fud-program 2019. Lerbarriärernas skyddsförmåga utvecklas fullt ut först efter att de har uppnått ett vattenmättat tillstånd. Viktiga egenskaper kopplade till bentonitens säkerhetsfunktioner är bl.a. hydraulisk konduktivitet, svälltryck och skjuvhållfasthet, och alla dessa egenskaper kan relateras till en given bentonits densitet. Sambandet är unikt för varje bentonittyp, och för en given typ av bentonit varierar egenskaperna med dess sammansättning, framför allt med montmorillonithalten. Hydraulisk konduktivitet och svälltryck är viktiga för samtliga förvar medan skjuvhållfasthet endast har en säkerhetsbetydelse för Kärnbränsleförvaret.

Beträffande materialsammansättning satsar SKB på att utveckla strategier för anskaffande och kvalitetskontroll av bentonitmaterial för Kärnbränsleförvaret (SKB TR-16-14, SKB

TR-19-25). Ett forskningslaboratorium har satts upp vid Äspölaboratoriet med syfte att fungera som en infrastruktur för forskning, utveckling och kvalitetskontroll av bentonit-materialet, samt att stimulera SKB:s interna kompetensutveckling. Ett stort antal bentonitprover har analyserats av olika internationella grupper i samband med projektet Alternativa buffertmaterial (ABM). SKB använder detta som huvudforum för att utreda materialsammansättning och långtidsstabilitet av bentonit. SKB planerar att ytterligare förbättra testmetoderna och karaktärisera referensmaterial i den kommande Fud-perioden.

Angående svälltryck och hydraulisk konduktivitet hos bentonit, har dessa egenskaper uppmätts för ett flertal olika bentonitmaterial i det forskningslaboratorium som nämns ovan. Utredningen fokuserar bl.a. på att undersöka hur ändringen i montmorillonithalten i bentoniten påverkar dessa egenskaper. Resultaten visar att en fem procentig minskning av montmorillonithalten signifikant kan påverka svälltrycket negativt. Den hydrauliska konduktiviteten ökar något när montmorillonithalten sjunker. SKB anser därför att det är viktigt att metoderna för bestämning av montmorillonithalten har en tillräckligt hög upplösning för att kunna detektera små ändringar.

Det upptäcktes också att den bulgariska bentoniten avviker genom att ha ett mycket högre svälltryck än de andra vid en given densitet. Mätningen av svälltryck och hydraulisk konduktivitet fortgår under den kommande Fud-perioden för att säkerställa ett stort statistiskt underlag för sambandet mellan dessa egenskaper och densitet för olika typer av bentonit för att stöda val av material för användning i Kärnbränsleförvaret. Förutom råmaterial kommer även de material som har exponerats för höga temperaturer under relativt långa tider i olika fältförsök (ABM och LOT) att karaktäriseras. Syftet är att ge insikt i om det finns några processer som förändrar bentonitmaterialens egenskaper under den uppvärmda perioden.

Beträffande skjuvhållfasthet hos bentoniten påpekar SKB att denna fråga endast har betydelse för bentonitbufferten i Kärnbränsleförvaret då bufferten där har säkerhetsfunktionen att dämpa skjuvrörelser från berget vid en eventuell jordbävning och därigenom skydda kapselns integritet. SKB testar bentonitens skjuvhållfasthet med en av SKB standardiserad metod i vilken skjuvhållfastheten representeras av enaxlig tryckhållfasthet som bestäms som den maximala spänningen provet har utsatts för före brott.

Kravet som kapseln ställer på bentonitens skjuvhållfasthet är att den ska begränsas till ett maximalt värde på 4 MPa vid deformationshastighet på minimum 0,8 procent. SKB planerar insatser för vidareutveckling av metoden för mätning av enaxlig tryckhållfasthet. I det fortsatta arbetet ingår bl.a. en komplettering av metoden med mjukvaror och dokumentation av loggsystem samt utveckling av metodik för konvertering av natrium- till kalciumbentonit i större testsatser än tidigare. Arbeta med programmering och automatisering av pressutrustningen för att kunna erhålla konstant deformationshastighet kommer också att genomföras. Den kombinerade effekten av förhöjd temperatur, uttorkning och ökat saltinnehåll på spänning-töjning-hållfasthet kommer att undersökas.

### ***SSM:s bedömning***

SSM ser positivt på att SKB har börjat satsa på att utveckla testmetoderna som kommer att användas vid karaktärisering och kvalitetskontroll av bentonitmaterial vid uppförande och drift av Kärnbränsleförvaret. SSM bedömer att SKB:s nuvarande och planerade insatser inom området är ändamålsenliga.

SSM anser det också positivt att SKB har börjat satsa på infrastrukturen för karaktärisering och kvalitetskontroll av bentonitmaterial. SSM anser att SKB:s fokus på egenskaper såsom svälltryck, hydraulisk konduktivitet och skjvuhållfasthet är välmotiverad, med tanke på att det är dessa egenskaper som har den största säkerhetsbetydelsen.

## 10.2.8 Sulfidbildning och sulfidtransport

### ***SKB:s redovisning***

SKB:s redovisning av sulfidbildning och sulfidtransport återfinns i avsnitt 11.3.1 i Fud-program 2019. Sulfid är det dominerande ämnet i sammanhanget korrosion av kopparkapslar efter att bentonitbufferten har uppnått ett vattenmättat tillstånd. På kort sikt har sulfid löst i porvattnet i bentonit en förhållandevis stor betydelse för korrosionen, men på längre sikt börjar tillförseln av sulfid från grundvatten i berget spela en allt större roll.

Sulfidkoncentrationer i porvatten i olika bentonitleror har bestämts experimentellt (SKB P-16-31). Jämviktskoncentrationen som erhöles i en vatten-bentonit blandning var lägre än metodens detektionsgräns. När natriumsulfidlösning tillsattes upptäcktes att mängden sulfid i lösning minskar till en koncentration som var längre än den förväntade. SKB tolkar denna observation preliminärt som absorption, eller någon typ av omvandling av tillsatt sulfid.

Fem olika bentonitmaterial har undersökts med avseende på mikrobiell sulfidproducerande aktivitet som en funktion av bulkdensitet vid full vattenmättnad (SKB TR-16-09, SKB TR-17-05). I undersökningarna användes en radioaktiv isotop av svavel (S-35) som källa för svavel. För tre av bentonitmaterialen visar resultaten att det fanns ett relativt litet intervall för mättad densitet i vilken sulfidproducerande aktivitet föll från hög till mycket låg nivå eller till fullständig frånvaro av mikrobiell aktivitet. En del av dessa observationer har blivit bekräftade av en annan forskningsgrupp i ett annat laboratorium (P-19-07). Resultaten för två av bentonitmaterialen var dock annorlunda: I den ena var sulfidproduktion mycket låg för samtliga undersökta densiteter medan i den andra var resultaten det omvända dvs. sulfidproduktionen var signifikant för samtliga undersökta densiteter. SKB:s preliminära förklaring fokuserar på skillnader som beror på olika järninnehåll i dessa två material. En hög halt av järn verkar hämma mikrobiell sulfidproduktion.

SKB anser att gränsen för mikrobiell sulfidproduktion i vattenmättad bentonit är kritisk både för den tekniska utformningen av bufferten och i viss mån återfyllningen samt för analysen av säkerhet efter förslutning för Kärnbränsleförvaret. SKB planerar ytterligare insatser under den kommande Fud-perioden för att fördjupa förståelsen av mekanismen och samla in mera data. SKB anser att undersökningsmetoden behöver vidareutvecklas, eftersom den tidigare metoden som använder radioaktivt svavel är kostsam, tidskrävande och oflexibel. Fokus kommer att vara att ta fram ytterligare data för att i mer detalj och med ett bättre statistiskt underlag kunna bestämma densitetsgränsen vid vilken mikrobiell sulfidproduktion upphör. Man behöver ha ett underlag för att avgöra vilka fysikaliska, kemiska och mineralogiska egenskaper som kontrollerar den mikrobiella aktiviteten.

### ***Remissinstansernas synpunkter***

*Kungliga Vetenskapsakademien (KVA)* anser att avsnitt 11.3.1 Sulfidbildning och sulfidtransport beskriver en betydelsefull och trovärdig forskning, som kan leda till full förståelse av kopparkapselns hållbarhet och integritet.

### ***SSM:s bedömning***

SSM bedömer att SKB:s forskning i området är vetenskapligt välgrundad och att resultaten är trovärdiga. SSM bedömer också att SKB:s nuvarande och planerade satsningar på området är ändamålsenliga. SSM instämmer med SKB att halten av löst sulfid i porvatten i mättad bentonit samt förekomst av mikrobiell sulfidproduktion i mättad bentonit har en direkt inverkan på korrosion av kopparkapslar i Kärnbränsleförvaret.

SSM ser positivt på att nya kunskaper och fördjupad förståelse har vunnits av SKB under denna Fud-period, exempelvis att bentoniten möjligen kan reagera med löst sulfid i porvattnet, samt att densitetsgränsen för att begränsa mikrobiella aktiviteter för sulfidproduktion kan variera stort för olika typer bentonit. SSM anser att det också är positivt att SKB avser att undersöka variationen av densitetsgränsen ur ett brett perspektiv med hänsyn tagen till bentonitens fysikaliska, kemiska och mineralogiska egenskaper.

## 10.2.9 Kolloidfrigörelse/erosion

### ***SKB:s redovisning***

SKB redogör för kolloidfrigörelse som ger upphov till bentonitens kemiska erosion i avsnitt 11.3.2 i Fud-program 2019. Bentonitbufferten i Kärnbränsleförvaret sväller i samband med upptag av grundvatten. När materialet befinner sig i ett utrymme med begränsad volym utvecklas ett svälltryck i bentoniten. Om deponeringshålet skärs av en spricka kan bentonitmaterialet expandera in i sprickan tills ett jämviktsförhållande uppnås. Om jonstyrkan i grundvattnet är mycket låg kan bentonitmaterialet i det yttersta skiktet av den expanderande delen i sprickan omvandlas från gel till partiklar och transporteras bort med det strömmande grundvattnet. Denna process benämns kolloidfrigörelse/erosion.

I EU-projektet Belbar ("Bentonite Erosion: effects on the Long term performance of the engineered Barrier and Radionuclide transport"), vilket SKB deltog i, studerades både teoretiskt och experimentellt inträngningen av leran i sprickorna och frigörelsen av lerpartiklar till vattnet i sprickorna. Ett viktigt syfte med dessa experiment var att ta fram data för att vidareutveckla kvantitativa modeller för att beräkna förlusten av bentonit från deponeringshål och tunnlar. Dessutom utfördes ett antal försök för att utreda de underliggande mekanismerna för bentonitexpansion och frigörelse av lerkolloidpartiklar.

SKB har förbättrat den numeriska noggrannheten hos modellen för bentoniterosion (SKB TR-16-11). Den reviderade modellen underskattade dock väsentligt erosionen under vissa experiment. En närmare utredning visade att tidigare okända fenomen kraftigt bidrog till att öka erosionshastigheten; de eroderade lerpartiklarna slår mycket snabbt ihop sig och bildar flockar vilka snabbt kan transporteras med strömmande grundvatten. De experimentella resultaten visade att orsaken till flockbildningen är närvaron av positivt laddade kanter på lerflaken (SKB TR-15-07) samt att flockarnas reologiska egenskaper påverkar hur snabbt och långt in i spricknätverket montmorilloniten kan vandra (SKB TR-18-13).

En god överensstämmelse mellan modellering och experiment erhöles efter att dessa fenomen infördes i modellen. Det visades både experimentellt och från modellering att flockbildning kan ge upphov till en ytterligare oväntad effekt, nämligen att flockarna sedimenterar i sluttande sprickor, vilket i sin tur kan leda till större erosion än den som förorsakas av strömmande grunvatten. Erosionsförlust i sprickor med större apertur än 0,1 mm verkar bestämmas av hur snabbt flockar frigörs från leran (SKB TR-16-11).

SKB:s modellering förutser betydligt mera omfattande expansion av bentoniten än vad som har observerats i fält- och laborieförsök (SKB TR-17-11, SKB TR-19-08). SKB:s förklaring till detta är att endast rörelsen av laddade montmorillonitflak har beaktats i modellen och inverkan av accessoriska mineraler i bentoniten har försumrats (SKB TR-16-11, avsnitt 4.2.1). SKB har vidareutvecklat en modell avseende bentonitexpansion i plana horisontella sprickor. I modellen balanseras svällning och expansion med friktion mot sprickväggarna. Det predikterade avståndet för expansion blev då mycket mindre än diametern på deponeringshålet. De experimentella försök som redovisades i SKB TR-19-08 visar också att grova fraktioner av accessoriska mineraler effektivt kan begränsa lerexpansion i tunna sprickor.

SKB anser att den stora kvarstående frågan med avseende på kolloidbildning och erosion är betydelsen av flockbildning, särskilt i sluttande sprickor. Man har därför startat ett nytt experimentellt program på sitt forskningslaboratorium vid Äspölaboratoriet med syfte att utreda processen flockbildning. SKB har konstaterat att ingen konceptuell modell för denna finns är tillgänglig och implementering av processen i den nuvarande modellen är endast empirisk. Under kommande Fud-period planerar SKB att verifiera de resultat som erhöles i bl.a. Belbarprojektet, samt att ta fram ytterligare data. Utöver detta program som SKB genomför i egen regi kommer andra experimentella och modellutvecklingsarbeten att fortsätta hos externa leverantörer.

### **Remissinstansernas synpunkter**

*Kungliga Vetenskapsakademien (KVA)* anser att avsnitt 11.3.2 Kolloidfrigörelse/erosion beskriver viktig och välmotiverad forskning, men påtalar att kolloider även finns i naturvattenmiljöer. KVA påtalar att standardmetoden filtrering genom 0,45 µm filter inte är tillräcklig för avskiljning av *suspenderad fas*, inte heller 0,22 (eller 0,20) µm filter avskiljer hela den kolloidala fasen.

*Luleå tekniska universitet (LTU)* anser att vad avser erosionspåverkan på bufferten ("Lerbarriärer och förslutning", pkt 11.1.2) kommer koagulerings-effekten på grund av den successiva ökningen av porvattnets salthalt, i kombination med den ökning av inre friktionsvinkeln som nås genom inblandning av finsilt eller finsand i pelletfyllningen (ett förfarande som beskrivits i internationell litteratur; Pusch, R., Geological storage of radioactive waste, Springer, 2008), att göra erosionen betydelselös.

### **SSM:s bedömning**

SSM ser positivt på att SKB såväl genom deltagande i EU-forskningsprojekt som i egen regi har vunnit nya kunskaper om kolloidfrigörelse och erosion av bentoniten. SSM bedömer att SKB:s förståelse för processen har fördjupats med avseende på både bentonitexpansion till sprickan och flockbildning av lerpartiklar. Det är också positivt att SKB uppdaterat modellen för att beakta flockbildningen även om det fortfarande är med en empirisk metod.

SSM bedömer att både SKB:s nuvarande och planerade insatser i området är ändamålsenliga. SSM instämmer med SKB att flockbildning kan påverka bentoniterosion, i synnerhet i lutande sprickor och frågeställningen måste därför anses vara en betydande kvarstående fråga. SSM anser dock att även frågan om bentonitexpansion behöver utredas ytterligare. Syftet med utredningarna av frågor avseende både flockbildning och bentonitexpansion bör vara att kunna ta fram både teoretiskt och experimentellt mer motiverade grunder för att inkludera processerna i modeller för bentoniterosion.

## 10.2.10 Mineralstabilitet

### *SKB:s redovisning*

SKB redovisar stabilitet av mineraler i bentoniten i avsnitt 11.3.4 i Fud-program 2019. SKB anser att faktorerna som främst styr mineralstabiliteten är temperaturer, tillgång till kalium, pH-värde och redoxförhållanden i slutförvarsmiljön. SKB har utfört försök för att studera mineralstabilitet i bentonitlera; långtidsförsök för buffertmaterial (LOT) och alternativa buffertmaterial (ABM).

De viktigaste resultaten från paket 2 i ABM (Hadi m.fl., 2017) är att de identifierade processerna överensstämmer med resultaten rapporterade tidigare från försöken vid Äspölaboratoriet i Sverige och Grimsel i Schweiz. En av observationerna är att det inte finns några indikationer på smektitförändringar i något prov efter att bentonitmaterial har exponerats för temperatur upp till 130°C i tre år. Denna nya observation är konsekvent med tidigare observationer från LOT- och andra fältförsök. En annan observation är att det har skett katjonbytesreaktioner mellan natrium-, kalcium-, magnesium- och kaliumjoner. Provernas katjonbyteskapacitet ("cation exchange capacity", CEC) visade dock nästan ingen förändring som funktion av avståndet till värmekällan. Dessutom observerades ackumulering av magnesium och kalciumsulfat nära värmaren och järn-bentonit-interaktion i proverna, förutom i den järnrika bentoniten (Rokle-bentonit) där ingen järnökning observerades. En ny magnesiumrik trioktaedrisk smektit identifierades också, dock avsåg förekomsten små mängder i endast en typ av bentonit.

Det pågår studier med att utveckla kopplade reaktion-transport-modeller för cement-bentonit-interaktioner med avsikten att analysera lerbarriären i BHA i SFL. Syftet är att bedöma omfattning av montmorillonitombvandling i lerbarriären som ett resultat av interaktioner med cementytorna som omger avfallsbehållare. Modeller baserade på nuvarande förenklade antaganden förutser en relativt omfattande omvandling av lerbarriären.

SKB planerar ett fortsatt arbete med att testa material från paket 2 i ABM-försöket och från paket 5 som har exponerats för mycket högre temperaturer (upp till 200°C). Bland annat kommer svälltryck och hydraulisk konduktivitet att bestämmas. Resultaten från paket 2 i ABM visade att olika typer av bentonit verkar ha olika grad av kemisk stabilitet och interagerar med järn på olika sätt. SKB planerar därför nya fältförsök av ABM-typen för att testa olika typer av bentonit med kopparvärmare i stället för stål.

SKB planerar att bryta två försökspaket från LOT närmast efter inlämningen av detta Fud-program. Förutom standardanalyser liknande vad som utförts på tidigare paket, kommer analyserna av ett stort antal prover av lermaterialen från paketen att fokusera på att leta efter magnesiumrika faser i kontakt med värmaren, samt att försöka hitta orsaken till

bildning av dessa faser. Ett annat fokusområde är att studera järnets redoxkemi i bentoniten. Bentoniten domineras av järn(III) vid installation, men vid brytning av prototypförvarets yttre sektion (SKB TR-13-21) observerades en ökning i järn(II)/järn(III)-kvoten i bufferten. Denna ökning kunde inte riktigt förklaras, varför nu mer information ska samlas in för att öka kunskapen om processen.

SKB anser att den dioktaedriska smektiten (montmorillonit, det dominerande mineralet i bentonit, är en typ av dioktaedrisk smektit) som identifierades i Kirunagruvan potentiellt kan användas som en naturlig analog för montmorillonit i bentonit ifall man kan datera hur gammal smektiten i gruvan är. Nuvarande kunskap tyder på att mineralet kan vara extremt gammalt.

Beträffande den observerade relativt omfattande interaktionen mellan cement och bentonit i BHA i SFL anser SKB att utmaningar fortfarande finns kopplat till analys av frågan. Det är inte säkert att tekniska lösningar såsom minskning av mängden kringgjutningsbruk runt avfallet eller användning av en mer massiv bentonitbarriär är praktiskt genomförbara. Faktorerna som är mest avgörande för denna fråga är transportegenskaperna hos betongen i avfallsbehållaren och montmorillonitens upplösningskinetik. Även utfällningskinetik hos de sekundära faserna, som tidigare helt har försummats i studierna, kan ha betydelse. SKB anser att det är nödvändigt att ytterligare studera dessa processer. Studien i litteraturen (Satoh m.fl., 2013) visade att den reaktiva ytan i kompakterad bentonit är betydligt mindre än den som uppmätts i dispergerade lösningar. I kommande Fud-period kommer SKB modellera cement-bentonit-interaktionen i BHA i SFL med hänsyn tagen till lägre reaktivitet för mineralytor i kompakterad bentonit, samt experimentellt verifiera att detta antagande är rimligt.

### ***Remissinstansernas synpunkter***

*Luleå tekniska universitet (LTU)* anser att långtidseffekten hos bufferten i deponeringshålen enligt konceptet KBS-3 inte har behandlats i något Fud-program tillnärmelsevis så ingående som man gjort i studier av naturliga analogier i omvärlden. LTU noterar att i USA medverkade Texas University och Stockholms universitet vid genomförandet av fältstudier av den ordoviciska (äkta) bentoniten på Kinnekulle som utsatts för en likartad mekanisk och termisk påverkan som en KBS-3 buffert kommer att genomgå (Pusch, 1983. Stability of Deep-sited Smectite Minerals in Crystalline Rock, SKBF/KBS Tekniska rapport 83-16). Denna studie bekräftade enligt LTU den på åttiotalet allmänt accepterade föreställningen inom lermineralogin att den temperaturbetingade laddningsändringen vid byte av tetraedriskt kisel till aluminium är den helt dominerande omvandlingen av smektitmineralet montmorillonit till illit (hydratiserad glimmer) vid tillräckligt riklig tillgång till kalium. Enligt LTU gav studien också besked om att motsvarande omvandling ägt rum i publicerade hydrotermala laboratorie- och ”bench-scale” tester. LTU noterar vidare att undersökningar vid Greifswaluniversitet och universiteten i Hanoi och Darmstadt av Kasbohm, Thao Hoang-Minh, och Lan Nguyen-Thanh har visat att smektitnehållet i SKB:s referenslera MX-80 inte är av enkelt slag utan består av serier av blandskiktmineral som inte tidigare varit kända i detalj, det vill säga en illit-smektitserie (IS-ml) och en dioktaedrisk vermikulit-smektit serie (diVS-ml). Den sistnämnda är enligt LTU rik på aluminium och sannolikt mindre kemiskt stabil än montmorillonit som är den dominerande smektittypen. LTU anser att Fud-program 2019 inte antyder om och hur sådana kvalificerade och mycket tidskrävande hydrotermaltester kommer att genomföras.

Anrikning av cementerande kisel har enligt LTU formen av väl kristalliserad kvarts till skillnad från kristobalit och amorf kiselsyra som man finner vid kortvariga hydrotermalförsök i laboratoriet. Skillnaden beror enligt LTU på den långsammare avsvälningen av det till ca 140°C upphettade bentonitlagret. Det pekar enligt LTU på att naturliga analogier av Kinnekulletyp borde undersökas vidare vilket är väl möjligt genom lermineralstudier av smektitiska leror med känd temperaturhistoria såsom Keuperlerorna i Margaretebergslagren i nordvästra Skåne. Alla dessa plastiska leror har enligt LTU kvar en betydande del av sina smektitkomponenter (ca 25 %) och ett porvatteninnehåll (20-30 %) som svarar mot överlagringstrycket (förkonsolideringstrycket). Konsistensen liknar enligt LTU den som buffertleran i ett KBS-3 förvar får och som har gjort undersökningarna av mineralinnehållet relevant. Den enligt LTU viktigaste observationen vid studien av Kinnekulle- och Margaretebergslerorna var att utfällningen av kisel orsakat omfattande cementering som idag måste ses som det främsta hotet mot självläkning hos bufferten vid den förväntade mekaniska störningen som orsakas av bland annat spänningsändringarna vid dess avsvälning. LTU anser att det är anmärkningsvärt att ingen av dessa analogiundersökningar ens finns nämnda och refererade till i SKB:s Fud-planer. LTU konstaterar att inte heller de på senare tid i litteraturen beskrivna naturliga analogierorna från bland annat Libyen och Montana i USA finns med som referenser i Fud-planerna. Enligt LTU förtjänar det att nämnas att inga kortvariga eller decennielånga laboratorie- eller fältförsök kan ersätta undersökning av relevanta naturliga analogier.

LTU konstaterar att det av Fud-program 2019 framgår att SKB eftersträvar att identifiera och testa ett antal ”bentonitfabrikat” på marknaden i avsikt att katalogisera dem för framtida bruk. Erfarenheten visar enligt LTU att ett begränsat antal testningar utan dubbelprov för sådan katalogisering kan ge osäkra värden vilket illustreras av den nämnda fransk/svenska undersökningen av SKB:s referenslera MX-80 i obehandlad form och efter hydrotermalbehandling och gammastrålning. Resultatet av den studien visar enligt LTU att den obehandlade leran hade en katjonbyteskapacitet av CEC=99 meq/100 g medan årslång exponering till 130°C under stark gammastrålning gav CEC=93 meq/100 g, innebärande obetydlig försämring. Krypöversök av prov uppvärmda till 90°C respektive 130°C, under inverkan av gammastrålning gav emellertid beskedet att den högre temperaturen – som mycket väl kan nås i ett KBS-3 förvar – hade givit påtaglig förstuvning orsakad av cementering. Vid enaxlig tryckning av lerproven blev sålunda kompressionen av 130°C-provet endast en tredjedel av den hos ett prov som upphettats till 90°C. Liknande försök med olika lermaterial har enligt LTU visat att den mest stabila smektitleran är saponit som har magnesium i kristallstrukturen och som är en kommersiell mineralvara. Montmorillonit är en aluminiumrik smektitvariant som dominerar i MX-80 lera och har betydligt sämre temperaturbeständighet än saponit, vilket visar att SKB enligt LTU borde systematiskt undersöka andra smektitvarianter, såsom saponit, och inte bara montmorillonitiska bentoniter. LTU anser att Fud-program 2019 inte antyder någon strävan att i detalj karakterisera smektitkandidater eller kvantifiera förändringar av deras fysikaliska egenskaper orsakade av hydrotermal påverkan av den typ som bufferten kommer att utsättas för i ett KBS 3-förvar.

LTU konstaterar att när det gäller utveckling och praktiska konsekvenser av konceptuella och via modellering härledda mekaniska och kemiska processer i bufferten vid förvaring av använt reaktorbränsle i ett KBS-3 förvar finns ingen vetenskaplig strategi beskriven i Fud-program 2019. Däremot, noterar LTU, har internationell litteratur beskrivit studier av lerbuffertens mognad och fysikaliska och mineralogiska långtidfunktion som man hade

kunnat referera till när det gäller beskrivning av nuläget (Kasbohm, J., Herbert, Yang, T., Mattsson, H., m.fl., under åren 2017-2019).

### ***SSM:s bedömning***

SSM bedömer att SKB:s redovisning om stabilitet av mineraler i bentonit är ändamålsenlig. SSM anser att SKB:s strategi att basera sina utredningar på att testa proverna från fältförsöken LOT och ABM vid Äspölaboratoriet är vetenskapligt välgrundad eftersom försöken genomförts i en slutförvarsliknande miljö med relevanta material.

SSM anser att SKB:s utredning i området har fokuserat på frågor som har stor strålsäkerhetsbetydelse, d.v.s. förekomsten av magnesiumrik trioktaedrisk smektit, bentonit-järninteraktion samt bentonit-cement-interaktion. SSM ser positivt att SKB planerar att initiera en naturlig analogstudie av den dioktaedriska smektiten i Kirunagruvan.

SSM anser att SKB i kommande Fud-program bör mer ingående studera förändringen av redoxförhållandehos järnet i strukturen i montmorillonitmineralet. Förändring av redoxförhållandena av järn i strukturen kan ge upphov till laddningsförändringar på ytan av montmorillonitflaken som i sin tur kan påverka svälltryck och andra egenskaper hos bentoniten. SSM anser dessutom att SKB bör utreda hur stor andel av blandskiktmineraler illit-smektitserie (IS-ml) respektive dioktaedriska vermikulit-smektitserie (diVS-ml) som finns i typisk MX-80-bentonit samt dess inverkan på långsiktig stabilitet av de expanderande lermineralerna i bentoniten. En liknande fråga ställdes även av Luleå tekniska universitet i deras remissvar.

## 10.2.11 Utformning av barriärer

### ***SKB:s redovisning***

SKB redogör för fortsatt teknikutveckling för utformningen av lerbarriärerna såsom buffert och återfyllning i Kärnbränsleförvaret samt bentonitfyllning i SFL i avsnitt 11.4 i Fud-program 2019.

Beträffande bufferten i Kärnbränsleförvaret har teknikutvecklingen gått från konceptuella utformningar som redovisades i ansökan till systemkonstruktion inför kommande steg av programmet. Utgående från de uppdaterade konstruktionsförutsättningarna (Posiva SKB Report 01) har en ny metodik för att anpassa buffertens utformning till olika bentonitmaterial tagits fram. Installationsteknik har vidareutvecklats och olika strategier kommer att användas för buffertinstallation i torra respektive våta deponeringshål (SKB TR-17-06, avsnitt 7.2). SKB planerar under kommande Fud-period att utreda teknik för att installera bufferten i form av segmenterade block i ett fullskaligt försök samt modellering av tidiga termiska, hydrauliska och mekaniska processer vilka kan leda till expansion eller krympning av bufferten. Även utformning och tillverkningsmetod för buffertpellets kommer att utredas.

Avseende återfyllning i Kärnbränsleförvaret har SKB etablerat laboratorieverksamheten för rutinemässig karaktärisering av bentonitmaterial på Äspölaboratoriet. Viktiga kravparametrar för återfyllningen kan bestämmas vid laboratoriet. Ett dataunderlag för bl.a. relevanta material och val av densitet har byggts upp. Modellerna för hur återfyllningen motverkar buffertens uppåtriktade svällning har vidareutvecklats baserat på resultat från

tester i laboratorie- och fullskala. Specifikationer och ett kontrollprogram för installerad återfyllning har tagits fram. SKB planerar att uppdatera återfyllningens utformning baserat på förändringar av tunnelprofil. Vidareutveckling av modellerna för interaktion mellan buffert och återfyllning kommer att fortsätta. Hantering av inflödande vatten kommer att utredas och logistikstudier kommer att utföras.

När det gäller utformning av lerbarriärer i SFL har SKB analyserat känslighetsfall för olika barriärlösningar. SKB kommer att fortsätta med utvecklingen av utformningen av förvarsutrymmen med fokus på förvarskonstruktioner för hantering och lagring av avfallet, metoder för återfyllnad med bentonit för att utreda vilket initialtillstånd som kan uppnås, samt analyser av huruvida initialtillståndet kan verifieras.

### ***SSM:s bedömning***

SSM anser att SKB:s nuvarande och planerade insatser är ändamålsenliga. SSM ser positivt på att SKB vidareutvecklar samarbetet med Posiva i Finland för den teknikutveckling som behövs för lerbarriärerna. Det är också positivt att SKB strävar efter att förbättra utformning och tillverkning av buffertblock exempelvis genom att testa för- och nackdelar vid tillämpning av segmenterade block, se även avsnitt 10.2.6 i föreliggande rapport. SSM instämmer med SKB att utvecklingsarbete för utformningen behöver genomföras parallellt med modellerings- och verifieringsstudier.

## **10.2.12 Tillverkning, kontroll och provning av buffert och återfyllnadskomponenter**

### ***SKB:s redovisning***

SKB redogör för fortsatt utvecklingsarbete för tillverkning samt kontroll och provning av buffert och återfyllning i Kärnbränsleförvaret i avsnitt 11.5 i Fud-program 2019. Arbetet pågår hos SKB för att utforma en kedja av processer kopplade till teknikutveckling för buffert och återfyllning, från val av material till färdig installation med kontroll, provning och verifiering i olika steg.

För materialförsörjning och kvalitetssäkring har utvecklingsarbetet fokuserat på de metoder med vilka materialen karaktäriseras för bestämning av bl.a. materialens vatteninnehåll, partikelstorleksfördelning, svälltryck och hydraulisk konduktivitet, mängd av kol och svavel, kemisk analys med röntgenfluorescensspektroskopi, samt mineralfasanalys med röntgendiffraktion. Dessutom har metoder utvecklats för bestämning av kompakteringskurva, termiska egenskaper, exaxliga tryck av bentonitblock, pellets dimensioner och hållfasthet samt blocks vikt och dimensioner. Förslag till kvalitetsplaner för omfattningen av provtagning och analys har tagits fram för olika delar i processen och detta kommer att optimeras efter att ytterligare statistiskt underlag byggs upp.

SKB planerar att fortsätta arbeta med att prova de ovan nämnda kvalitetsplanerna för stora volymer material i samband med kommande fullskaletester. I det fortsatta arbetet ingår att fördjupa förståelsen för materialens homogenitet i olika skalor, vinna kunskaper för materialleverantörernas kvalitetssystem samt lägga fast en strategi för upphandling av bentonitmaterial.

Avseende tillverkning av buffertkomponenter har SKB testat att tillverka blockkomponenter utan att använda smörjmedel. Smörjmedel användes i tidigare tillverkningsförsök, men dessa bedöms kunna ha en negativ inverkan på de tekniska barriärernas skyddsförmåga. Resultaten visade att metoden fungerar även utan användning av smörjmedlet. Homogeniteten i densitet blir dock litet sämre men det bedöms inte vara avgörande för den tillverkade barriärens slutliga kvalitet. Formtekniken har vidare utvecklats för att effektivisera och optimera tillverkningen. Möjligheten att dela upp buffertblocken i mindre delar, så kallade segmenterade block, har utretts. SKB anser att användning av segmenterade block underlättar produktionen men installationen försvåras dock.

Produktionsprocessen kommer att fortsätta optimeras, effektiviseras och samtidigt detaljeras. Större serier av buffertblock kommer att produceras för att erhålla bättre statistiskt underlag med avseende på densitetsvariationer i förhållande till blockstorlek. Blocken kommer även att produceras med nya bentonitmaterial för att säkerställa fungerande metoder för tillverkning med olika material. Fullskaliga segmenterade block kommer att tillverkas för att kunna räcka till för deponering i ett deponeringshål som kommer att prövas i Äspölaboratoriet. Även nya metoder för att mäta pelletsens kvalitet kommer att tas fram.

Beträffande tillverkning av återfyllningskomponenter anser SKB att det är en industriellt mogen process med avseende på de metoder och maskiner som behöver användas. SKB planerar att genomföra liknande insatser som vid tillverkningen av buffertkomponenterna. SKB antar att vakuum troligen behöver användas i framtida produktion av återfyllningsblock för att minska risken att instängd luft under högt tryck orsakar sprickor i blocken. SKB påpekar dock att metoden inte har kunnat testas eftersom utrustning för detta för närvarande saknas.

### ***SSM:s bedömning***

SSM bedömer att SKB:s nuvarande och planerade insatser är ändamålsenliga. SSM anser dock att SKB under kommande Fud-period ytterligare bör utreda inverkan av instängd luft på tillverkningsprocess och kvalitetssäkring av återfyllningsblock, samt testa de metoder som kan undvika att stänga in luft i blocken under tillverkningsprocessen.

## **10.2.13 Deponering och installation av buffert och återfyllnad**

### ***SKB:s redovisning***

SKB redogör för fortsatt utvecklingsarbete för deponering och installation av buffert och återfyllning i Kärnbränsleförvaret i avsnitt 11.6 i Fud-program 2019. SKB:s strategi för teknikutveckling kopplad till transport och deponering av buffert- och återfyllningskomponenter är att så långt som möjligt använda tillgängliga standardutrustningar. Om sådana utrustningar inte finns ska man i första hand modifiera och anpassa de befintliga standardutrustningarna. Utveckling av egna specialutrustningar ska vara det sista alternativet. En annan strategi är att en utrustning ska kunna användas i så många arbetsprocesser och arbetsmoment som möjligt.

Deponering av kapslar i Kärnbränsleförvaret behöver utföras på ett kontrollerat och säkert sätt samt med hög repeternoggrannhet, och det krävs därför en del automatisering med

övervakning. SKB har tagit fram och utformat ett demonstrationssystem som ger olika prototypmaskiner och utrustningar möjlighet att styras och övervakas oberoende av maskinernas och utrustningarnas leverantörer. Provingen av detta demonstrationssystem slutfördes under 2015 och det visade sig att de uppställda kraven på tillförlitlighet, tillgänglighet och repeterbarhet vid automatiserad drift är möjliga att uppfylla. SKB planerar att lägga fast automatiseringsgrad för deponering och återfyllning i Kärnbränsleförvaret, fortsätta utveckla de överordnade systemen för automatiserad styrning och övervakning, vidareutveckla de mekaniska komponenterna i deponeringsmaskinerna samt utveckla en skyddslucka för deponeringshåll. Även en del utrustningar för återtagbarhetsändamål kommer att utvecklas.

Beträffande installation av buffert i Kärnbränsleförvaret har SKB i fullskaliga deponeringshåll testat en metod som planeras användas i torra deponeringshåll och en metod för deponering i våta deponeringshåll. Metoden för torra håll har fungerat bra. Metoden för våta håll med buffertskydd i buffertens övre del visade sig fungera sämre. Den bedömdes inte vara robust och behöver därav vidareutvecklas. SKB påpekar dock att de flesta deponeringshållen är torra håll och att det är möjligt att anpassa sekvensen för deponering för att hantera deponeringen i de relativt få våta hållen. SKB har dessutom tagit fram och testat buffertlyftverktyg samt prototyputrustning för deponering av pellets i deponeringshållen. SKB planerar under kommande Fud-period att vidareutveckla de termiska, hydrauliska och mekaniska modellerna (THM) för att bedöma påverkan av olika utformningar av buffertkomponenter, såsom segmenterade block, på vatteninflöden samt för att utreda storleken på buffertens hävning och eventuella krympning under olika vatteninflödesförhållanden. Gränsen mellan torra och våta deponeringshåll behöver bestämmas ur ett buffertinstallationsperspektiv. Prototyputrustningar för kvalitetsverifiering och kvalitetssäkring av installerad buffert kommer också att utvecklas och fullskaligt testas vid både ovan- och underjordsförhållanden.

Utrustning för installation av återfyllning har utvecklats och testats i full skala i Äspö-laboratoriet. SKB:s slutsatser är att det föreslagna installationskonceptet är lämpligt. Slutsatser om kapaciteten har dock inte dragits eftersom en del tillfälliga lösningar med manuell hantering hittills har tillämpats, vilka inte kommer att användas i Kärnbränsleförvaret. I samarbete med Posiva har SKB arbetat med att ta fram metoder för vattenhantering under installationsskedet. Det har visats att ett flertal metoder kan tillämpas, beroende på vatteninflödets storlek och fördelning i deponeringstunneln. SKB kommer under kommande Fud-period att utveckla och testa verifieringsmetoder för kvalitetssäkring av installerad återfyllning i full skala. Samarbetet med Posiva fortsätter kring dessa frågor.

### ***SSM:s bedömning***

SSM bedömer att SKB:s nuvarande och planerade insatser på området är ändamålsenliga. SSM ser positivt på att SKB så långt som möjligt kommer att använda tillgängliga standardutrustningar vid transport och installation av buffert- och återfyllningskomponenter. SSM anser att SKB:s strategi skapar goda förutsättningar för att uppnå hög tillförlitlighet för de tekniska metoder som behöver tillämpas. Det är också positivt att SKB samarbetar med Posiva kring vissa delar av teknikutvecklingsarbetet.

## 10.2.14 Borrhålsförslutning

### ***SKB:s redovisning***

Syftet med borrhålsförslutning är att återställa berggrundens hydrauliska egenskaper så att borrhålen inte bildar flödesvägar för grundvatten. Utvärdering i SR-Site med efterföljande känslighetsanalyser (SKB TR-12-08) av referensutformningen för borrhålsförslutning i Kärnbränsleförvaret visade att en hydraulisk konduktivitet hos förslutningsmaterial upp till  $10^{-6}$  m/s inte medför en signifikant ökad spridning av radionuklider till markytan. Värdet är två storleksordningar högre än det krav som tidigare ställdes (SKB TR-10-17, tabell 2-1). Detta föranleder SKB att ändra kravet på borrhålsförslutningens täthet till en hydraulisk konduktivitet lägre än  $10^{-6}$  m/s (SKB TR-18-18, avsnitt 2.1). Det utförda teknikutvecklingsprojekt ligger även till grund för en föreslagen borrhålsförslutningsmetod, vilken omfattar en indelning av undersökningsborrhål i tre klasser. Denna indelning baseras på hydraulisk kontakt med förvaret, borrhålsdjup och avstånd till förvaret. SKB räknar upp flera frågor som kvarstår att analysera, bl.a. hur väl den framtagna metoden fungerar på större borrhålsdiametrar och olika förslutningsmaterials utveckling med tiden.

### ***SSM:s bedömning***

Vid granskningen av Fud-program 2016 kommenterade SSM SKB:s beslut att ändra kravbilden för borrhålsförslutningen med att ytterligare analyser bör göras som verifierar den föreslagna sänkningen. SSM konstaterar att SKB har gjort de analyser som behövs samt anser att den redovisning som ligger till grund för den ändrade kravbilden i detta Fud-program är tillräcklig. I övrigt bedömer SSM att SKB:s redovisade program för att utveckla borrhålsförslutningsmetoden är ändamålsenlig.

## 10.2.15 Förslutning

### ***SKB:s redovisning***

Beträffande förslutning av Kärnbränsleförvaret har SKB, baserat på utförda känslighetsanalyser, föreslagit en förenklad utformning. Eftersom förslutningskomponenternas storlek och funktion kan ha påverkan på förvarets utformning planerar SKB att ta fram en övergripande förslutningsplan för att ge ytterligare detaljer kring förslutningssekvens och förslutningspluggarnas funktion och storlek.

För förslutningen av SFR hänvisar SKB till underlaget till ansökan om utbyggnad av SFR, ett underlag som kommer uppdateras inför PSAR. Sedan Fud-program 2016 har studier av enskilda förslutningskomponenter genomförts, vilket exemplifieras av arbetet med att klargöra kravbilden och långtidsutvecklingen för betongpluggar. För den befintliga anläggningen har SKB genomfört förstudier med syfte att uppdatera förslutningskonceptet för SFR. Framöver planerar SKB att fortsätta teknikutvecklingen av betongpluggar med hänsyn tagen till anläggningens faktiska förhållanden för att uppsätta krav ska infrå. Med den utvecklade kravbilden som grund avser SKB fortsätta teknikutvecklingen för övriga förslutningskomponenter SFR.

### ***SSM:s bedömning***

SSM ser positivt på SKB:s planer för förslutning av de olika förvarskoncepten. SSM saknar dock en hänvisning till var de genomförda studierna kring förslutningen av SFR som genomförts sedan Fud-program 2016 går att finna. Detta hade underlättat förståelsen av SKB:s uppgivna nuläge gällande förslutning av SFR.

#### **10.2.16 SSM:s samlade bedömning avseende buffert, återfyllning och förslutning**

SSM bedömer sammanfattningsvis att SKB:s forskning inom området buffert, återfyllning och förslutning är vetenskapligt välgrundad och resultaten är trovärdiga. Vid granskningen av SKB:s redovisning har SSM identifierat särskilt angelägna forskningsbehov som sammanfattas nedan.

SSM bedömer att SKB:s redovisade studier av gasfasens sammansättning och förekomsten av reaktiva gaser under den omättade perioden har bidragit till fördjupad kunskap. Enligt SSM:s bedömning är den viktigaste frågeställningen om det går att helt utesluta betydande tillförsel av vätesulfid via gasfasen. SSM anser att fördjupad förståelse för vilka parametrar som styr olika mekanismer för sulfidbildning respektive syreförbrukning under olika typer av omgivningsbetingelser som kan förekomma i slutförvarsmiljön ytterligare kan underbygga analysen av de tekniska barriärernas utveckling i allmänhet och koppar korrosion i synnerhet för deponeringshålspositioner i berget som kan förbli omättade under en tidsskala upp till 1000-tals år. En särskild frågeställning som belysts i samband med tolkning av fältförsök avser sorption av såväl syre som inerta gaser på lermineral.

SSM bedömer att SKB:s nuvarande samt planerade arbete inom området för vattenupptag och återmätning av lerbarriärer är ändamålsenligt, men ser ett behov av specifika studier inriktade mot SFL. För homogeniseringen av lerbarriärer bedömer SSM att det är viktigt att SKB kvantifierar graden av inhomogenitet efter svällning samt dess betydelse för den långsiktiga strålsäkerheten. Praktiska toleransgrader hos olika lerbarriärer i Kärnbränsleförvaret och i SFL behöver kartläggas.

SSM delar SKB:s uppfattning att flockbildning och sedimentering av eroderade lerpartiklar i lutande sprickor starkt kan påverka bentoniterosion och bör studeras vidare. SSM anser även att frågan om bentonitexpansion behöver utredas ytterligare. Syftet med utredningarna av frågor avseende både flockbildning och bentonitexpansion bör vara att kunna ta fram både teoretiskt och experimentellt motiverade grunder för att inkludera processerna i modellerna för bentoniterosion. SKB bör även mera ingående studera förändringen av järns redoxförhållanden i montmorillonit, vilket SSM bedömer kan påverka svälltryck och andra egenskaper hos bentonit. Dessutom bör SKB kvantifiera andelen blandskiktmineraler (illit-smektitserie och dioktaedriskt vermikulit-smektitserie) i typisk MX-80-bentonit, samt utreda blandskiktmineralernas inverkan på långsiktig stabilitet av de expanderande lermineralerna i bentoniten.

SKB:s redovisning för området tillverkning, kontroll och provning av buffert och återfyllnadskomponenter bedöms vara ändamålsenlig. SSM anser dock att SKB bör ytterligare

utreda inverkan av instängd luft på tillverkningsprocess och kvalitetssäkring för återfyllningsblock, samt testa de metoder som kan undvika att stänga in luften i blocken under tillverkningsprocessen.

### 10.3 Berg

I detta avsnitt framförs myndighetens synpunkter på SKB:s program för teknikutvecklings- och forskningsfrågor gällande berggrunden och slutförvarsanläggningarnas bergutrymmen (kapitel 12). Avsnittet inleds med SKB arbete med att karakterisera och modellera bergets mekaniska egenskaper. Övriga delar behandlar SKB:s arbete med jordskalv och grundvattenflöde med däri lösta ämnen. Avsnittet avslutas med SKB:s övergripande redovisning av undersökningsmetoder, modelleringar och metoder för berguttag i samband med uppförande och drift av ett slutförvar.

#### 10.3.1 Bergmassans mekaniska egenskaper

##### *SKB:s redovisning*

SKB betonar kraven för en djupare och mer grundläggande förståelse och karakterisering av de kopplade termiska, hydrauliska och mekaniska processer som påverkar bergmassans egenskaper. En angreppsätt som SKB planerar tillämpa utöver den empiriskt baserade metodiken för karakteriseringen av bergmassans mekaniska egenskaper, bygger på konceptet för syntetisk bergmassa (SRM, *Synthetic Rock Mass*). Under den föregående Fud-perioden har Post-projektet avslutats och avrapporterats (Posiva, 2017). Post-projektets syfte var att öka kunskapen rörande hur en sprickas skjuvegenskaper kan skalas upp. Utifrån erfarenheterna vunna från Post-projektet har SKB och NWMO (Nuclear Waste Management Organisation, Kanadas motsvarighet till SKB) inlett en andra fas vilken fokuserar på laboratorieexperiment och modellering. SKB har även utvecklat en metodik för att objektivt bedöma en sprickas ytojämnhet, s.k. sprickråhet (JCR, *Joint Roughness Coefficient*), vilket redovisas i Stigsson och Mas Ivars (2019).

SKB gör samma bedömning som vid redovisningen av Fud-program 2016 gällande kommande forskningsbehov för att karakterisera bergmassans mekaniska egenskaper. Forskningen syftar till att öka förståelsen vid uppskalning av sprickors hydro-mekaniska egenskaper och transmissivitetsförändringar till följd av mekaniska laster. SKB redovisar således ett planerat åttapunktsprogram för den fortsatta forskningen som är snarlikt det åttapunktsprogram som SKB redan redovisade i Fud-program 2016.

##### *Remissinstansernas synpunkter*

*Statens geotekniska institut (SGI)* anser att utvecklingen av DFN-baserade, analytiska ekvationer för att beskriva bergmassans egenskaper är positiv och intressant. SGI tycker att ansättande av parametrar i DFN modellen är en viktig fråga och att detta arbete måste ha fokus på variabilitet i sprickors egenskaper och uppträdande, samt dess potentiella inverkan på modelleringsresultat. SGI vill poängtera vikten av att verifiera modellernas giltighet, vid olika ämnesspecifika simuleringar.

SGI anser också att insatserna som planeras för att bättre uppskatta hydromekaniska egenskaper för sprickors underskjuvning och ökade normallaster är viktiga. Ett antal

forskningsinsatser planeras för att bestämma sprickegenskaper i större skala, till exempel inom fas 2 av POST-projektet, vilket SGI anser vara positivt.

### ***SSM:s bedömning***

SSM ser positivt på SKB:s utförda arbete rörande uppskalning av en sprickas skjuv-egenskaper. SSM finner dock att det fortsatta arbetet, som SKB uppger baseras på erfarenheterna från det avslutade Post-projektet, kunde förtydligats så det i högre grad framgick vilket syfte den nya projektfasen har.

SSM anser dock inte att invändning från granskning av Fud-2016 programmet har hanterats, nämligen att SKB:s planer täcker ett för brett område och är för oprecisa. Det är därför viktigt att SKB prioriterar sina insatser och bestämmer tidpunkter då dessa ska kunna leverera tillämpbara resultat. En sådan tidplan behöver motsvara SKB:s behov av ytterligare förståelse av processer i bergmassan och tidpunkter för genomförandet av kommande säkerhetsanalyserna för SKB:s slutförvar.

## 10.3.2 Inducerad rörelse i bergmassan orsakad av termisk, seismisk eller glacial belastning

### ***SKB:s redovisning***

SKB betonar behovet att studera dynamiska processer hos sprickor och förkastningar som utlöses under mycket korta tidsperioder och vid överskridandet av materialens hållfasthet, exempelvis vid jordskalv. SKB framhåller att dylika studier även bör innefatta temperaturs inverkan på inducerade rörelser. SKB lyfter även fram behovet att öka förståelsen av spricktillväxtens betydelse för sprickstabiliteten och vattengenomsläppligheten i bergvolymer runt ett KBS-3 förvar.

### ***Remissinstansernas synpunkter***

Statens geotekniska institut (SGI) anser att det är svårt att utläsa vilka utvecklingar eller resultat som har framkommit under tidigare Fud-perioden, då inga nya referenser presenteras. SGI undrar om den kompletterande litteraturstudie som planeras för utredning av bergmassans långsiktiga hållfasthet inkluderar inverkan från framtida ändrade förhållandena (termiska, mekaniska och seismiska) med tanke på förekomst av krypning längst sprickplan.

### ***SSM:s bedömning***

SKB:s redovisning inom området inducerad rörelse i bergmassan orsakad av termisk, seismisk eller glacial belastning är till stora delar identisk med SKB:s redovisning i Fud-program 2016. Detta gäller även beskrivningen av nuläget och det framtida arbetet, med undantaget att SKB:s program för 2019 redogör för en planerad litteraturstudie gällande bergets långsiktiga hållfasthet. De synpunkter som SSM förde fram vid granskningen av Fud-program 2016 ligger således kvar. SSM är även angelägen om att SKB genomför studier som förbättrar processförståelsen av kopplade termiska, hydrauliska och mekaniska processer som exempelvis påverkar bergmassans vattengenomsläpplighet. Av SKB:s uppgivna program förefaller sådana studier vara planerade med avseende på transmissivitetsförändringar i bergmassan på grund av spänningsförändringar. En ökning av transmissiviteten i anslutning till deponeringsområdet kan påverka den långsiktiga

strålsäkerheten, vilket SSM lyfte vid granskningen av SKB:s ansökan om ett slutförvar för använt kärnbränsle. SSM är därför angelägen om att SKB genomför det planerade arbetet med avseende på transmissivitetsförändringar i bergmassan på grund av spänningsförändringar som orsakas av olika laster.

### 10.3.3 Bergspänningar

#### ***SKB:s redovisning***

Under den föregående Fud-perioden har SKB undersökt hur in situ bergspänningsförhållanden i Forsmarks påverkas av spröda deformationszoner. Undersökningen är avrapporterad och ligger till grund för en högupplöst bergspänningsmodell för Forsmark som visar hur spänningsfältets orientering och storlek varierar i rummet (SKB R-19-23). Den uppdaterade bergspänningsmodellen i 3D ger viktiga indata vid planerad modellering av sprickstabiliteten under olika lastfall och kopplade hydromekaniska processer. Under uppförandet av Kärnbränsleförvaret avser SKB uppdatera bergspänningsmodellen med kompletterande bergspänningsmätningar och kartering av geologiska strukturer. Den uppdaterade spänningsmodellen kommer ligga till grund för bedömningen av stabiliteten hos deponeringshål och övriga utrymmen i Kärnbränsleförvarets undermarksanläggning.

#### ***Remissinstansernas synpunkter***

Statens geotekniska institut (SGI) anser att den nya spänningsmodellen i 3D är en viktig utveckling av metodiken, som nu bland annat tar hänsyn till den deterministiska deformationszonsmodellen och simulerar zoners undulation. SGI anser att modelleringsutfallen tydligt illustrerar hur spänningsfältet kan variera lokalt på förvarsdjup, vilket SGI anser är viktigt för kommande strategi för anpassning av förvarets layout och bestämning av orientering av deponeringstunnlar. Enligt SGI är dock denna modellering behäftad med stora osäkerheter, både med avseende på in-situ spänningarna och särskilt det deviatoriska spänningsfältet, samt geometrin av deterministiska modellerade deformationszoner. SGI framhåller att fokus bör ligga på processförståelse och modelleringsteknik för deformationszoner, inklusive mindre deformationszoner. Dessutom bör en analys göras för att illustrera hur en annan tänkbar spänningsregim skulle påverka den långsiktiga säkerheten i förvarsområden, och om det i så fall skulle kräva en förändrad layout. En sådan spänningssituation vid förvarsdjup skulle till exempel kunna vara då  $\sigma_2 = \sigma_v$ , d.v.s. en strike-slip-situation, till skillnad mot den situation av överskjutningstektonik (revers förkastnings-regim) som anses råda, vilken bygger på bergspänningsmodellen från Martin (SKB publikation 2007). SGI anser att en strategi för anpassning och åtgärder, samt uppföljning av mätningar under uppförandet, måste utvecklas.

#### ***SSM:s bedömning***

SSM ser positivt på att SKB genomfört den i Fud-program 2016 planerade uppdateringen av bergspänningsmodellen för Forsmark. Vidare bedömer SSM att SKB:s uppgivna planer inom området bergspänningar inför byggstart av Kärnbränsleförvaret är ändamålsenliga. SSM har vissa synpunkter vilka i huvudsak gäller transparensen i SKB:s arbete med detaljundersökningar och platsbeskrivande modellering rörande ämnesspecifika metodikrapporter (se denna rapport avsnitt 10.3.10).

### 10.3.4 Modellering av diskreta spricknätverk

#### ***SKB:s redovisning***

SKB redogör för att verktyg och metodik för konditionerade DFN-modeller har utvecklats med syfte att öka determinismen i de stokastiska modellerna. Metodiken har med framgång testats med två olika verktyg på syntetiska data (SKB R-17-11; SKB R-17-12), samt med ett av verktygen på observationsdata från Onkalo i Finland (Posiva SKB report 07). Alternativa sprickkonceptualiseringar har undersökts genom att SKB har varit med i ett internationellt projekt för att uppdatera och utöka programmet Mofrac. Därutöver har SKB genom ett samarbetsprojekt utvecklat en metod som fokuserar på sprickbildningsprocessen vid generering av spricknätverk (nearly Universal Fracture Model, UFM). Resultat från denna modell har jämförts med de modeller SKB tidigare använt för platsmodellering. SKB redovisar också att ett pågående projekt rörande kvantifiering av geometrisk osäkerhet hos borrhålsdata och dess betydelse vid modellering av diskreta spricknätverk.

Under kommande Fud-period avser SKB fortsätta arbetet med att ta fram en modelleringsmetodrapport för DFN. Anslutet till det arbetet ska konceptuella frågor rörande DFN-modellering belysas, bl. a. samband mellan intensitet och storlek för vattenförande sprickor. Hit kopplas också arbetet med att öka processförståelsen av kanalbildningseffekter i spricknätverket och inom enskilda sprickor. SKB:s undersökningar av att försöka kvantifiera betydelsen av osäkerheter vid bedömningen av sprickorienteringar fortgår, både rörande uppskattningen av mätfelet samt hur mätfelet propageras vidare under uppförandet av DFN-modeller. SKB redogör för det utvecklingsarbete som pågår kring alternativa konceptualiseringar av DFN, bl. a. planeras utveckling av användargränssnitt för Mofrac och UFM. UFM-modellerna planeras också att utvecklas med hänsyn till alternativa initieringsprocesser av sprickor, korrelation till sprickorienteringar, mätnadsgrad, genereringen av stora modeller samt intern sprickvariabilitet. Under kommande Fud-period kommer SKB fortsätta arbeta med ett projekt där det utreds om konditionering av spricknätverk kan ske på data från fältexperiment.

#### ***Remissinstansernas synpunkter***

*Statens geotekniska institut (SGI)* anser att föreslagna metodutvecklingar för simulering av DFN-modeller och tillämpningar på bland annat bergmekanisk och hydrogeologisk modellering är viktiga insatser. SGI anser vidare att kombinationen av olika metodiker (UFM, Mofra) är bra för att bättre bedöma tillförlitligheten i modellerna. SGI anser också att arbetet med att studera hur väl det genererade spricknätverket beskriver faktiska, naturliga sprickset, inklusive slumpmässigt förekommande sprickor, och deras egenskaper, behöver fortsätta. Även om bättre underlag kommer att samlas in under uppförandet kommer vissa vattenförande sprickor inte kunna upptäckas, antingen för att de inte påträffas i tunnlar eller identifieras av indirekta metoder, eller för att produktionen, och särskilt injektering, kommer påverka hydrogeologiska och spänningsförhållanden runt öppningarna. SGI tycker att SKB måste utveckla en strategi för att kvantifiera hur dessa dolda strukturer, som inte fångas av varken deterministiska eller stokastiska modeller, kan komma att påverka den uppskattade säkerheten under förändrade förhållanden i berget (hydrogeologiska, termiska och bergspänningar).

### ***SSM:s bedömning***

SSM konstaterar utifrån SKB:s redovisning att SKB i stort sett följer den plan som redovisades i Fud-program 2016. SSM ser positivt på att SKB i sin redovisning tar upp konceptuella osäkerheter som kopplar till DFN-modellering. SSM anser dock att beskrivningen kring hur dessa frågor ska behandlas är förhållandevis svag. En tydligare beskrivning av exempelvis analys av sambandet mellan sprickapertur och transmissivitet, vilket bl a kan ha påverkan på grundvattenflödes hastighet (SSM 2018:7), hade varit önskvärt.

Arbetet med att konditionera modeller till observerade data och projektet rörande kvantifiering av osäkerhet i observerade data tycker SSM är mycket intressant och kopplar väl till de frågeställningar som rör modellering av diskreta spricknätverk.

I granskningen av slutförvaret för använt kärnbränsle (SSM 2018:07) pekade SSM på osäkerheten kring effekten av kanaliserat flöde och dess påverkan på den långsiktiga säkerheten. SSM:s bedömning är att modeller som tar hänsyn till intern sprickvariabilitet inte fullt ut kan svara på frågor rörande flödeskanalisering och en alternativ konceptuell modell baserat på smala glesa kanaler förordades av SSM:s externa experter. SKB beskriver i Fud-program 2019 arbete med simulering av intern sprickheterogenitet samt kanalbildningseffekter i spricknätverket inom DFN-modelleringen, det verkar dock inte fullt ut inkludera en alternativ konceptualisering.

### **10.3.5 Seismisk påverkan på säkerhet efter förslutning**

#### ***SKB:s redovisning***

SKB redovisar det nuvarande kunskapsläget och planerade insatser under den kommande Fud-perioden inom flera områden relaterat till seismisk påverkan. Dessa områden är:

- seismisk övervakning
- undersökning av glacialt inducerade förkastningsrörelser
- modellering av seismisk påverkan på Kärnbränsleförvaret

Den i Fud-program 2016 uppgivna tomografiska analysen är avslutad och arbetet med att färdigställa rapporten pågår. SKB har även genomfört en så kallad ”multi-event-analys” av jordskalvslokaliseringarna vilket förbättrat lokaliseringen av skalv samt beräknade magnituder. Denna information kommer även användas för att beräkna bergspänningsfältet på stora djup.

Under den föregående Fud-perioden har SKB genomfört en analys av Lantmäteriets Lidarmätningar i Uppland, vilket omfattar områden under högsta kustlinjen. Arbetet har syftat till att, med en upplösning på 1 m, undersöka topografiska lineament som kan tyda på sen- till postglaciala rörelser. Arbetet har avrapporterats och resultaten har inte med säkerhet kunnat påvisa någon sen- till postglacial aktivitet. Det går dock inte att utesluta att ett fåtal potentiella förkastningsbranter i det undersökta området kan ha reaktiverats under sen- till postglacial tid (SKB R-18-10). Under den kommande Fud-perioden planerar SKB även att genomföra fältstudier i Uppland för att säkerställa om nämnda branters kan varit aktiva i samband med avsmältningen av Weichsel.

SKB har initierat ett projekt som ska undersöka den seismiskt aktiva Burträskförkastningen. Eftersom området är det mest seismiskt aktiva platsen i Sverige är den väl lämpad för att bygga upp en numerisk förkastningsmodell över Burträskförkastningen som vid en jämförelse med associerade markrörelser kan användas för att undersöka vilka parametrar, så som exempelvis variationer av materialegenskaper, spänningsmodell, portryck, är av störst betydelse för förkastningens stabilitet och rörelse. I Fud-program 2016 beskrev SKB ett seismiskt område nordväst om Iggesund och betonade vikten av att undersöka vilka strukturer som är seismiskt aktiva. SKB uppger i Fud-program 2019 att de nyligen initierat ett projekt för att identifiera orsaken till klustret av seismisk aktivitet nordväst om Iggesund. Projektet omfattar bl.a. upprättandet av ett tätare seismiskt nätverk, Lidar analyser, strukturmodellering och fältstudier.

SKB har under en längre tid utvecklad sin metodik för jordskalvsmodellering vid utvärderingen om en placering av ett förvar för använt kärnbränsle i Forsmark är lämplig. Under den föregående Fud-perioden har SKB sammanfattat och utvärderat modelleringen av seismisk påverkan på Kärnbränsleförvaret som genomförts sen SR-Site (SKB TR-19-19). En doktorsavhandling inom området har slutförts, vilken även förfinat SKB:s metodik för jordskalvsmodellering. I det fortsatta programmet för jordskalvsmodellering planerar SKB analysera konservatismen i nuvarande tillvägagångssätt genom att tillämpa alternativa konceptualiseringar och öka antalet beräkningsfall, vilka ska ligga till grund för en förfinad analys av den långsiktiga säkerheten. Genom att förbättra processförståelsen genom skalvmodellering kalibrerad mot observationer av förkastningsrörelser kan realismen i framtagna skjuvlastfall öka vilket ger förutsättningar för en väldimensionerad KBS-3 anläggning. SKB redovisar i flera punkter ett omfattande program för fortsatta studier för att förbättra beräkningen av skjuvbelopp. Programmet omfattar bl.a.:

- alternativ islasthistorik
- iskantens påverkan på branta förkastningar,
- fördjupad sprickmodellering,
- interaktion mellan tekniska barriärer och omgivande berg

### ***Remissinstansernas synpunkter***

*Statens geotekniska institut (SGI)* anser att resultaten från kontinuerliga mätningar från SNSN är väldigt intressanta, och SGI vill lyfta frågan i vilka avseende omlokalisering av jordskalv, samt de omberäkningar som skett och sker kan påverka nuvarande förståelse av Forsmark och av spänningsfältet, och vilka åtgärder som i så fall planerats för att hantera den förändrade situationen.

SGI poängterar att deras kommentar avseende utrustning för att mäta akustisk emission under uppförande, drift och efter förslutning kvarstår sen remissvar på Fud-program 2016.

SGI anser att programmet som presenteras för att undersöka områden med seismisk aktivitet är viktigt för att förstå mekanismer bakom recenta skalv (läge och storlek) och deras korrelation med glacialt inducerade förkastningar. SGI anser vidare att det fortsatta arbetet med lineament i Uppland också är relevant för att kunna utesluta, alternativt klargöra förekomsten av glacialt inducerade förkastningar i Forsmarksområdet. SGI anser också att utveckling av fjärranalytisk teknik för submarin tolkning av lineament eller strukturer kopplade till glacialt inducerad tektonik bör också vara av intresse i detta sammanhang.

SGI noterar att det inte framkommer tydligt i nulägesbeskrivningen eller programmet, men SGI förväntar sig, att den kommande modelleringen tar hänsyn till nyvunna resultaten från 12.2.1 och 12.2.2, vilka SGI anser kan påverka tidigare genomförda analyser.

*Stockholms universitet* noterar att under kapitel 12.2.2 beskrivs att nya undersökningar av glacialt inducerade förkastningar kommer att genomföras och att dessa bland annat kommer att bygga på numeriska modeller, strukturgeologiska undersökningar, samt kvartärgeologiska fältmetoder och grävningar. Eftersom tidigare kvartärgeologiska undersökningar i området inte kunde bekräfta förekomsten av glacialt inducerade förkastningar, samtidigt som det finns en stark indikation på att det kan finnas en hittills upptäckt, glacialt inducerade förkastning i området, anser universitetet att dessa studier är mycket viktiga.

Enligt universitetet är dock frågan vilka typer av kvartärgeologiska fältmetoder som kommer att användas för detta ändamål och om de valda metoderna är tillräckligt bra för att upptäcka glacialt inducerade förkastningar.

### ***SSM:s bedömning***

SSM ser positivt på SKB:s genomförda tomografiska analys och arbetet för att minska osäkerheterna vid beräkningen av nutida skalvs magnitud och lokalisering. Gällande uppförandet av ett lokalt seismiskt nät är SSM angelägna om att ett sådant uppförs i god tid innan en uppförandefas av Kärnbränsleförvaret inleds. SSM är dock medvetna om att innan ett sådant nätverk kan bli aktuellt måste platsvalet fastställas genom ett regeringsbeslut. Under förutsättning att ett sådant gets inför redovisningen av nästa Fud-program önskar SSM delges mer information om SKB:s planer för att etablera ett lokalt seismiskt nät innan byggstart av Kärnbränsleförvaret.

SSM bedömer SKB:s metod att från ett av Sveriges mest seismiskt aktiva områden erhålla data som i en förlängning kan användas för att stärka modellerna förmåga att simulera förkastningarnas stabilitet över tid vara utmärkt. Likaså ser SSM positivt på SKB:s redovisade arbete från den föregående Fud-perioden och det planerade arbetet vilket bl.a. omfattar fältstudier i Uppland och Iggesundstrakten. SSM noterar även att SKB:s studie med Lidar mätningar adresserar en av SSM:s synpunkter som framfördes vid granskningen av SKB:s ansökan om ett slutförvar för använt kärnbränsle.

En synpunkt från SSM granskning av SKB:s ansökan om ett slutförvar för använt kärnbränsle som inte berörs i Fud-programmet 2019 är att tillgängliga batymetriska data från området utanför Forsmark bör uppdateras till dagens tekniska standard för att säkerställa att det inte finns några okända batymetriska lineament på havsbotten (SSM 2018:07, avsnitt 3.1.2). Sådana studier kan ge betydelsefull information för att ta ställning till hypotesen att fem kraftiga postglaciala skalv har skett i Forsmarksområdet efter Weichselisens avsmältning. Ett alternativt tillvägagångssätt vore att studera de postglaciala diskordanta erosionsytor som finns i området. Och i redovisningen för Fud-programmet 2016 redovisades planer på att undersöka dessa erosionsytor och associerade sediment, vilka traditionellt sett tolkats som dränerings avlagringar i samband med avtappning av isdämda sjöar (Lagerbäck och Sundh, 2008). En sådan erosionsdiskontinuitet i den Kvartära lagerföljden, där grövre sediment mellanlagras glaciolakustrin lera, har tolkats som en jordbävning inducerad avlagring (Mörner m fl., 2000) eller som ett resultat av starka bottenströmmar som skar ner i den tidigare avsatta glacialleran (SKB R-05-51). Vilken förklaringsmodell som är rimligast avsåg SKB undersöka under den föregående

Fud-perioden med ett flertal undersökningar av erosionsytan. SKB uppgav även att det kunde bli aktuellt med undersökningar av sjöar belägna över högsta kustlinjen för att utreda om det finns belägg för påståendet att flera sjöar i exempelvis Hudiksvallsområdet uppvisar bevis för paleo-tsunamis (Mörner 2017 och referenser däri). Med anledning av att SKB i Fud-program 2019 inte nämner arbetet med att utreda genesen till ovanangivna erosionsytor, undrar SSM vilka planer SKB har för arbetet att fördjupa förståelsen av svensk paleoseismicitet. SSM såg positivt på dessa i Fud-program 2016 uppgivna planerna och är alltså angelägna om att SKB genomför denna forskning. Frågan hur stor den paleoseismiska aktiviteten i Sverige var, och hur stabil jordskalvsaktiviteten är i tid och rum, är viktig att belysa.

SSM bedömer att SKB:s forskning är fundamental för att skapa förståelse, såväl konceptuell som för olika parametrars betydelse för skjuvrörelser och har inget att invända mot SKB:s program för jordskalvsmodellering. Vidare ser SSM positivt på att SKB planerar att utvärdera konservatismen i sin jordbävningsmodellering vilken kan ge en mer realistisk bild av framtida risker som vägledning för dimensionering av KBS-3 förvaret. Men det kvarstår frågor, vilket SKB även påpekar i sin redovisning. SSM vill i det avseendet även peka på vikten av fortsatt forskning för att öka tillförlitligheten vid uppskattningen av osäkerhetsintervallet vid extrapolering av kopplade processer för mycket långa tidsrymder och vid uppskalningen av småskaliga modelleringsresultat till fjärrområdet. I det avseendet är SSM angelägen att SKB med utgångspunkt från observationsdata, på varierande tid- och rumslig skala, kalibrerar använda numeriska modeller för att bygga förtroende för använda modellers förmåga att ge god vägledning till framtida beslut som rör dimensioneringen av KBS-3 förvaret. SSM är angelägen om att dimensioneringen av en slutförvarsanläggning ger god marginal för den långsiktiga strålsäkerheten. Att undvika viss överdimensionering kan därför vara svårt med tanke på de långa tidrymderna och komplexa naturliga processerna som ska simuleras.

### 10.3.6 Utveckling av beräkningsverktyg för grundvattenflöde och transport av lösta ämnen

#### *SKB:s redovisning*

SKB redovisar att utveckling har skett för att inkludera geokemiska processer i de hydrogeologiska beräkningsverktygen ConnectFlow och DarcyTools och att utvecklingen kommer fortsätta under kommande Fud-period med syfte att hålla modellerna uppdaterade vad gäller nya forskningsframsteg.

DarcyTools har dessutom utvecklats för att kunna beräkna samtliga kvantitativa storheter som används vid analysen av säkerhet efter förslutning. Programvaran ska nu användas för att replikera vissa av de hydrogeologiska analyser som tidigare utförts med ConnectFlow. Kommande utveckling rör konditionering av DFN kopplat till uppskalning till kontinuum.

Modellverktyget MikeShe har utvecklats genom att förfina beskrivningen av grundvattenflöde från berg till biosfärsobjekt genom att detaljerat analysera flödesvägar och flödestiden inom och mellan jordlager. Även beräkning av den potentiella evapotranspirationen har utvecklats under Fud-perioden. Uppdatering pågår också av

modelleringsmetodik för platsbeskrivande modellering rörande interaktion mellan hydrologi och hydrogeologi.

SKB konstaterar att gränsytan mellan betong och berg, samt mellan bentonit och berg, är avgörande för vattenflödet genom SFL och att detaljerade modeller för att beräkna vattenflöde och transport av lösta ämnen från SFL till omgivande berg kommer utvecklas. Vad gäller integration mellan ytligt och djupt grundvatten redovisar SKB att detta är i fokus under arbetet med en uppdaterad modelleringsmetodik för platsbeskrivande modellering.

SKB har påbörjat ett doktorandprojekt för att undersöka hur igensättning av sprickor påverkar hydraulisk konduktivitet och transportegenskaper i spricknätverk. I en motsvarande studie ska även bentoniterosions påverkan på dessa egenskaper studeras.

SKB redogör för det utvecklingsarbete som pågår kring en kopplad hydrologisk och biokemisk modell med fokus på kol. SKB uppger att det är en stor fördel att kunna hantera dessa processer i samma modellverktyg.

Inför kommande säkerhetsanalyser redovisar SKB att multidisciplinära undersökningar inom detaljundersökningsprogrammet ska genomföras som underlag för kopplad modellering av ythydrologi och kemi.

### ***Remissinstansernas synpunkter***

Vad gäller grundvattenflöde, grundvattenkemi och transport av lösta ämnen (kapitel 12.3) konstaterar *Stockholms universitet* att stort fokus läggs på utveckling av beräkningsverktyg (kapitel 12.3.1). Minst lika viktigt borde, enligt universitetet, dock vara vilken metodik eller strategi som ska användas för att testa modellernas prediktiva förmåga mot fältobservationer vid platsen för ett tänkt slutförvar (Forsmark). Universitetet anser att utan en sådan strategi förblir det oklart hur beräkningsverktygen kommer att kunna användas – och hur de passar – för att lösa viktiga, platsspecifika frågeställningar. Detta är enligt universitetet ett omfattande arbete som borde ingå i Fud-programmet.

Universitetet anser att Fud-programmet därför även behöver innehålla en redogörelse för metodiken eller strategin som ska användas för att testa modellernas prediktiva förmåga mot fältobservationer vid platsen för tänkt slutförvar.

Universitetet anser att det i beskrivning av nuläge på vissa ställen är oklart i vilken grad ”State-of-the-art” vetenskapliga publikationer har beaktats (kapitel 12.3.3. Transportegenskaper och processer som påverkar ämnestransport i berget). Universitetet menar att detta kan ha implikationer för planerad forskning.

Universitetet noterar att i kapitel 12.2.3 finns exempelvis referenser till SKB-rapporter, konferensbidrag etcetera vilket tillhör ”grå-litteraturen”. Enligt universitetet finns det i vissa fall vetenskapliga publikationer inom området som inte nämnts. Universitetet konstaterar att det då blir oklart vad man utgår ifrån.

Enligt universitetet kan denna problematik även gälla kapitel 12.3.2 och andra delar av rapporten. Exempelvis nämns i 12.3.3 Dessirier et al., (2017a) – en SKB-rapport – i beskrivningen av nuläget trots att resultatet publicerats i internationella vetenskapliga tidskrifter (Dessirier et al., 2017b; 2016; 2015).

*Kungliga Vetenskapsakademien (KVA)* anser att avsnitt 12.3.2 Processer som påverkar den hydrokemiska miljön beskriver viktig forskning med trovärdiga resultat. KVA konstaterar att en god förståelse och beskrivning av grundvattnets kemi och rörelser givetvis är ett krav och nödvändig förutsättning för beräkning av radionuklidens spridning i geosfären och för säkerhetsanalysen. KVA bedömer att SKB befinner sig nära forskningsfronten inom dessa områden. KVA anser vidare att viktiga aspekter vad beträffar hydrokemin bland annat är förekomsten av kolloider, förekomsten av organiska ämnen och förekomsten av och förutsättningarna för mikroorganismer.

### ***SSM:s bedömning***

SSM ser positivt på SKB:s inställning att löpande underhålla och utveckla beräkningsverktygen för att tillgodose sig nya forskningsframsteg. SSM vill dock, liksom i granskningen av Fud-program 2016, uppmanar SKB att bedöma nyttan med ökad komplexitet i modellerna i förhållande till de konceptuella osäkerheter som föreligger när det gäller vattenflöde genom sprickigt berg. SSM har tidigare (SSM 2018:07) påpekat att SKB behöver överväga att parallellt använda sig av förenklade modeller för att studera osäkerheter hos såväl koncept som parametrar. SSM anser också att alternativa hydrogeologiska modeller, exempelvis alternativa geometriska spricknätverksbeskrivningar, skulle kunna användas för att belysa kvarvarande osäkerheter. Planerna att med DarcyTools delvis upprepa hydrogeologiska analyser som tidigare genomförts med ConnectFlow ser SSM därför positivt på.

SSM konstaterar att planerna på de detaljerade modelleringsinsatserna för SFL beskrivs väldigt kortfattat. Det framgår inte om befintliga modelleringsverktyg kommer användas, eller om ”utvecklas” i detta fall avser utveckling av modellverktygen.

Att frågan om igensättning av sprickor belyses ser SSM som positivt då det också kan kopplas till de frågor om inflödesobservationer SSM tagit upp i tidigare granskningar.

## 10.3.7 Hydrokemiska processer

### ***SKB:s redovisning***

SKB:s fortsatta forskning som avser hydrokemiska processer i berggrunden har bäring på processer i säkerhetsanalysen som påverkar de tekniska barriärernas beständighet, så som nedträngning av syre på förvarsdjup, transport och bildning av sulfider i slutförvarsmiljö, samt vittringsreaktioner som påverkar grundvattnets salthalt. Insatserna som nyligen avrapporterats avser bl.a. betydelsen av en heterogen fördelning med avseende på fysikaliska egenskaper och fördelningen av järn(II)-mineral så som biotit och klorit. Även om modellering i SR-Site har visats vara konservativ innebär heterogena förhållanden att syreinträngningen ökar i förhållande till det homogena fallet. Större insatser har också genomförts för att undersöka förekomst och möjliga koncentrationer av sulfidjoner på förvarsdjup, dels som samarbetsprojekt med Posiva, dels som en del av EU-projektet MIND. Mikrobiell sulfatreduktion har visats förutsätta tillgång till nitratjoner samt något högre pH-värden. Tröskelsdensiteter för bentonitlera över vilken mikrobiell sulfatreduktion inte sker har visats överensstämma i grova drag med resultat från tidigare studier, även om en inverkan av lerans mineralogiska sammansättning numera har visats förekomma.

SKB avser att under kommande programperiod fördjupa forskningen kring mikrobiell sulfatreduktion genom en utökad karaktärisering av lösta organiska ämnen i grundvatten som potentiellt kan utgöra en energikälla för sulfatreducerande bakterier. SKB avser även att studera vittringsreaktioner i ytlagren vid Forsmark för att kunna kvantifiera tillförsel av lösta ämnen av betydelse för buffererosionsrisk särskilt under långa tempererade perioder.

### ***SSM:s bedömning***

SSM anser att SKB:s program inom hydrokemiområdet har inriktats mot från säkerhets-synpunkt betydelsefulla frågeställningar där information och förståelse tidigare har varit något begränsad och förenklad. Den begränsade förståelsen för bl.a. förekomst av mikrobiell sulfatreduktion i närberg, omättad buffert och återfyllning har bl.a. inneburit vissa svårigheter att gränssätta en rimlig övre gräns för hur hög sulfidbelastning en kopparkapsel kan komma att utsättas för under de inledande tusentals åren i slutförvaret. En fördjupad analys av huruvida mikrobiell sulfatreduktion för något möjligt ogynnsamt tillstånd i återfyllnaden bedöms vara en fortsatt viktig fråga. De planerade insatserna bedöms vara välmotiverade.

Beträffande grundvattnets långsiktiga utveckling av salthalt på förvarsdjup, bör nämnas att SKB:s modellering i samband med säkerhetsanalysen SR-Site på detaljnivå i huvudsak adresserade hydrogeologiska faktorer, och att realism och osäkerheter för konceptuella antaganden var svår att bedöma med den information som då fanns tillgänglig. Det inbördes förhållandet mellan separata modelleringsinsatser med olika fokus var också något oklar. SSM ser därför mycket positivt på nya planerade insatser för att karaktärisera kemiska reaktioner som påverkar tillgång på lösta ämnen i djupa grundvatten under långa perioder med tempererade förhållanden. SSM finner det angeläget att SKB tar fram en systematisk och pedagogisk redovisning över vilken empirisk kunskap och vilka modelleringsinsatser som ger information av betydelse för att värdera grundvattnets salthaltsutveckling på förvarsdjup. Denna fråga har bl.a. en särskild betydelse för framtida uppdaterade analyser av buffererosionsrisk på mycket lång sikt.

## 10.3.8 Transport- och retardationsprocesser

### ***SKB:s redovisning***

Transport- och retardationsprocesser i berget har betydelse för tillförseln av lösta ämnen i grundvatten som kan påverka de tekniska barriärerna, samt för borttransport och spridning av radioaktiva ämnen när inneslutningsfunktionen i ett slutförvar inte längre är verksam. SKB har i huvudsak inriktat sin forskning på retardationsmekanismerna sorption och matrisdiffusion, både via experiment och via matematisk modellering. Målet är att med bättre precision kunna representera en detaljerad förståelse för processer i kommande säkerhetsanalyser. I fältexperiment i vilka bergprover har exponerats för olika radioaktiva ämnen har migrationsavstånd uppmätts. Arbetet har även omfattat jämförelser med motsvarande modelleringsresultat. Matematisk modellering av radionuklidmigration har också fokuserats kring analys av konceptuella antaganden kring retardation och transportförhållanden i sprickor i berget.

I den kommande Fud-perioden kommer arbetet inriktas mot laboratoriemätningar på platsspecifikt material under väldefinierade förhållanden. Det är av vikt att kunna överbrygga skillnaden mellan laboratorieförhållanden och fältskalan genom att förstå hur faktorer som grundvattenkemi, partikelstorleksfördelning, sammansättning och reaktiva mineraler påverkar resultaten.

Ny experimentell forskning kring retardation av radionuklider avser dels nuklider för vilka data helt saknas eller för de som har särskilt stor betydelse för något av SKB:s slutförvar. Ett särskilt fokus på specifika material så som kalcit, korrosionsprodukter och cement omnämns också i programmet.

Beträffande utveckling av grundvattnets salthalt på förvarsplatsen kommer vissa insatser för att förstå matrisdiffusionens betydelse i detta sammanhang också att genomföras.

### ***SSM:s bedömning***

SSM ser positivt på SKB:s planerade insatser med avseende på sorption och anser att de är välmotiverade bl.a. mot bakgrund av tidigare frågeställningar från SSM:s granskning av säkerhetsanalyserna SR-Site och SR-PSU. Det är angeläget att sorptionsdatabaser för olika typer av material hålls uppdaterade och utvecklas med avseende på fullständighet och tillförlitlighet. Förutom fortsatt bevakning av den vetenskapliga litteraturen och andra kärnavfallsprogram bör viss egen experimentell verksamhet upprätthållas även långsiktigt, exempelvis innefattande sorptionsexperiment med förbättrad kontroll av kemiska betingelser som pH, redox och PCO<sub>2</sub>. Detta behövs bl.a. från kompetensförsörjnings-synpunkt, men även för att SKB:s väntade och möjligen oväntade särskilda behov ska kunna tillgodoses på ett effektivt sätt. Inriktningen på cement, kalcit och korrosionsprodukter bedöms vara lämplig. Vid mätningar på platsspecifikt material från Forsmark bör hanteringen av de tidigare problematiska mätningarna av sorption för redoxkänsliga nuklider uppmärksammas. SSM konstaterar som tidigare att krossning av material har en stor och svåröversäglig påverkan på sorption, och att metoder för att korrigera för denna stora påverkan på bergets egenskaper behöver utvecklas för att få fram mer representativa K<sub>d</sub>-värden för säkerhetsanalysens behov. Vid motivering av sannolikhetsfördelningar för K<sub>d</sub>-värden behöver uppmärksamhet riktas mot att inte bara beskriva motiven för de mest sannolika värdena utan även mot fördelningarnas spridningsmått och form, samt eventuella övre och undre gränser. Användningen av termodynamiska sorptionsmodeller har hittills haft en begränsad tillämpning för att motivera val av K<sub>d</sub>-värden inom SKB:s program. SSM anser dock att SKB bör bevaka kunskapsutvecklingen inom området.

Beträffande SKB:s planerade insatser inom diffusionsområdet är SKB:s planer kring genomförande, tolkning och modellering av fältexperiment något oklara. De väl specificerade delarna av SKB:s program avser redan påbörjade experiment (LTDE-SD, TDE), men planerna för ytterligare experiment för att studera exempelvis betydelsen av kalcit och organiska komplexbildande ämnen har för närvarande bara omnämnts men inte specificerats. SSM anser därför att SKB bör ta fram mera konkreta planer för verifierande fältexperiment i kommande Fud-program. Känslighetsstudier kring särskilda frågor som rör konceptuella antaganden kring diffusion i största möjliga utsträckning inriktas mot beräkningsfall som kan kontrolleras genom jämförelser med genomförda fältexperiment. Ett visst utvecklingsarbete har genomförts för att utveckla koder som tillämpas inom säkerhetsanalysen (MARFA). SSM anser att SKB bör överväga att vidareutveckla den starkt förenklade men sannolikt konservativa modellen från SR-Site som enbart består av

sprickor och opåverkat berg, exempelvis genom att beakta omvandlat berg i direkt anslutning till sprickplan. Detta för att förbättra precisionen i dosberäkningar och för att kunna beakta platsspecifika data på ett mera systematiskt sätt. De planerade insatserna för att bättre förstå och tolka matrisdiffusionens inverkan på salthaltsutveckling bedöms av SSM att vara välmotiverade, mot bakgrund av behoven att kunna förutsäga omfattning och tidsförlopp för eventuell buffererosion.

### 10.3.9 Klimatets inverkan på processer i geosfären

#### ***SKB:s redovisning***

SKB redovisar hur Greenland Analouge Surface Project (Grasp) har ökat den konceptuella- och processförståelsen rörande permafrosthydrologi. Under den föregående Fudperioden har effekten av tjäle, som hittills inte ingått i de hydrologiska modellerna, undersökts i ett doktorandprojekt. Modellstudien visar att våtmarker och torvrika marker påverkar tjälbildningen, vilket är av intresse för Forsmarksområdet som har relativt stor andel av våtmarker. Det etablerade övervakningsprogrammet på Grönland kommer att fortsätta under åtminstone två år. Forskningsprogrammet innefattar planerade in situ-försök i kombination med modellering med syftet att öka kunskapen kring effekten av vattnets temperatur på vattenströmning och permafrostdynamik.

SKB planerar även ett nytt projekt i samarbete med andra kärnavfallsorganisationer och representanter från den akademiska världen under den kommande Fud-perioden. Projektet ska studera kopplingen mellan glaciala och periglaciala system, hydrologiska processer i diskontinuerlig permafrost samt biogeokemiska processer i periglaciala miljöer.

SKB planerar att etablera platsspecifika tredimensionella THM-modeller i olika skalor samt utreda modellernas osäkerhetsspann.

Slutligen beskriver SKB att analys av geokemisk utveckling under en glaciationscykel kommer att ske och att kunskapen ska tillämpas på platsspecifik och strålsäkerhetsrelaterad modellering av Forsmark.

#### ***SSM:s bedömning***

SSM ser positivt på att mätningen av de hydrologiska och meteorologiska tidsserierna fortsätter. Resultatet av studien rörande tjäle är intressant då det, som SKB konstaterar, utgör underlag för utveckling av den hydrologiska platsmodellen i Forsmark.

Att utvärdera hur osäkerheterna fortplantas i olika beräkningssteg vid modelleringen av bergets utveckling, dess påverkan flödes- och transportegenskaper och vid den slutliga bedömningen av risk är ett angeläget om än ett långsiktigt mål vilket kan öka tilliten till THM modelleringen samt även identifiera framtida forskningsbehov. SSM ser således positivt på SKB:s uppgivna planer att utreda modellernas osäkerhetsspann.

### 10.3.10 Detaljundersökningar

#### ***SKB:s redovisning***

SKB redovisar det nuvarande kunskapsläget och planerade insatser under den kommande Fud-perioden inom flera områden relaterat till detaljundersökningar. Dessa områden är:

- Metodik för detaljundersökningar
- Modelleringsmetodik inom detaljundersökningar
- Kritiska strukturer och volymer
- Jordströmmar i Forsmarksområdet

Sen redovisningen av Fud-programmet 2016 har SKB uppdaterat detaljundersökningsprogrammet, vilket redovisas i SKB R-16-10. Under den föregående Fud-perioden har SKB:s arbete med KBS-3 förvarets referensutformning fortsatt, liksom arbetet med uppdatering av konstruktionsförutsättningar avseende säkerhet efter förslutning. SKB har tillsammans med Posiva samarbetat för att lägga grunden till en harmonisering av konstruktionsförutsättningar för respektive slutförvar för använt kärnbränsle (Posiva SKB Report 01). Fokuset för detaljundersökningsprogrammet är alltså på uppförandet av KBS-3 förvaret och vidareutveckling av metoder, verktyg och operativa program för detaljundersökningar med tillhörande modellering. Inför PSAR kommer mer detaljerade beskrivningar av detaljundersökningsprogrammet att redovisas. Den vidareutveckling av programmet som sker inför byggstart av KBS-3 förvaret kommer även till användning vid uppförandet av SFL och utbyggnaden av SFR.

SKB:s redovisning av modelleringsmetodik inom detaljundersökningar är identisk med SKB:s redovisning av området i Fud-program 2016. Detta gäller även beskrivningen av nuläget och det framtida arbetet, vilka redogör att det pågår ett arbete att uppdatera ämnesspecifika metodikrapporter vilket innefattar prövning av valda metoder genom försök i Äspö och Posivas erfarenheter från arbetet med det planerade slutförvaret i Onkalo.

SKB:s arbete med att identifiera kritiska strukturer och volymer har i viss mån ändrats sen Fud-program 2016. Tidigare har SKB strävat efter att med geofysiska undersökningsmetoder verifiera längden på tunnelskärande sprickor för att därigenom avgöra om de är s.k. kritiska sprickor, vilka kan hysa skjuvrörelser som överstiger konstruktionskriteriet för kopparkapseln. SKB:s arbete med jordskalvmodellering pekar mot att den kritiska radien är större än vad som tidigare antagits och nu bedömer SKB att dimensionen på den kritiska radien i slutförvarsvolymen motsvarar en mindre deformationszon och inte en individuell spricka. Spröda strukturer av denna storlek bedöms av SKB kunna identifieras med traditionella karterings- och undersökningsmetoder. SKB bedömer därför att inga fortsatta forskningsinsatser för framtagande av nya eller förbättrade indirekta mätmetoder av sprickstorlekar är nödvändiga. Fortsättningsvis kommer SKB:s jordskalvmodellering öka förståelsen av kritiska strukturer. Likaså kommer arbetet med kritiska strukturer rörande grundvattenflöde och retention att utvecklas genom det fortsatta metodikarbetet för DFN-baserad modellering av grundvattenflödet. Jordskalvmodellering och DFN modelleringen redovisas mer i detalj i avsnittet seismisk påverkan på förvarens säkerhet respektive karaktärisering och modellering av bergets egenskaper.

SKB redovisar det arbete som gjorts gällande jordströmmar i Forsmarksområdet och vilken strålsäkerhetsmässig betydelse efter förslutningen jordströmsinducerade korrosion har för befintlig och planerade slutförvar i Forsmark. De problem som observerats på grund av jordströmsinducerade korrosion är på mätinstrument i borrhål. Denna korrosion har tilltagit i omfattning sedan Fenno-Skan 2 togs i drift, vilket föranlett SKB att utarbeta metoder för att minska jordströmsinducerade korrosionsangrepp på borrhålsinstrument. Under den kommande Fud-perioden avser SKB utarbeta metoder för att minska den jordströmsinducerade korrosionen ytterligare. Det arbetet inkluderar även en kartläggning av källorna till jordströmmarna i området samt eventuell påverkan på slutförvaren efter förslutning.

### ***Remissinstansernas synpunkter***

*Statens geotekniska institut (SGI)* konstaterar att det framkommer i nulägesrapport att en del arbete med utveckling av metodik och instrument har gjorts, men att detta arbete inte verkar vara klart. SGI anser att dessa bör vara en integrerad del av det operativa detaljundersökningsprogrammet för tillfarter och centralområde, vilket inkluderar metodik för modellering, vilket ska tas fram inför PSAR och detaljprojektering av Kärnbränsleförvaret. SGI noterar att detta enligt kapitel 3.4 sker redan under 2020, vilket enligt SGI innebär att tidsramarna för detta arbete är ganska snäva särskilt med tanke på att metoderna och verktygen behöver testas och tillämpas för att säkerställa vilka osäkerheter som är knutna till respektive metodik. Dessutom anser SGI att integrering av olika datasystem och verktyg behöver utvecklas och testas, samt data och informationsflöden kvalitetssäkras. Allt detta bör enligt SGI också ske innan teknisk dokumentation för entreprenaden tas fram, eftersom det kan påverka arbetsprocesser under uppförandet av anläggningen.

SGI noterar att SKB skriver att "Strategier och metodik för kontroll av krav på säkerhet efter förslutning såsom kontroll av skadezon, förekomst och kvantifiering av spjälkning,.. kommer att utarbetas och provas". SGI anser att strategin för kontroll av sprängskadezon bör etableras nu eftersom detta krav måste tillfredsställas under uppförandet av rampen.

SGI noterar att SKB skriver att "Projektering och byggproduktion har behov av kontinuerliga prognoser" samt "Metodiken tar fasta på en tidig och nära samtolkning och integration av geologisk och hydrogeologisk information för identifiering och kategorisering av kritiska strukturer (avsnitt 12.4.3), och av det hydrauliskt konnekterade spricknätverket". SGI tolkar detta som att betydande insatser planeras behövas även under produktion med avseende på bland annat spricknätverksmodelleringen och identifiering av kritiska strukturer. SGI anser att dessa är viktiga för analysen av säkerhet efter förslutning men har inte samma betydelse som underlag för produktionen. Vid produktion av ramp bygger prognosen och dimensioneringen av bergförstärkning och injektering enligt SGI på nuvarande kunskap, med fortlöpande bidrag från ny kunskap vid eventuella planerade undersökningar i stoff. Med stöd av observationsmetoden används dessa resultat enligt SGI för att kontrollera att förutspådda beteenden håller sig innanför uppsatta kravgränser. SGI noterar att SKB skriver att "fortsatt utveckling av ämnesvis och integrerad modelleringsmetodik planeras ske under Fud-perioden". SGI tycker att tidsramarna för utveckling och tester av integrerad modelleringsmetodik är väldigt snäva då dessa bör fastställas innan start av uppförandet.

Enligt SGI pekar nya resultat mot att de kritiska radierna för den minsta spricka som kan utgöra ett hot mot säkerhet efter förslutning är väsentligt mycket större än vad som tidigare redovisats, och överstiger i samtliga delar av Kärnbränsleförvaret cirka 200 meter, vilket kvalificerar dem som mindre deformationszoner. SGI noterar att SKB därför skriver att identifieringen av dessa kritiska strukturer kan göras med hjälp av traditionella karterings- och undersökningsmetoder. SGI anser dock att det fortfarande behövs utveckling och arbete med karaktärisering av dessa strukturer i borrhål och närliggande berget bakom borrhållsväggar. SGI noterar vidare att SKB hänvisar till tidigare publicerade rapporter (Cosgrove et al. 2006, SKB publikation) då bedömningen är att traditionella karteringsmetoder bedöms tillfredställande för säker identifikation av kritiska strukturer av storlek motsvarande mindre deformationszoner. Kartering av kritiska strukturer för lokalisering av deponeringshål kommer att kunna utnyttja information från tunnelväggar, vilket ger större möjligheter att identifiera mindre deformationszoner. SGI anser dock att kompletterande studier kring geologiska processer bakom uppkomsten av mindre deformationszoner samt förståelsen av deras utbredning och variation är nödvändig för att kunna uppnå en säker identifikation. SGI noterar att i Cosgrove et al. (2006) illustreras till exempel en mindre deformationszon som på bara några få meter övergår till ett enskilt sprickplan. Enligt SGI:s erfarenhet är detta en vanlig situation som illustrerar svårigheten som kan finnas i att identifiera en deformationszon i ett enda penetrerande borrhål. SGI anser att generellt är också interpoleringen mellan närliggande observationspunkter väldigt svår, särskild gällande spröda strukturer, och därför behäftad med stora osäkerheter. SGI anser vidare att det kräver en stor lokal, konceptuell genetisk förståelse rörande spröda strukturers uppkomst för att extrapolera och interpolera dess utbredning och terminering. SGI anser att en strategi för att karaktärisera möjliga typer av mindre deformationszoner (sprickdensitet, mineralfyllning, geometrisk variabilitet, mekaniska egenskaper, terminering mm) bör tas fram, baserad på den geologiska processförståelsen. SGI anser vidare att en strategi för att hantera och säkerhetsbedöma strukturer, även icke kritiska, som inte kan identifieras för att de ligger utanför observationslägen (ogynnsamt läge mot tunnelvägg eller precis utanför deponeringshål) också behöver tas fram.

### ***SSM:s bedömning***

SKB:s redovisade planer för metodik för detaljundersökningar fram till nästa program är ändamålsenligt och SSM har inget att tillägga till SKB:s redovisning.

Då de uppdaterade ämnesspecifika metodikrapporterna inte är färdigställda anser SSM att SKB bör ge mer utrymme i redovisningen av dessa i Fud-programmet vilket skapar en bättre inblick i SKB:s fortsatta arbete. Det gäller exempelvis vilka rapporterna är, när de avses vara färdigställda och om det i nuläget finns mer specifika detaljer att redogöra för gällande vilka skillnader de uppdaterade metodikrapporterna förväntas innehålla mot de som togs fram inför platsundersökningarna i Forsmark och Oskarshamn. SSM är medveten om att redovisningen är beroende av hur långt gånget arbetet att färdigställa metodikrapporterna är, men då kan SKB:s redogöra för det planerade arbetet vilket bör innefatta vilka rapporterna är och när de kan förväntas vara klara. De synpunkter som SSM förde fram vid granskningen av Fud-program 2016 ligger således i huvudsak kvar.

Att med indirekt mätmetoder så som radar och seismik, identifiera naturliga sprickors utbredning är förenat med vissa osäkerheter (SSM 2014:07). SSM delar därför SKB syn att traditionella karteringsmetoder är tillämpligast vid identifieringen av tunnelskärande strukturer som grund för valet av deponeringshål. SSM noterar att SKB bedömer att

kritiska strukturer i förvarsvolymen överstiger 200 m, vilket är en ökning mot bedömningen i SR-Site (SKB, 2011). Denna bedömning baserar SKB på simulering av den seismiska påverkan på spröda strukturer, vilket diskuteras under avsnitt 10.3.5 seismisk påverkan på säkerhet efter förslutning.

Avseende betydelsen av jordströmkorrosion på konstruktioner i det befintliga SFR-slutförvaret har SKB inkommit med redovisningar som svar på ett av myndigheten utfärdat föreläggande (SSM2012-2658-6). Detta underlag granskas inom ramen för myndighetens ordinarie tillsyn av det befintliga SFR. Det kan dock tilläggas att SSM bedömer att betydelsen av jordströmmar för de tillkommande förvarsdelarna i den planerade utbyggnaden av SFR ur ett långsiktigt strålsäkerhetsperspektiv är liten vilket bygger på att betongbarriären i tillkommande delar avses uppföras oarmerad (SSM 2019:18, del III, avsnitt 5.3). Gällande SKB:s redovisade planer i Fud-program 2019 för att ytterligare analysera betydelsen av jordströmmar i Forsmarksområdet anser SSM det vara motiverat att belysa frågan även inom ramen för Fud-programmet.

### 10.3.11 Tunnelproduktion

#### ***SKB:s redovisning***

Teknikutvecklingen gällande tunnelproduktion fokuserar på att identifiera material och beprövad teknik som säkerställer att uppställda krav kan infrias vid byggnationen av Kärnbränsleförvaret. Under föregående Fud-period har SKB uppdaterat metodbeskrivningarna för injektering med låg-pH-material, (SKB R-18-01). Det kommande programmet för injektering avser ta fram injekterings-specifika tekniska riktlinjer för det planerade Kärnbränsleförvaret.

För tunneldrivning av deponeringstunnlar avser SKB fortsätta arbetet med att ta fram en mekanisk metod som alternativ till sprängning. Under förutsättning att den alternativa metoden är bättre än sprängning, med avseende på exempelvis tunnelsulans planhet och påverkan på omgivande berg, avser SKB genomföra ett teknikbyte för tunneldrivning av deponeringstunnlar.

För borrning av deponeringshål har SKB följt det arbete Posiva genomfört i Onkalo. Under kommande Fud-period planerar SKB tillverka en bormaskin för borrning av deponeringshål, vilken ska utvärderas genom testborrning i exempelvis Äspö.

#### ***Remissinstansernas synpunkter***

*Statens geotekniska institut (SGI)* tolkar det som att de typmiljöerna som beskrivs i Janson et al. (SKB publikation 2019) är i första hand utvecklade för dimensionering av injektering på förvarsdjup. SGI tycker att beskrivningen av dessa typmiljöer är behäftad med stor osäkerhet med tanke på att endast få undersökningar har genomförts i förvarområdet på förvarsdjup. SGI anser att vidareutveckling av typmiljöerna är nödvändig för att på ett bra sätt återspegla förväntad geologi i stam-, transport- och deponeringstunnlar. SGI anser också att metodik för att identifiera dessa strukturer i borrhål, förbi stoffen, bör utvecklas. SGI anser att det likaså bör finnas metodik för eventuell uppdatering och förfining av karaktäriseringsparametrar, allteftersom kunskapen om bergmassan växer fram under produktionen. SGI noterar att SKB skriver att utredning av metoder för mekanisk brytning av deponeringstunnlar kommer att fortgå under Fud-

perioden. SGI anser dock att dessa utredningar måste ta hänsyn till platsspecifika egenskaper och problem knutna till "Forsmarksberget", vilket skiljer sig från berget i Onkalo och Äspö, bland annat i sin uppmätt höga hållfasthet. SGI anser att in-situ spänningarna som råder vid förvarsdjup och deras osäkerheter också måste beaktas. SGI anser vidare att detta också gäller för borrning av deponeringshål som planeras att testas på Äspö. Enligt SGI har tidigare experiment med skonsam sprängning visat att golvet behöver efterbehandlas om konventionell bergguttagsmetod ska tillämpas, till exempel med hjälp av vadersågning eller likande metod. SGI tycker att mer forskning bör göras kring metoder för att plana ut golven i deponeringstunnlar i händelse att dagens referensmetod, skonsam sprängning, skulle behållas.

### ***SSM:s bedömning***

SSM noterar att SKB har genomfört studier att analysera injektering med låg pH cement i enlighet med de redovisade planerna i Fud-program 2016. Detta arbete adresserar även SSM:s synpunkter från granskningen av SKB:s redovisning av Fud-program 2016. Vidare ser SSM positivt på SKB:s planer att ta fram en bormaskin för borrning av deponeringshål samt utvärdera en alternativ metod för bergguttaget för deponeringstunnlarna. SSM är angelägen att SKB utvärderar olika befintliga metoder alternativt utveckla metoder med syftet att minimera påverkan på tunnelväggarna och sulan. Detta är ett led i att finna bästa möjliga teknik för uppförandet av deponeringstunnlarna och deponeringshålen. SSM ser därför positivt på SKB uppgivna program för den kommande Fud-perioden. I Fud-program 2016 framgick det att SKB planerade att genomföra integrationstester för tunneldrivning under tidsperioden 2018-2020. Med anledning av detta undrar SSM om dessa planer ligger fast eller om de har förskjutits framåt i tiden.

### **10.3.12 SSM:s samlade bedömning avseende berg**

SSM bedömer att SKB redovisade program för process förståelse av kopplade-termiska-hydrologiska-mekaniska (THM) påverkan på bergmassans egenskaper är ambitiöst och ändamålsenligt. En förbättrad processförståelse ger förutsättningar till en mer realistisk riskbedömning som grund för optimering av anläggningen. SSM är därför angelägen om att SKB genomför det planerade arbetet med avseende på transmissivitetsförändringar i bergmassan på grund av spänningsförändringar som orsakas av olika laster. SKB beskriver i Fud-program 2019 arbete med simulering av intern sprickheterogenitet samt kanalbildningseffekter i spricknätverket inom DFN-modelleringen. SSM bedömer att det inte fullt ut inkluderar en alternativ konceptualisering av flödeskanalisering, vilket hade varit önskvärt.

För SKB:s redovisning av seismisk påverkan på säkerhet efter förslutning vill SSM lyfta fram behovet att öka kunskapen om den paleoseismiska aktiviteten i samband med avsmältningen av den senaste istiden. SSM bedömer att frågan hur stor den paleoseismiska aktiviteten i Sverige var, och hur stabil jordskalvsaktiviteten är i tid och rum, är viktig att belysa. SKB uppger inga sådana planer i Fud-program 2019. Med anledning av detta undrar SSM vilka planer SKB har för att fördjupa förståelsen av den paleoseismiska aktiviteten.

SSM uppmuntrar SKB att bedöma nyttan av ökad modellkomplexitet vid beräkningen av grundvattenflöde i förhållande till de konceptuella osäkerheter som föreligger när det

gäller vattenflöde genom sprickigt berg. SSM har tidigare (SSM 2018:07) påpekat att SKB behöver överväga att parallellt använda sig av förenklade modeller för att studera osäkerheter hos såväl koncept som parametrar. SSM anser också att alternativa hydro-geologiska modeller, exempelvis alternativa geometriska spricknätverksbeskrivningar, skulle kunna användas för att belysa kvarvarande osäkerheter.

SKB:s redovisade planer för metodik för detaljundersökningar fram till nästa program är ändamålsenligt och SSM har inget att tillägga till SKB:s redovisning. Önskvärt dock vore mer transparens vid framtagandet av de uppdaterade ämnesspecifika metodikrapporterna. Att tillämpa FPI kriteriet vid urvalet av deponerings positioner är konservativt, men i nuläget svårligen ersätt att med indirekta metoder avgöra en tunnelskärnade sprickas längd. SSM delar därför SKB avsikt att med traditionella metoder som grund bedöma deponeringshålens lämplighet. SSM noterar vidare att SKB ändrat den kritiska radien i försvarsvolymen till 200. SSM gör i denna granskning ingen bedömning av den ändringen av kritisk radie.

SSM ser positivt på SKB uppgivna program för tunnelproduktion den kommande Fud-perioden. I Fud-program 2016 framgick det att SKB planerade att genomföra integrationstester för tunneldrivning under tidsperioden 2018-2020. Med anledning av detta undrar SSM om dessa planer ligger fast eller om de har förskjutits framåt i tiden.

## 10.4 Ytekosystem

SSM lämnar i detta kapitel samlade synpunkter på redovisningen avseende ytekosystem i Fud-program 2019. Bedömningarna avser SKB:s redovisningar i avsnitt 13 Ytekosystem, avsnitt 4.8 Ytekosystem samt delar av avsnitt 5.4 Arbetsverktyg och avsnitt 5.5 Resurser och kompetens.

### 10.4.1 Upptagsvägar och upptagsmekanismer för radionuklider hos olika organismer

#### *SKB:s redovisning*

SKB redogör för att de kommer att fortsätta arbetet med att ersätta eller komplettera koncentrationsfaktorer för organismer med mekanistiska modeller. Vidare redogör de för planer att validera existerande modeller med fälldata (t.ex. näringsämnen och andra stabila ämnen). SKB förklarar att de under den kommande femårsperioden planerar att göra nya och koordinerade provtagningar av växt- och jordprover inom det operativa detaljundersökningsprogrammet (avsnitt 12.4) i enlighet med rekommendationerna i TR-15-01, där kompletterande provtagningar i olika biotoper rekommenderas för ett fortsatt övervakningsprogram i Forsmark. SKB anger att ett syfte med provtagningarna är att fylla luckor som finns vad gäller vissa ämnen (avsnitt 13.5) och att analyserna planeras ske med mildare lakningsprocesser än tidigare för att bättre representera vad som är växttillgängligt. SKB menar också att arbetet med provtagningar och analyser ger underlag för utvecklingen av mekanistiska modeller för ämnen som tas upp passivt (t.ex. med vatten) eller aktivt (t.ex. närsaltsliknande ämnen). SKB planerar även att göra en jämförelse mellan resultat från de CR-baserade metoder som SKB använt hittills med resultat från allometrisk metoder (t.ex. Beresford m.fl. 2016).

SKB framhåller att de kommer att utveckla en modell för rinnande vatten som en fortsättning på arbetet med sjöecosystemmodellen. SKB menar att trots att rinnande vatten på många sätt liknar sjöecosystem så kan skillnader när det gäller hydrologi, förutsättningar för kemisk utfällning av olika ämnen (avsnitt 13.5) och biologiska upptagsmekanismer ge andra förutsättningar för ackumulation av radionuklider och dos. SKB kommer också parallellt att fortsätta arbeta med utveckling av den terrestra ekosystemmodellen med fokus på växternas rotupptag och på kopplingar mellan radionuklidupptag och vatten-transport respektive primärproduktion.

SKB redovisar att pågående studier av egenskaper hos klor i terrestra och akvatiska miljöer (våtmarker, sjöar och rinnande vatten) kommer att fortsätta och att syftet är att utveckla modeller för transport och ackumulation av klor-36. SKB planerar nya mätningar av organiskt bundet klor (avsnitt 13.5) som sedan ska länkas till flödet av klor genom systemet samt till biologisk produktion, för att därigenom kunna modellera klorets kretslopp. SKB kommer även att inkludera avdunstning av klor (beskrivs i avsnitt 13.5) i modellerna.

SKB lyfter fram att betydelsen av gastransport, t.ex. av metan och koldioxid, i vatten, mark och atmosfär fortsatt kommer att undersökas tillsammans med upptagsprocesser av gas genom primärproduktion och mikrobiell metabolism. SKB kommer att i samarbete med Linköpings universitet studera metanflödet från djupa marklager i naturliga ekosystem. SKB framför vidare att nyutvecklade mätmetoder kommer att användas i studien för att kunna bedöma i vilken utsträckning metan från djupa marklager späds ut av ytligare producerad metan och hur stor andel som oxideras respektive frigörs till atmosfären. SKB framför också att fortsatt arbete planeras för att studera emissionerna och kvantifiera källorna av metan i Forsmark.

SKB uppger att de fortsatt kommer att delta aktivt i det internationella forumet Bioprotas kol-14 arbete.

### ***Remissinstansernas synpunkter***

*Kungliga vetenskapsakademien (KVA)* konstaterar, i likhet med yttrandet över Fud-program 2016, att SKB:s analys av ytekosystemen och konsekvenserna av spridningen av radionuklider under olika förutsättningar har ökat i omfattning och betydelse, och att det framgår av både nulägesbeskrivningen och föreslaget program. KVA anser, också i likhet med yttrandet över Fud-program 2016, att SKB tar upp viktiga aspekter av betydelse och stor relevans även i andra sammanhang, t.ex. spridning av toxiska ämnen till biogeosfären från andra verksamheter i samhället.

*Stockholms universitet* anser att det är viktigt att SKB fortsätter sitt arbete med att utveckla ökad mekanistisk förståelse för upptag av radionuklider i biota, och transport i näringskedjan kopplad till metaboliska processer (för att ersätta användandet av koncentrationsfaktorer i dos-modellering). Stockholms universitet framför också att SKB:s fokus verkar vara att öka förståelsen för upptag av radionuklider i växter från mark och sedan vidare transport i näringsväven. Vidare frågar Stockholms universitet om det är uteslutet att andra upptagsvägar också kan vara viktiga, t.ex. upptag av radionuklider i djur (som daggmusk) från mark och/eller upptag av växter och/eller djur i sediment (som rotade kärlväxter och depositionsätare). Stockholms universitet påpekar också att det är viktigt att utreda hur hypoxiska/anoxiska förhållanden i sediment påverkar rörligheten av radionuklider.

### ***SSM:s bedömning***

SSM anser, liksom i granskningen av Fud-program 2016, att det är bra att SKB fortsätter det långsiktiga arbetet med att utveckla alternativa metoder för att uppskatta radionuklid-upptag i organismer och minska osäkerheter kring upptagsvägar och upptagsmekanismer som är viktiga vid beräkning av exponering av både biota i miljön och människor. SSM ser positivt på SKB:s planerade initiativ att validera existerande modeller med fältdata (t.ex. näringsämnen och andra stabila ämnen) samt göra jämförelser mellan resultat från de CR-baserade metoder som SKB använt hittills och resultat från allometrisk metod (t.ex. Beresford m.fl. 2016). SSM bedömer att SKB:s planerade arbete under den kommande femårsperioden, med att göra nya och koordinerade provtagningar av växt- och jordprover, är en värdefull insats som kan ge ny kunskap om radionuklidens växttillgänglighet.

SSM instämmer med Stockholms universitet vad gäller vikten av att SKB fortsätter studera transport i näringskedjor och olika upptagsvägar. SSM anser också att de exempel på upptagsvägar som Stockholms universitet tar upp; upptag av radionuklider i djur (som dagmask) från mark och/eller upptag av växter och/eller djur i sediment (som rotade kärlväxter och depositionsätare), inte ska uteslutas utan motivering i SKB:s fortsatta studier. Liksom Stockholms universitet menar SSM att det är viktigt att utreda hur hypoxiska/anoxiska förhållanden i sediment påverkar rörligheten av radionuklider.

SSM menar att SKB:s planerade arbete med att utveckla en modell för rinnande vatten är viktigt. SSM vill, liksom i granskningen av Fud-program 2016, framföra att inkludering av vattendragsmodellering i biosfärsmodelleringen kan ge vissa scenarier/exponeringsvägar som kan ha stor betydelse för radionuklidomsättning i ytekosystem.

SSM tycker att det är värdefullt att SKB planerar fortsätta de pågående studierna av egenskaper hos klor i terrestra och akvatiska miljöer (våtmarker, sjöar och rinnande vatten) med syfte att utveckla modeller för transport och ackumulation av Cl-36.

SSM ser positivt på den satsning SKB gör för att förbättra kunskapen om kol-14 i samband med slutförvaring av använt kärnbränsle och radioaktivt avfall. Kol-14 är en radionuklid med komplicerade upptagsvägar och upptagsmekanismer och mer kunskap behövs för att klarlägga hur radionukliden kan spridas. SSM vill liksom i granskningen av SR-PSU (SSM 2019:18) betona vikten av att SKB fortsätter utveckla kol-14 modelleringen. SSM anser att en viktig del i utvecklingen är verifiering av kol-14 modellen både genom att göra jämförelser av modellresultat med data, och genom jämförelser med andra kol-14 modeller.

SSM anser att det är mycket viktigt att SKB deltar aktivt i internationella samarbeten och fora, om viktiga radionuklider med komplexa upptagsvägar och upptagsmekanismer, för att följa och dra nytta av utveckling och forskning samt bidra till ökad kunskap.

## **10.4.2 Temporal och spatial heterogenitet i landskapet**

### ***SKB:s redovisning***

SKB inleder avsnittet med att konstatera att en av de viktigaste faktorerna för beräknad dos vid ett utsläpp är landskapets utseende och dynamik. SKB fortsätter att konstatera att

beroende på vilken typ av ekosystem ett utsläpp sker till och vilka egenskaper ekosystemet har i förhållande till när utsläppet sker kan den beräknade dosen påverkas flera storleksordningar.

SKB tar också upp den kritik som framfördes i SSM:s granskning av SR-PSU för brist på transparens i dosberäkningar som drivs av komplexa och svåröverblickbara stödmodeller (Walke m.fl. 2015). SKB menar att erfarenheterna från SR-PSU visar att det är svårt att förutse och förenkla förlopp som är beroende av landskapets utveckling innan utsläppsdynamiken är känd (Kautsky m.fl. 2016). SKB anger att de utifrån detta kommer att arbeta vidare med förenklade modeller, men i första hand i anslutning till resultatutvärdering (t.ex. SKB TR-19-05). SKB framhåller att säkerhetsvärderingen för SFL visar att en mer komplex modell, där man utnyttjar förståelsen för hur jordbruksmark åldras, ger lägre doser än den förenklade modell som används i basfallet (SKB TR-19-05) och menar att orsaken till lägre dos är olika beroende på radionuklid.

SKB framför att insikterna från arbetet med Comsol-modellerna i säkerhetsvärderingen för SFL kommer att vidareutvecklas för potentiella utströmningsområden i Forsmark, för att allsidigt belysa betydelsen av olika antaganden kring rumslig spridning och upplösning för beräknad dos till den mest exponerade gruppen. SKB gör bedömningen att fortsatt arbete med Comsol-verktyget ger möjlighet att besvara eller illustrera flera frågor kring den rumsliga upplösningen.

SKB redogör för att modellering av landskapsutveckling eller utveckling av enskilda ekosystem kommer att undersökas genom att jämföra SKB:s tidigare modelleringsresultat med resultat från landskapsmodellen Untamo. Vidare anger SKB att kunskaperna från Grasp och Krycklan kommer att tillämpas på Forsmarksområdet för att därigenom beskriva effekter av ett kallare klimat på landskapsnivå.

SKB framhåller också att de även fortsättningsvis kommer att delta aktivt i det internationella arbete som syftar till att beskriva den långsiktiga utvecklingen på landskapsnivå inom Bioprot och i en eventuell fortsättning på IAEA programmet Modaria II.

### ***SSM:s bedömning***

SSM anser att det är värdefullt att SKB tydligt lyfter fram vikten av att ta hänsyn till landskapets utseende och dynamik vid beräkning av dos från utsläpp. SSM anser vidare att det är viktigt att SKB klart uttrycker att beroende på vilken typ av ekosystem ett utsläpp sker till och vilka egenskaper ekosystemet har i förhållande till när utsläppet sker kan den beräknade dosen påverkas flera storleksordningar.

SSM vill också ta upp betydelsen av storleken på biosfärsobjekt för beräkningar av dos till människa och miljö. SSM framhöll i granskningen av SR-PSU (SSM 2019:18) att definitionen av biosfärsobjekts avgränsningar har en potentiellt stor betydelse vid beräkningar av dos, eftersom ett stort objekt kan resultera i utspädning och underskattning av dos.

SSM menar vad gäller SKB:s fortsatta arbete med förenklade modeller att det är rimligt att modellera med både komplexa och förenklade modeller för att öka förståelsen för hur landskapets utseende och dynamik kan påverka dosberäkningar. Men SSM anser att SKB bör sträva efter att göra den modellering som stödjer en säkerhetsanalys så transparent och överskådlig som möjligt.

SSM tycker, liksom i granskningen av Fud-program 2016, att det är bra att SKB arbetar med Comsol-verktyget för att undersöka frågor kring den rumsliga upplösningen som påverkar spridningen av utsläpp och hur detta i sin tur påverkar exponering. SSM bedömer det som viktigt att SKB vidareutvecklar arbetet med Comsol-modellerna för potentiella utströmningsområden i Forsmark för att allsidigt belysa betydelsen av olika antaganden kring rumslig spridning och upplösning för beräknad dos till den mest exponerade gruppen och till biota i miljön.

SSM ser positivt på att SKB jämför tidigare modelleringsresultat av landskapsutveckling eller utveckling av enskilda ekosystem med modelleringsresultat från andra modeller som t.ex. landskapsmodellen Untamo. Att SKB tillvaratar kunskaperna från forskningen inom projektet Grasp och om området Krycklan ser SSM som värdefullt för att beskriva effekter av ett kallare klimat på landskapsnivå i Forsmarksområdet.

SSM menar att det är av största vikt att SKB deltar aktivt i internationella samarbeten och fora, för att följa och dra nytta av utveckling och forskning samt bidra till ökad kunskap, om långsiktig utveckling på landskapsnivå.

#### 10.4.3 Transport- och ackumulationsprocesser

##### ***SKB:s redovisning***

SKB redovisar planer på att med data från Forsmarksområdet utveckla en metod med målsättningen att beskriva transporten av vatten och lösta ämnen under längre tidsperioder på ett rättvisande, enkelt och lättbegripligt sätt, men samtidigt med bibehållen transparens om vilka faktiska mekanismer som styr transporten.

SKB beskriver att de avser att utveckla en radionuklidtransportmodell för rinnande vatten som inkluderar vattnets rörelser till och i vattendrag men också kemiska processer som sker i övergången mellan land och vatten och starkt kan påverka förutsättningar för ackumulation av radionuklider och därmed potentiell dos.

SKB redogör för de fortsatta studierna i Krycklanområdet och anger att de förväntas ge värdefulla insikter kring processerna lakning, mobilisering och ackumulation av ämnen i ett landskapsperspektiv. SKB uppger att ett delmål är att med hjälp av kemiska och hydrologiska randvillkor modellera ackumulation, lakning och ämnestransport i ett tvärsnitt av ett avrinningsområde.

SKB förklarar att de planerar att utveckla den studie, av urans sönderfallskedja i samband med modelleringen av ytekosystemen, som genomfördes i säkerhetsvärderingen för SFL. SKB framhåller att arbetet bl.a. kommer att omfatta transport och exponering av radon, och syftar till att belysa betydelsen av olika transporthastigheter för den beräknade dosen. SKB anger också att de planerar uppdatera den oceanografiska modellen i platsmodelleringen och anpassa den för ämnestransport i området.

##### ***Remissinstansernas synpunkter***

*Stockholms universitet* framför som generell synpunkt att SKB:s arbete är ambitiöst och relevant för att öka kunskapen om och förståelsen för processer och mekanismer som har betydelse för hur radionuklider kan röra sig i ekosystem om/när de når dit, och hur de kan omfördelas över tid.

Stockholms universitet anser att det är viktigt att SKB fortsätter sitt arbete med att:

- Öka processförståelsen för hur radionuklider kan transporteras i landskapet, och hur detta kan förändras till följd av framtida klimatförändringar.
- Ta fram platsspecifika Kd-värden för radionuklider för förhållanden som är relevanta för säkerhetsanalyserna. Stockholms universitet noterar att SKB påpekar att osäkerheter i sorptionskoefficienter (Kd) ofta är mycket stora vilket påverkar dosberäkningarna.
- Validera befintliga modeller mot platsspecifika mätningar i den mån det är möjligt.

*Kungliga Vetenskapsakademin (KVA)* påtalar att studier av plutoniums rörlighet i mark/vattensystem (plutonium från nedfall) visar på en möjlig omfördelningsprocess, där plutonium (IV) kan reduceras till plutonium(III) i syrefri vattenmiljö och i närvaro av reducerande organiska syror (humus), för att sedan bilda humuskomplex som är mobila och i nästa led av transportkedjan sannolikt oxideras till plutonium(V) vid kontakt med syresatt vattenmiljö.

#### **SSM:s bedömning**

SSM ser liksom Stockholms universitet positivt på SKB:s planer att utveckla en metod med målsättningen att beskriva transporten av vatten och lösta ämnen under längre tidsperioder på ett rättvisande, enkelt och lättbegripligt sätt, men samtidigt med bibehållen transparens om vilka faktiska mekanismer som styr transporten.

SSM instämmer med Stockholms universitet vad gäller vikten av att ta fram platsspecifika Kd-värden för radionuklider för förhållanden som är relevanta för säkerhetsanalyserna och vad gäller validering av befintliga modeller mot platsspecifika mätningar i den mån det är möjligt.

SSM anser att SKB:s arbete med att utveckla en radionuklidtransportmodell för rinnande vatten är viktigt. Modellen bör kunna bidra till en mer rättvisande uppskattning av ackumulation av radionuklider och dos.

SSM har i granskningarna av Fud-program 2013 och 2016 varit positiva till SKB:s studier i Krycklanområdet. SSM menar också i detta yttrande att forskningssatsningen i Krycklanområdet är angelägen. Det är betydelsefullt om de fortsatta studierna kan ge insikter kring processerna lakning, mobilisering och ackumulation av ämnen i ett landskapsperspektiv.

SSM bedömer det som viktigt att SKB planerar att studera urans sönderfallskedja, bl.a. transport och exponering av radon, med syfte att belysa betydelsen av olika transport-hastigheter för den beräknade dosen. SSM bedömer också SKB:s planerade uppdatering av den oceanografiska modellen i platsmodelleringen, med en anpassning till ämnes-transport i aktuellt område, som betydelsefull och menar liksom SKB att den kan ge värdefulla insikter om vattentransport i havsområdet utanför Forsmark.

#### 10.4.4 Radiologiska, biologiska och kemiska egenskaper hos betydelsefulla ämnen

##### ***SKB:s redovisning***

SKB planerar att genomföra kompletterande provtagningar för element och radionuklider där platsdata saknas. Detta underlag kommer enligt SKB att möjliggöra en mer nyanserad beskrivning av sorptionsegenskaper (Kd) genom att utnyttja mjukare lakningsmetoder (än totalinnehåll) och bättre ta hänsyn till den kemiska miljön i utströmningsområden.

SKB redovisar att de kommer att fortsätta en fördjupad utvärdering av klors fördelningsmönster i miljön med målsättningen att knyta det observerade mönstret till processer i ekosystemen. SKB framför vidare att de kommer att kartlägga förekomsten av oorganiskt och organiskt klor i vatten, sediment, bottenlevande djur, växter, djurplankton och fisk. SKB planerar också att uppskatta omsättningen av organiskt klor i sediment och vatten, samt genomföra en studie för att beskriva de totala flödena av flyktiga organiska klorföreningar från olika miljöer.

SKB redogör för att de i det fortsatta arbetet med att uppskatta upptags- och transportprocesser för metan och koldioxid kommer att genomföra mätningar för att bestämma halter av stabila isotoper hos dessa ämnen. SKB framhåller att de därigenom kommer att kunna separera metan och koldioxid som transporteras från djupare jordlager från metan och koldioxid som kommer från horisontella ytliga flöden. SKB framhåller vidare att mätningarna kommer att kompletteras med nya metoder som effektivare kan kartlägga flöden av metan och koldioxid (bl.a. med hjälp av sensornätverk och en hyperspektral kamera för metan).

SKB har för avsikt att beskriva hur den markkemiska miljön kommer att förändras över tid i Forsmark, för att i förlängningen ge en bild av olika ämnens rörlighet och fastläggning i ett framtida landskap. SKB planerar att göra detta genom studier av representativa ekosystem i närheten av Forsmark, men belägna tillräckligt högt över nuvarande havsstrandlinje för att representera äldre ekosystem än de i Forsmark.

SKB planerar fortsatta studier i Krycklanområdet som syftar till att öka kunskapen om urlakning och anrikning av olika ämnen i en bäcknära zon. Vidare kommer SKB att fortsätta den studie som påbörjades i Krycklan, om hur man kan använda lantanider som spårämnen för lakning, i Forsmarksområdet. Med fokus på uran och dess sönderfallsdöttrar kommer SKB också att genomföra en grundligare genomgång av isotopdata från de naturliga sönderfallskedjorna från platsundersökningsområdena.

##### ***Remissinstansernas synpunkter***

*Stockholms universitet* framför att Fud-program 2019 inte innehåller några studier för att uppskatta potentiella effekter (toxicitet/radiotoxicitet) hos biota till följd av upptag och ackumulation av radionuklider. Stockholms universitet frågar om det beror på att modelleringsstudier resulterar i att halterna/doserna förväntas bli så låga att risken för effekter hos biota är liten. Vidare menar Stockholms universitet att om SKB inte kan visa att risken för effekter hos biota är försumbar bör det utredas om forskning och kompetens kring radiotoxicitet behöver utvecklas.

### ***SSM:s bedömning***

I likhet med Stockholms universitet saknar SSM en mer detaljerad beskrivning av hur SKB planerar arbeta med forskning om skyddet av miljön.

I granskningen av Fud-program 2016 ansåg SSM att SKB ska kunna göra egna mätningar som underlag till framtida säkerhetsanalyser. SSM ser i denna granskning det som positivt att SKB planerar fortsätta med kompletterande provtagningar för element och radionuklider där platsdata saknas. SSM ser vidare positivt på om detta arbete kan leda till en mer nyanserad beskrivning av sorptionsegenskaper ( $K_d$ ) än idag, genom att utnyttja mjukare lakningsmetoder (än totalinnehåll), och genom att ta bättre hänsyn till kemisk miljö i utströmningsområden.

SSM anser att SKB:s fortsatta arbete med en fördjupad utvärdering av klors fördelningsmönster i miljön är bra liksom målsättningen att knyta det observerade mönstret till processer i ekosystemen. SSM ser också positivt på SKB:s planerade kartläggning av förekomsten av oorganiskt och organiskt klor i vatten, sediment, bottenlevande djur, växter, djurplankton och fisk. SSM menar även att det är värdefullt att SKB planerar att uppskatta omsättningen av organiskt klor i sediment och vatten, samt att de genomför en studie för att beskriva de totala flödena av flyktiga organiska klorföreningar från olika miljöer. SSM har tagit upp vikten av processförståelse av klor i terrester och akvatisk miljö i granskningarna av Fud-program 2013 och 2016.

SSM menar att SKB:s arbete med att uppskatta upptags- och transportprocesser för metan och koldioxid är viktigt. Vidare bedömer SSM det som betydelsefullt att SKB genomför de studier som syftar till att kunna separera metan och koldioxid som transporteras från djupare jordlager från metan och koldioxid som kommer från horisontella ytliga flöden.

SSM ser det som värdefullt att SKB har för avsikt att beskriva hur den markkemiska miljön kommer att förändras över tid i Forsmark, för att i förlängningen ge en bild av olika ämnens rörlighet och fastläggning i ett framtida landskap. SSM bedömer den metod som SKB planerar använda som rimlig, med studier av representativa ekosystem i närheten av Forsmark, men belägna tillräckligt högt över nuvarande havsstrandlinje för att representera äldre ekosystem än de i Forsmark.

SSM ser positivt på SKB:s planer om fortsatta studier i Krycklanområdet med syfte att öka kunskapen om urlakning och anrikning av olika ämnen i en bäcknära zon. Att fortsätta studien som påbörjades i Krycklanområdet, om hur lantanider kan användas som spårämnen för lakning, i Forsmarksområdet uppfattar SSM som ändamålsenligt. Även SKB:s planerade grundligare genomgång av isotopdata, från de naturliga sönderfallskedjorna från platsundersökningsområdena med fokus på uran och dess sönderfallsdöttrar, bedömer SSM som lämplig.

#### **10.4.5 SSM:s samlade bedömning avseende ytekosystem**

SSM ser positivt på att SKB:s forskningsprogram för ytekosystem har en helhetssyn och syftar till att skapa underlag för beräkningar av potentiell stråldos till människa och miljö i analyserna av säkerheten efter förslutning för de olika förvaren, men också ger underlag för miljöövervakning, bedömningar av eventuell miljöförändring och för analysen av säkerheten i anläggningarna under drifttiden.

SSM bedömer det som rimligt att SKB utgår från att forskningsfrågor kring radionuklid-omsättning och dosberäkningar i ytekosystem för de tre olika förvaren (Kärnbränsleförvaret, utbyggt SFR, SFL) överlappar varandra.

SSM bedömer att det är av största vikt att SKB:s forskningsprogram för ytekosystem bidrar till ett långsiktigt bevarande av kompetens inom området för att SKB:s framtida arbete med analys av säkerhet för befintliga och planerade förvar ska vara tillfredsställande ur ett strålsäkerhetsperspektiv.

SSM ser det som avgörande för att SKB:s forskningsprogram för ytekosystem över tid ska kunna bidra till säkerhetsanalyser som kan uppfylla SSM:s strålsäkerhetskrav, att de databaser som används i forskningsprogrammet med t.ex. vetenskaplig grunddata och undersökningsdata från bl.a. platsundersökningar, systematiskt uppdateras och att system och programvara utvecklas i takt med utvecklingen av dator- och operativsystem.

I analogi med en ansvarsfull hantering av databaser anser SSM att SKB:s arbete med modell- och beräkningsverktyg är avgörande för att SKB:s forskningsprogram för ytekosystem över tid ska kunna bidra till säkerhetsanalyser som kan uppfylla SSM:s strålsäkerhetskrav. SSM anser att det är mycket viktigt att som SKB ställa kvalitetskrav för att programvaror ska få användas i säkerhetsanalyser, med dokumentation som styrker att programvaran är lämplig för sin uppgift i säkerhetsanalysen, har utvecklats på ett ändamålsenligt sätt och att beräkningar ger korrekta resultat, samt att programvaran har använts på ett korrekt sätt och att det finns en beskrivning över hur data överförs mellan olika beräkningsuppgifter. SSM anser också att det är avgörande att SKB underhåller och uppgraderar modell- och beräkningsverktyg löpande i takt med den allmänna utvecklingen av dator- och operativsystem.

SSM ser SKB:s arbete med platsundersökningar och platsbeskrivande modeller som väsentligt för ytekosystem området i säkerhetsanalysen. Både arbetet med att underhålla den platsbeskrivande modellen för Forsmark kontinuerligt och med att göra större uppdateringar inför förnyade säkerhetsanalyser. SSM vill framhålla betydelsen av att SKB använder erfarenheterna från det mångåriga arbetet med platsundersökningar och platsbeskrivande modeller för Forsmark och Laxemar i arbetet med platsundersökningar och platsbeskrivande modeller i samband med lokalisering av SFL.

SSM menar att när det gäller SKB:s behov av resurser och kompetens för att förstå den biosfär där konsekvenser av eventuella utsläpp från förvaren uppkommer och hur radionuklider kan omsättas i biosfären, är det viktigt att SKB själv eller i internationella samarbeten kan generera ny kunskap. SSM vill också betona värdet av nära samarbeten mellan ämnesområden i det tvärvetenskapliga arbetet med säkerhetsanalyser och vikten av att djup kunskap om ytekosystem finns med kontinuerligt i det arbetet. SSM vill även understryka betydelsen av att SKB har resurser och egen kompetens när det gäller de modell- och beräkningsverktyg som används i säkerhetsanalysen inom ytekosystem området.

## 10.5 Klimat och klimatrelaterade processer

I detta avsnitt framförs myndighetens synpunkter på SKB:s program för studier av klimat och klimatrelaterade processer (kapitel 14). Det framtida klimatet är en viktig extern faktor som påverkar ett slutförvar av radioaktivt avfall på flera olika sätt som berör bl.a.

berggrundens mekaniska-, hydrogeologiska-och hydrogeokemiska utveckling. En annan viktig klimatrelaterad påverkan är tillväxten av permafrost.

### 10.5.1 Historiska klimatförändringar

#### ***SKB:s redovisning***

SKB redogör för arbetet med historiska klimatförändringar som skett sen inlämnandet av Fud-programmet 2016. Det innefattar flera SKB TR rapporter och doktorsavhandlingar. TR rapporterna har även resulterat i ett flertal publikationer i den vetenskapliga litteraturen. Det utförda arbetet innefattar klimatmodellering, limniska klimatarkiv och borrhålsdata. Resultat från den gångna Fud-perioden har förbättrat förståelsen av klimatets variationer under slutet av den senaste glaciationscykeln, både tidsmässigt och orsaksmässigt. Dessa resultat ger viktig information i det fortsatta arbetet med att beskriva och motivera de av SKB framtagna klimatfall som ingår i säkerhetsanalyserna för de olika slutförvaren för radioaktivt avfall.

Det fortsatta forskningsprogrammet gällande det historiska klimatet kommer fokusera på klimatvariationerna från tidig Weichsel under odderade interglacialen. Studierna avses baseras på fortsatta studier av sjösediment från Sokli.

#### ***Remissinstansernas synpunkter***

*Stockholms universitet* konstatera att lokalen Sokli i norra Finland har varit central för att reda ut klimatförhållandena under en glacial- och interglacialtid. Universitetet konstatera vidare att endast få lokaler i Skandinavien kan mäta sig med lagerföljden i Sokli på grund av att senare nedisningar eroderade bort äldre sedimentlager på många platser. Att använda sig av Soklis data set för att utröna klimat- och miljöutvecklingen under Weichseltiden, det vill säga innan senaste nedisningen, är en bra strategi anser universitetet, men frågan är enligt universitetet hur representativ Weichseltidens klimat- och miljöutveckling vid Sokli i norra Finland är för förhållandena vid Forsmark, samt hur borrhållstemperaturerna från Forsmark passar ihop med temperaturrekonstruktionerna från Sokli och andra områden.

I Sverige finns enligt universitetet många lokaler med sediment som härrör från tiden efter senaste nedisningen. Att använda sig av Sokli för att lära sig mer om klimat- och miljöutveckling under till exempel holocen förefaller därför enligt universitetet inte logiskt.

Med referens till avsnitt 14.1.2 ”Övergången mellan olika klimattillstånd i slutet av en glaciation” konstaterar universitetet att proxy-studier och modellberäkningar som gjordes inom området enbart relaterade till sommartemperaturer. Däremot vet vi, enligt universitetet, att även temperaturerna under vinterhalvåret är av betydelse och konstaterar att dessa än så länge inte har undersökts.

Universitetet anser att eftersom det är svårt att få fram vintertemperaturer med hjälp av biologiska proxies så borde åtminstone modellkörningarna kunna användas för att få en uppfattning om vintertemperaturerna under slutfasen av den senaste nedisningen. Universitetet anser vidare att det samma gäller för nederbörden under olika perioder och säsonger.

*Kungliga Vetenskapsakademin (KVA)* konstaterar att SKB:s arbete med klimatfrågor, liksom ytekosystemstudierna, har ökat i omfattning och djup. KVA anser att föreslagna program är detaljerade och trovärdiga och kopplade till aktuell forskning och observationer, bland annat Grönlandsprojektet GAP.

### ***SSM:s bedömning***

SSM ser positivt på SKB genomförda studier som stärker förståelsen av det historiska klimatet. Flera av de synpunkter som SSM framfört vid granskningen av SKB:s ansökan om ett slutförvar för använt kärnbränsle har adresserats. Det gäller exempelvis behovet av fler och säkrare dateringar av terrestriska klimatarkiv behöver erhållas för att kunna ge en säkrare oberoende bedömning av den rekonstruerade temperaturkurvan samt för att utvärdera vilken påverkan abrupta klimatväxlingar inom millennium och kortare tidskalor. SKB:s redovisade planer fram till nästa program är ändamålsenligt och SSM har inget att tillägga till SKB:s redovisning.

## 10.5.2 Inlandsisars dynamik och beteende

### ***SKB:s redovisning***

SKB har genomfört ytterligare modelleringar av den maximala istjockleken över Forsmark baserat vilka ökat den maximala istjockleken över Forsmark från ca 3400 meter till ca 4000 meter. Ett pågående arbete fokuserar på transienta förändringar av istjocken under hela Saaleglaciationen. Detta för att transienta förändringar har betydelse för många klimatrelaterade processer som exempelvis beräkningen av bergmekaniska laster under en glaciationscykel och den långsiktiga denudationen av markytan i Forsmarksområdet. SKB avser även jämföra inlandsisrekonstruktioner för Weichsel- och Saaleglaciationerna som använts i SKB:s tidigare säkerhetsredovisningar med publicerade paleo-rekonstruktioner av Fennoskandiska inlandsisar. En sådan utvärdering kommer utgöra ett underlag för att förbättra förståelsen av relativt snabba klimatförändringar och dess effekter på inlandsisens rörelser och påverkan på exempelvis den sammanlagda denudationen under upprepade glaciationscykler.

### ***Remissinstansernas synpunkter***

*Stockholms universitet* noterar att SKB planerar att göra en genomgång av publicerade paleo-rekonstruktioner av inlandsisar för Fennoskandia. Många av de existerande rekonstruktionerna baseras enligt universitetet på en ganska statisk bild av en inlandsis, det vill säga mer eller mindre raka israndlinjer med ofta osäker datering. Däremot vet vi enligt universitetet att inlandsisen har varit mycket mer dynamisk än vad som visas i de publicerade paleo-rekonstruktionerna.

Universitetet anser att enbart basera sig på publicerade paleo-rekonstruktioner inte kommer tillföra mycket ny kunskap. Universitetet anser att SKB istället borde satsa på att ta fram nya geomorfologiska och stratigrafiska data för utvalda områden för vilka man kan förmoda att iskanten varit mycket dynamisk.

### ***SSM:s bedömning***

Vid granskningen av SKB:s ansökning om att bygga ett slutförvar för använt kärnbränsle betonade SSM vikten av att SKB beaktade hur varierande istjocklekar och/eller inlandsisutbredningar, samt glaciationens längd, påverkar den glacialt inducerade spänningsförändringen. SSM kan således notera att SKB:s uppgivna planer ligger i linje med de synpunkter som SSM förde fram i myndighetens yttrande till regeringen över SKB:s ansökningar om tillstånd att få bygga ett slutförvar för använt kärnbränsle. Likaså ser SSM positivt på SKB:s fortsatta arbete att utvärdera inlandsismodelleringarna mot paleo-inlandsisrekonstruktioner samt inlandsisens dynamik påverkan på den glaciala erosionen, vilket stärker tilltron till SKB:s hantering av klimatrelaterade processerna av betydelse för slutförvar av radioaktivt avfall.

## 10.5.3 Havsnivåvariationer och strandlinjeförskjutning

### ***SKB:s redovisning***

I likhet med föregående Fud-program avser SKB framöver följa kunskapsläget som rör framtida havsytevariationer. En skillnad mot föregående program är att SKB även avser genomföra en studie som syftar till att förbättra kunskapen om snabba havsytevariationers bidrag fram till år 2100. Tidigare analyser har baserats på snabba havsytevariationers med en återkomsttid på 100 år medan den uppgivna studien ska utvärdera snabba havsytevariationers bidrag med en återkomsttid på upp till 10 000 år. Studien kommer även inkludera modellering av den långsamma förändringen av havsnivån i Forsmark fram till år 2100 baserat på olika utsläppsscenarioer.

### ***Remissinstansernas synpunkter***

*Statens geotekniska institut (SGI)* konstaterar att IPCC:s utsläppsscenario RCP8,5, som användes som *worst case* scenario, enligt beräkningarna skulle medföra en maximal höjning av medelhavsytan med ca 30 meter om ca 2000 år (figur 14-3 i IPCC:s rapport), vilket enligt SGI skulle ha betydande konsekvenser på landskapet i Forsmarksområdet och därmed på ytekosystemet, se också kapitel 13.3. Enligt SGI anser många forskare att detta scenario kan anses ligga närmast de trender i koncentration av växthusgaser som nu uppmätts, varför det enligt SGI kan finnas anledning att i kommande utredningar fokusera på detta alternativ som det mest förväntade. Vidare anser SGI att påverkan på ytligare förvar också bör studeras.

### ***SSM:s bedömning***

Då mätningen av snabba havsytevariationers skett under relativt kort period är det möjligt att stormflodernas påverkan på den relativa havsnivån i Forsmark fram till år 2100 kan vara underskattad. Ett exempel på vikten av att ha med historiska stormhändelser som underlag vid riskanalys ges av en studie av historiska översvämningarna längs Skånes syd- och ostkust (Fredriksson m fl, 2017). SSM ser därför positivt på SKB:s redovisade program för den kommande tre-årsperioden. SSM ser även positivt på att SKB under den kommande Fud-perioden avser att bevaka och uppdatera kunskapsläget gällande framtida maximala vattenstånd i Forsmark baserat på långsamma skeenden fram till år 2100. Uppskattningen av den framtida havsnivån är intressant ur flera aspekter, så som vid bedömningen av framtida behov av vidtagna åtgärder under driften av exempelvis SFR

och uppskattningen av tidpunkt när brunnborrning i anslutning till SFR kan ske. En annan aspekt är att om det visar sig att den eustatiska förändringen efter förslutningen av exempelvis SFR till en början överstiger landhöjningen kan det stärka slutförvarets skyddsförmåga genom att tiden med inledningsvis havstäckta förhållanden förlängs.

#### 10.5.4 Ålder och långsiktig stabilitet hos bergytan i Forsmark, inklusive kvantifiering av glacial erosion

##### ***SKB:s redovisning***

SKB har under den föregående Fud-perioden genomfört ett ambitiöst program med avseende att förbättra förståelsen av omfattningen av den totala glaciala erosionen som skett i Forsmarksområdet under pleistocen. Med utgångspunkt från denna studie uppskattar SKB den totala glaciala erosionen under den kommande årmiljonen i Forsmarksområdet upp till tiotals meter. Arbetet har presenterats på ett flertal konferenser och planeras avrapporteras inom kort. Arbetet har även belyst betydelsen av smältvattnets erosion i form av hydraulisk spräckning som orsakas av glacialt inducerade vattentryckstillskott. Denna erosionsform kallas för ”glacial ripping”, och dess erosiva förmåga kan överstiga den ackumulerade erosionen orsakad av inlandsisens slipning, sönderbrytning och plockning av berggrunden.

Den mer utpräglade reliefen längs med kusten och till havs kan ge upphov till en högre ackumulerad glacial erosion jämfört med inåt land. Med anledning av detta ämnar SKB utreda huruvida detta område, med potentiellt kraftigare glacial erosion, kan växa mot platsen för Kärnbränsleförvaret. SKB ska även fortsätta studierna av ”glacial ripping” och utvärdera dess betydelse för Forsmarksområdet. Studierna kommer ge viktig information vid bedömningen av förläggningsdjupets lämplighet i förhållande till framtida permafrostdjup och av glacial erosion orsakad minskad bergtäckning.

##### ***SSM:s bedömning***

SSM noterar att SKB genomfört delar av det forskningsprogram de redovisade i Fud-programmet 2016. Vid granskningen av Kärnbränsleansökan bedömde SSM att förvarets placering mycket nära Ålandshavsområdet, vilket påverkades stort under exempelvis Weichselnedisningen, kan potentiellt leda till kraftigare erosion än förväntat över förvaret under den en miljon år långa analysperioden. SSM ser därför positivt på att SKB avser slutföra studien sydost om Forsmark för att undersöka om lateral tillväxt under loppet av upprepade glaciationscykler kan påverka bergtäckning över det planerade slutförvaret för använt kärnbränslemot.

#### 10.5.5 Validering av permafrostmodell

##### ***SKB:s redovisning***

Under den föregående Fud-perioden har SKB arbetat med att utvärdera permafrostmodellen, och dess vidareutveckling, som använts vid dem preliminära säkerhetsredovisningarna för Kärnbränsleförvaret respektive det utbyggda SFR. Arbetet som utförts har resulterat i en doktorsavhandling vid Aaltouniversitetet i Finland. Utvärderingen av

permafrostmodellen mot faktiska data från Greenland Analogue Project (GAP) kommer fortsätta och avslutas under den kommande tre-årsperioden.

### ***SSM:s bedömning***

SSM har lyft vikten av en utvärdering av permafrostmodellen vid flera tillfällen, både vid granskningen av tidigare Fud-redovisningar och i SSM:s yttrande till regeringen över SKB:s ansökan att uppföra ett slutförvar använt kärnbränsle. SSM står fast vid den bedömning som myndigheten gjort tidigare, d.v.s. myndigheten är angelägen om att SKB avslutar den påbörjade valideringsstudien av permafrostmodellens tillförlitlighet.

## 10.5.6 Variabilitet hos klimat och inlandsisar under de kommande en miljon åren

### ***SKB:s redovisning***

Vid uppskattningen av variabiliteten i det framtida klimatet den kommande årmiljonen har SKB i hög grad utgått från den historiska kunskapen om Weichsel- och Saaleglaciationerna. SKB:s hantering av det framtida klimatet fångar in klimatvariabilitetens yttreligheter vilket ger viktiga indata till säkerhetsanalyserna för slutförvar med långlivat radioaktivt avfall. Detta tillvägagångsätt beaktar dock inte den faktiska framtida variabiliteten i när och hur ofta de glaciala perioderna kan komma att inträffa. Med anledning av detta har SKB, i samarbete med Posiva, genomfört en studie för att förbättra förståelsen av hur det framtida klimatet kan utvecklas under de kommande en miljon åren. Med utgångspunkt från ICCP:s strålningsdrivna scenarier (*Representative Concentration Pathways, RCP*) har SKB undersökt när nästa inlandsis når Forsmarks. Studien visar att utan det antropogena bidraget råder isfria förhållanden i Forsmark sannolikt de kommande ca 100 000 åren. Med ökad antropogen påverkan ökar sannolikheten för att isfria förhållanden i Forsmark ska råda under flera hundra tusen år. Denna information har använts vid uppskattningen av den totala denudationen den kommande årmiljonen.

Den kommande treårsperioden avser SKB, att baserat på den genomförda simulerade klimatutvecklingen för den kommande årmiljonen, utvärdera realismen i de klimatfall som tidigare ingått i SKB:s säkerhetsanalyser och säkerhetsvärderingar för Kärnbränsleförvaret, SFR och SFL. Beroende på utfallet av denna utvärdering planerar SKB, att utifrån utdata från den genomförda simulerade klimatutvecklingen, modellera kommande istiders utbredning med syftet att bl.a. undersöka om isfronten kan passera Forsmark vid flera gånger under samma glaciala cykel.

### ***SSM:s bedömning***

Vid SSM granskning av SKB inlandsismodellering för Kärnbränsleänsökan bedömde SSM att det finns vissa oklarheter gällande vilken betydelse en mer dynamisk inlandsis har på ett slutförvar. SSM bedömer att SKB tillvägagångsätt så som uppgivet i Fud-program 2019 är ändamålsenligt för att bringa klarhet i denna fråga. SSM ser därför positivt på det arbete SKB genomfört sen Fud-program 2016 och SKB:s uppgiva planerna under den kommande treårsperioden.

### 10.5.7 Beskrivning av inlandsisars hydrologi från Greenland Analogue Project (GAP)

#### ***SKB:s redovisning***

SKB redogör kortfattat det fortsatta arbetet med informationen som erhållits från de avslutade GAP och ICE-projekten och hur den genomförda forskningen förbättrat processförståelsen inom flera områden, däribland glacial hydrologi. Denna förbättrade förståelse kommer användas i det fortsatta säkerhetsanalysarbetet. Under den kommande tre-årsperioden kommer SKB tillsammans med flera universitet och kärnavfallsorganisationer fortsätta studierna av hydrologin under periglaciala förhållanden. Vidare kommer övervakningen av flera parametrar i det djupa borrhålet vid det Grönländska istäckets isrand fortsätta till 2021.

#### ***SSM:s bedömning***

SSM ser positivt på SKB:s utförda arbete samt planerade arbete, inom och relaterat till GAP och ICE-projekten, vilket stärker SSM:s förtroende för SKB:s fortsatta säkerhetsanalysarbete inom berörda områden.

### 10.5.8 SSM:s samlade bedömning avseende klimat och klimatrelaterade processer

SSM kan notera att Fud-program 2019 adresserar flera av SSM:s synpunkter från granskningen av den långsiktiga strålsäkerheten efter förslutning av slutförvaret av använt kärnbränsle (SSM 2018:07). Exempelvis kvantifieringen av framtida glacial erosion. Vidare ser SSM positivt på att SKB vid arbetet med havsvariationer och strandlinjeförskjutning avser utvärdera snabba havsytevariationers bidrag med en återkomsttid på upp till 10 000 år. SSM bedömer att detta är en rigorös hantering av ämnesområdet och stärker uppdaterade säkerhetsanalyser som är av vikt för exempelvis driften av SFR. SSM ser även med stort intresse på det ökade kunskapsläget gällande framtida relativ havsnivå i Forsmark då det för SFR kan leda till att tiden med havstäckta förhållanden är längre än vad som antagits tidigare. I SR-PSU antas en period med havstäckta förhållanden efter förslutning på drygt 1000 år. En ökning av den perioden till över 10 000 år stärker skyddsförmågan då den förlänger tiden med låga flöden och fördröjer tidpunkten när anläggningen av brunnsborrning i anslutning till förvaret kan förväntas inträffa.

## **10.6 SSM:s samlade bedömning slutförvarsgemensam forskning och teknikutveckling**

SSM anser att SKB:s Fud-program för forskning och teknikutveckling adresserar de viktigaste områdena och frågeställningarna inom vilka SSM har påtalat behov av framtida ytterligare insatser i samband med tillståndsprövningar för konstruktion och drift ett KBS-3 slutförvar för använt kärnbränsle vid Forsmark samt för utbyggnad och fortsatt drift av det befintliga SFR-förvaret för låg- och medelaktivt kortlivat radioaktivt avfall, också vid Forsmark. SSM har ännu inte granskat SKB:s preliminära säkerhetsvärdering av långsiktig strålsäkerhet för ett kommande SFL-förvar (långlivat låg- och medelaktivt radioaktivt avfall), men bedömer preliminärt att SKB:s Fud-program 2019 även adresserar de

frågor som kräver särskilt uppmärksamhet i detta sammanhang. Programmet kan förutom att underbygga driftsfrågor och kommande säkerhetsanalyser, förväntas bidra med kompetensbevarande och kompetensuppbyggnad som är nödvändig för att kunna förverkliga SKB:s planer för slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle och annat radioaktivt avfall.

SSM bedömer att insatser för att öka processförståelsen för cementbaserade material i Fud-program 2019 är väl motiverade. Även om kunskapsnivån inom området är tillfredsställande behövs på sikt ytterligare experimentella studier i laboratoriemiljö och fältskalan som bl.a. belyser degraderingsförloppet i grundvatten med höga salthalter. SSM vill också påtala behov av angreppsätt för att verifiera funktionskrav och långsiktiga säkerhetsfunktioner för betongkonstruktioner samt analyser av hur dessa kopplas till de krav som tillämpas under uppförandefasen.

Beträffande forskning kring lerbarriärernas långsiktiga utveckling konstaterar SSM att SKB har adresserat och ytterligare avser belysa angelägna frågor kopplade till risk för erosion av bufferten, vattenuptag och gasfassammansättning under buffertens återmättnadsförlopp, samt långsamma mineralogiska omvandlingar av bentonitlera.

SSM bedömer att SKB har ett lämpligt program för att adressera kopplade processer i berggrunden. Resultat från denna typ av forskning bedöms kunna bli användbar för optimering av slutförvarsanläggningens detaljkonstruktion. Den ger även grund för att analysera långsiktig påverkan på grundvattenströmning i det spricknätverk som omger kommande slutförvar för använt kärnbränsle och annat långlivat radioaktivt avfall. Vad gäller den framtida utvecklingen av grundvattenflödesmodellering behövs en analys av för- och nackdelar med en gradvis ökande komplexitet i olika avseenden. Eventuellt finns behov att parallellt redovisa enklare modeller och beräkningsfall som en kompletterande information för att underlätta tolkning och förståelse. Insatser behövs även för att långsiktigt bevara kompetens och uppdatera tillgänglig information inom även andra områden kopplade till berggrundens betydelse för långsiktig strålsäkerhet så som sorptionsforskning och paleoseismisk aktivitet.

SSM konstaterar att SKB har ett lämpligt program för ytekosystem syftande till framtagande av de analyser av radionuklidomsättning och dosberäkningar som behövs för kommande säkerhetsanalyser. Även om omfattande insatser redan har genomförts är det viktigt att databaser och beräkningsprogram underhålls, uppdateras och utvecklas. Det är särskilt viktigt att den kompetens som utvecklades under platsundersökningsprogrammet bevaras.

SSM ser också positivt på SKB:s genomförda och planerade insatser inom området klimatrelaterade processer med särskilt viktiga frågeställningar som avser glacial erosion, havsnivåvariationer och strandlinjeförskjutning, varav de två sistnämnda har en särskilt stor betydelse för SFR.



## 11 Avveckling av kärntekniska anläggningar

### 11.1 Förutsättningar för avveckling

#### 11.1.1 Begrepp och krav

##### *SKB:s redovisning*

I avsnitt 15.1 redovisas översiktligt kravbilden för avveckling av kärntekniska anläggningar enligt miljöbalken, 9 kapitlet i Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter (SSMFS 2008:1) om säkerheten i kärntekniska anläggningar, och Europeiska Kommissionens förordning (Euratom) 302/2005 om genomförandet av Euratoms kärnämneskontroll. Vidare listas upp andra myndigheter som ställer avvecklingsrelaterade krav. Utöver krav som är direkt kopplade till kärntekniska aspekter redogörs översiktligt för ytterligare krav från andra berörda myndigheter.

Redovisningen omfattar också en övergripande redogörelse för dels olika former av redovisningar som behöver utarbetas inför och i vissa fall löpande under avvecklingen, dels när viss sådan dokumentation behöver lämnas in till Strålsäkerhetsmyndigheten. Kravbilden illustreras i Figur 15-1.

##### *Remissinstansernas synpunkter*

*Kävlinge kommun* väljer att i sitt yttrande över Fud-program 2019 fokusera på del III ”Avveckling av kärntekniska anläggningar”.

Kommunen lyfter fram de konsekvenser som tidigare beslut från SKB att inte planera för ett utbyggt förvar för låg- och medelaktivt avfall som kan hantera en nedmontering och rivning av kärnreaktorerna. Kommunen anser att SKB gör en felprioritering genom att skjuta planering, projektering och byggande av förvaret för långlivat avfall (SFL). Kommunen påpekar att detta får den lokala konsekvensen att det mellanlager Barsebäck Kraft AB (BKAB) har byggt och fyllt de senaste åren på området i Barsebäck måste stå kvar fram till SFL är etablerat och i drift någon gång mellan 2045-2050.

Kommunen ser positivt på att SKB nu äntligen inser vidden av och fokuserar på nedmontering och rivning (NoR), den fas hela kärnkraften i Sverige står inför. Kommunen konstaterar att sedan Barsebäcksvärets nedstängning av elproduktionen från reaktorerna har kommunens intresse i Fud-programmen – att fokusera och driva på en lösning på rivningsproblematiken – setts mer eller mindre som ett särintresse. Kommunen anser att fullt fokus på produktion har inneburit att tillkommande låg- och medelaktivt avfall från rivningsprocessen har fått skjutas på framtiden och att NoR arbetet på BKAB därmed enligt kommunens mening avsiktligt försenats och därmed fördyrats. Kommunen anser att arbetet först under 2019 tagit fart på riktigt.

Kommunen konstaterar att den nu äntligen kan se konturerna av ett SFR 2 som nu dimensioneras för att kunna ta emot rivningsavfall. Kommunen anser att denna lucka i SKB:s planering blir akut när nu hälften av landets reaktorer har beslutats stängas av för gott och NoR-projekt drivs i fyra av landets fem kärnkraftkommuner. Kommunen anser

att särskilt tydligt blir det i Kävlinge med BKAB:s avisering om att ansöka om att bygga ytterligare ett mellanlager för att kunna hantera det lågaktiva avfallet i samband med NoR.

Kommunen anser att hantering och förvar av långlivat kärnavfall bör tydliggöras under programperioden och kommunen anser även att slutförvaret SFL bör tidigareläggas då det har konsekvenser för om BKAB kan hantera det på annan plats i ljuset av att fler reaktorer nedmonteras och avfallsmängden ökar. Kommunen anser vidare att den tillfälliga lösningen det innebär med lokala mellanlager inte är hållbar fram till 2045. Kommunen anser därför att SKB bör arbeta med parallella processer för etablerande av förvar för använt kärnbränsle och långlivat avfall.

Kommunen konstaterar att frågan om markförvar för låg- och medelaktivt kärnavfall på grund av platsbrist har varit utesluten på BKAB. Kommunen anser dock att det är olyckligt att sådana finns på övriga anläggningar och därmed hindrar framtida generationers markanvändning. Kommunen anser vidare att när SFR 2 planeras bör både existerande och planerade markförvar avvecklas. Samtidigt anser kommunen att SKB bör fokusera forskning och utveckling på att hitta andra sätt att ta hand om låg- och mycket lågaktivt avfall – kanske tillsammans med andra företag inom återvinnings- och avfallsbranschen inom och utom landet.

Avslutningsvis betonar kommunen vikten av att statsmakten utövar ett tydligt tryck på kärnkraftsindustrin och dess vilja att på alla anläggningar bygga upp så kallade tillfälliga lager. Kommunen har besökt ett antal kärnkraftverk i Europa där dessa ”tillfälliga” mellanlager har blivit permanenta. Kommunen konstaterar att brist på politisk vilja och kraft samt avsaknad av finansiering gör att dessa nu står kvar som öppnar sår – upplysta, övervakade och kostnadsdrivande under oöverskådlig tid framåt. Kommunen uppmanar att lära av misstagen som andra kärnkraftsnationer har gjort.

### ***SSM:s bedömning***

SSM bedömer att SKB:s redovisning på ett korrekt sätt återger kravbilderna avseende godkännande, anmälningar och redovisningar i samband med avveckling av kärntekniska anläggningar enligt 9 kap. SSMFS 2008:1 och Europeiska Kommissionens förordning 302/2005. SSM påminner om att de s.k. miljötillstånd krävs enligt 22 kap. 1 § Miljöprövningsförordning (2013:251), inte enligt miljöbalken.

I SKB:s redovisning saknas hänvisningar till tillståndsvillkor för avveckling av kärnkraftsreaktorer (SSM2016-5866-26) som SSM beslutade för reaktorerna Barsebäck 1 och 2, Oskarshamn 1, Oskarshamn 2, Ringhals 1, Ringhals 2 och Ågesta den 15 november 2018 i sin nuvarande form efter det att bl.a. SSMFS 2018:1 hade trätt ikraft den 1 juni 2018. De ursprungliga tillståndsvillkoren beslutades den 29 juni 2017. Dessa tillståndsvillkor kompletterar och konkretiserar bl.a. kraven i 9 kap. SSMFS 2008:1 avseende den omarbetade säkerhetsredovisningen, den kompletterade avvecklingsplanen och delmomentsredovisningarna.

## 11.1.2 Ansvar och arbetsfördelning

### ***SKB:s redovisning***

I avsnitt 15.2 redovisas vilka tillståndshavare som är ansvariga för avvecklingen av de olika kärntekniska anläggningar som ingår i programmet för omhändertagande av kärnavfall och kärnämne från de svenska kärnkraftverken. I avsnitt 15.2.1 redovisas arbetsfördelningen mellan tillståndshavarna och SKB. Däri anges att SKB har i uppdrag att samordna de generella metoder och rutiner för transport och slutförvaring av radioaktivt avfall som behövs för avvecklingsarbete, t.ex. vid behov utveckla nya avfallsbehållare för rivningsavfallet eller att ta fram gemensamma riktlinjer. Uppgiftsfördelningen mellan tillståndshavarna och SKB beskrivs, exempelvis avseende framtagning av typbeskrivningsspecifikationer och typbeskrivningar samt rivningsinventarier.

I figur 15-3 sammanställs principer för avbördningsvägar av kärnavfall under nedmontering och rivning, d.v.s. friklassningsbart material, mycket lågaktivt, lågaktivt och medelaktivt avfall. I figur 15-2 sammanställs de prognostiserade mängder rivningsavfall i ton från de svenska kärnkraftverken per avbördningsväg. Figuren kvantifierar i synnerhet också mängden så kallat nollklassningsbart, d.v.s. konventionellt, material.

Av redovisningen framgår att kostnadsuppskattningar för omhändertagande av kärnavfall och det använda kärnbränsle samt kärnkraftsreaktorernas avveckling tas fram av kärnkraftsföretagen och översänds till SKB, som sammanställer dessa och tar var tredje år fram en övergripande kostnadsuppskattning samt osäkerhetsanalys.

Vidare framgår av redovisningen att SKB ansvarar för transport av använt kärnbränsle och kärnavfall från kärnkraftverken till externa mellanlager och slutförvar. Transportsystemet består av fartyget m/s Sigrid, specialfordon och olika typer av transportbehållare. Kärnavfall kan också, i de fall detta anses motiverat exempelvis avseende stora komponenter, transporteras utanför SKB:s system.

Sydkraft Nuclear Power AB sammanfattar avvecklingen av OKG Aktiebolags och Barsebäck Kraft AB:s anläggningar, i första hand Barsebäck 1, Barsebäck 2, Oskarshamn 1 och Oskarshamn 2, i en nukleär avvecklingsportfölj. Detta arbete koordineras sedan 2017 inom ramen för Project Performance Center (PPC) som har till uppgift att identifiera eventuella synergier för en optimerad avveckling av anläggningarna. Vidare ska PPC följa upp genomförandet av avvecklingsprogrammen. Styrgruppen för PPC består av representanter från Sydkraft Nuclear Power, OKG och BKAB. PPC rapporterar både till Sydkraft Nuclear Power och till Unipers centrala funktion för projektstyrning. Arbetsfördelningen finns beskriven i respektive tillståndshavares avvecklingsplaner.

Avseende arbetsfördelningen inom Vattenfall AB redovisas att det tillsattes en linjefunktion med uppgift och ansvar att koordinera, samordna och driva avvecklingsfrågor, i synnerhet avseende inom Vattenfallkoncernen, affärsenheten Business Unit Nuclear Decommissioning (BUND). Därigenom skulle koncernens avvecklingsverksamhet separeras från dess kraftproduktion. Bland annat skulle en överföring av befintliga kärntekniska tillstånd för Ringhals 1 och 2 ske till Vattenfall AB.

### ***Remissinstansernas synpunkter***

*Oskarshamns kommun* konstaterar att vid rivningen av kärnkraftverken O1 och O2 behövs ytterligare mellanlagringskapacitet för långlivat avfall i väntan på att SFL står färdigt.

Kommunen noterar att Fud-program 2019 beskriver planeringen inför avvecklingen av kärnkraftverken utifrån reaktorägarnas planerade drifttid av reaktorerna. Kommunen konstaterar att nedmontering och rivning av sju reaktorer kommer att påbörjas i närtid. Kommunen konstaterar vidare att övriga reaktorer ska drivas i 60 år vilket innebär att de yngsta reaktorerna kommer att avvecklas i mitten av 2040-talet.

Eftersom SFR och SFL inte är färdigställda vid avvecklingen av O1 och O2 vill kommunen understryka att SKB:s material- och avfallshantering behöver optimeras ur ett helhetsperspektiv. Kommunen anser att faktorer som geologiska slutförvar, lokal friklassning, extern behandling och lokala markförvar vägs mot varandra. Kommunen menar vidare att det krävs en samlad bedömning av faktorer som kostnad, risk och miljö.

Kommunen konstaterar att avfall som ska slutförvaras i det utbyggda SFR eller SFL kommer att mellanlagras på plats vid kärnkraftverken, tills slutförvaren är i tagna i drift. Kommunen konstaterar vidare att stora mängder avfall således kommer att behöva hanteras vid Oskarshamnsverket i Simpevarp innan SFR och SFL är färdigställda, vilket innebär att det krävs utökning av det befintliga mellanlagret, LLA och det befintliga lokala markförvaret MLA. Kommunen noterar att dessa anläggningar ska ta emot rivningsavfall från O1 och O2, avfall från rivningen av Barsebäcksverket, där något markförvar inte planeras, samt avfall från den återstående driften av Oskarshamn 3 fram till 2045.

Kommunen anser att Fud-program 2022 bör innehålla en plan för hur det avfall som inte är radioaktivt ska tas omhand i samband med rivningen av reaktorbyggnaderna. Detta bör planeras utifrån ett resurshushållnings- och hållbarhetsperspektiv.

*Lokala säkerhetsnämnden vid Oskarshamns kärnkraftverk* konstaterar att tidigare har mellanlagring av långlivat avfall planerats ske i det utbyggda SFR och SFL, men att SKB nu planerar mellanlagringen antingen på reaktorinnehavarnas kraftverksområden eller på annan plats. Säkerhetsnämnden noterar att delarna från reaktortankarna kommer att segmenteras. Säkerhetsnämnden anser därför att dessa frågor behöver belysas på ett mer utförligt sätt för respektive kraftverksområde eller för den alternativa plats som förordas.

Säkerhetsnämnden konstaterar att markförvar för driftavfall vid de kärntekniska anläggningarna utgör en viktig del av dagens system för deponering av avfall, men där strålskyddsaspekter inte heller motiverar deponering i ett geologiskt förvar. Säkerhetsnämnden konstaterar att det i dag råder en otydlighet kring markförvarens sluttillstånd, vilket gör att SKB:s planerade utvecklingsarbete för att utreda juridiska frågeställningar och vilka regelverk som ska tillämpas får anses som angeläget – i synnerhet som mängden driftavfall som deponeras i markförvar enligt SKB sannolikt kommer att öka vid förlängda drifttider i likhet med det långlivade avfallet i form av styrestavar och övriga hårdkomponenter.

Säkerhetsnämnden konstaterar också att SKB:s planerade genomförande av ett flertal parallella avvecklingsprojekt ställer stora krav på samordning av resurser både hos SKB och hos övriga berörda aktörer.

Eftersom SFR och SFL inte är färdigställda vid avvecklingen av O1 och O2 noterar säkerhetsnämnden att SKB:s material- och avfallshantering behöver optimeras ur ett helhetsperspektiv där geologiska slutförvar, lokal friklassning, extern behandling och lokala markförvar vägs mot varandra och en samlad bedömning krävs av faktorer som kostnad, risk, miljö. Säkerhetsnämnden konstaterar att avfall som ska slutförvaras i det

utbyggda SFR eller SFL kommer att mellanlagras på plats vid kärnkraftverken tills slutförvaren är i drift och tillgängliga. Säkerhetsnämnden konstaterar att stora mängder drift- och rivningsavfall således kommer att behöva hanteras vid Oskarshamnverket i Simpevarp innan SFR och SFL är färdigställda, vilket innebär att det krävs utökning av det befintliga mellanlagret LLA (lagringsbyggnad för lågaktivt avfall), befintligt lokalt markförvar MLA (markförvar för slutförvaring av mycket lågaktivt avfall) för rivningsavfall från O1 och O2 och avfall från rivningen av Barsebäcksverket där något markförvar inte planeras samt för avfall från den återstående driften av Oskarshamn 3 till 2045. Säkerhetsnämnden konstaterar vidare att mellanlagring av medelaktivt avfall som ska transporteras till SFR och långlivat avfall som ska till SFL behöver inrymmas i det befintliga mellanlagret BFA (bergrum för mellanlagring av låg- och medelaktivt avfall).

### ***SSM:s bedömning***

SSM anser att avsnitt 15.2 ger en övergripande bild av ansvarsfördelningen mellan tillståndshavarna och SKB avseende ansvar och arbetsfördelning inom avveckling av kärnkraftsreaktorer.

SSM ser positivt på att principer för avbördningsvägar för rivningsavfall presenteras och att de totala avfallsmängderna i de olika avfallskategorier, inkl. nollklassningsbart avfall, från nedmontering och rivning av de svenska kärnkraftverken kvantifieras. I kommande Fud-redovisningar kunde dessa uppgifter kompletteras med de förväntade avfallsmängderna till SKB:s anläggningar.

De övergripande beskrivningarna av ansvarsfördelningen för kostnadsuppskattningar är korrekt återgiven, likaså SKB:s ansvar för transport av kärnavfall och kärnbränsle.

SSM konstaterar att de i redovisningen nämnda omorganisationer inom BKAB och OKG verkställdes i december respektive oktober 2019.

Vidare konstaterar SSM att Vattenfall AB återtog i slutet av november 2019 ansökan om att få kärntekniska tillstånd för Ringhals 1 och 2 för att nedmontera och riva anläggningarna. Därmed är redovisningen delvist inaktuell avseende arbetsfördelningen inom Vattenfall.

SSM saknar även en beskrivning på vilket sätt nedmontering och rivning av Ågestaverket omfattas av arbetsfördelningen inom Vattenfall.

## **11.1.3 Nationell och internationell samordning**

### ***SKB:s redovisning***

I avsnitt 15.3 anges att i samband med tidigare stängning av Oskarshamn 1 och 2 samt Ringhals 1 och 2 har ett utökat behov av samarbete och samordning uppstått inom avvecklingsplanering, i synnerhet inom respektive ägarbolag, men även mellan tillståndshavarna och SKB. Ur en nationell synvinkel anses det behövas en samordning av avvecklingsfrågorna för att kunna säkerställa att hela kedjan från avvecklingsplanering till slutförvaring av avfallet sker på ett optimalt sätt. Det finns olika stödjande nationella fora som exempelvis SKB:s Fud- och plangrupp samt ett forum för linjechefer från tillståndshavarna som SKB sammankallar.

Vidare anges i redovisningen att SKB och de övriga tillståndshavare deltar i ett antal internationella fora inom området avveckling, som exempelvis OECD/NEA:s Committee on Decommissioning of Nuclear Installations and Legacy Management (CDLM) och IAEA:s International Decommissioning Network (IDN).

Samordning och strategisk planering av nedmontering och rivning inom Sydkraft Nuclear Power AB:s tillgångar sker genom PPC. Det praktiska arbetet sker i första hand inom ett antal arbetsgrupper med representanter från OKG och BKAB.

Inom Vattenfall finns flera fora för att samordna avfalls- och avvecklingsfrågorna inom koncernen: avvecklingsrådet (beslut om inriktning och angreppssätt för avvecklingen av Ringhals 1 och 2), strategiskt forum för avfallshantering och avveckling, Strata, samt samverkansområde Avfall, SO Avfall, (friklassning, avfallsdokumentation och generellt erfarenhetsutbyte).

Vidare anges att avvecklingskompetens och erfarenheter som erhållits inom Vattenfall-koncernen vid avvecklingen av materialforskningsreaktorerna R2\_0 och R2 i Studsvik ska samordnas och överföras till avvecklingen av Ågesta och Ringhals 1 och 2. Det pågår insatser på att utbyta erfarenheter och utnyttja samordningsfördelar, exempelvis inom upphandlingsområdet, mellan Vattenfalls avvecklingsverksamheter i Tyskland (kkv Krümmel och Brunsbüttel) och den i Sverige.

#### ***SSM:s bedömning***

SSM anser att avsnitt 15.3 ger en övergripande bild av främst samordning inom avvecklingsområde på nationell nivå och i synnerhet inom respektive ägarkoncern.

Vidare nämns de internationella samarbeten inom IAEA och OECD/NEA där SKB och/eller tillståndshavarna deltar.

### **11.1.4 Resurser och kompetens**

#### ***SKB:s redovisning***

I avsnitt 15.4 redovisas på ett övergripande sätt när kompetenser behövs för nedmontering och rivning av de kärntekniska anläggningar, d.v.s. under 2020-, 2040- och 2070-talet, se de aktuella tidplanerna för avvecklingen i kapitel 16 – 18. Att säkerställa tillgång till kompetens för alla tre avvecklingsetapperna anges vara en strategisk viktig fråga på både kort och lång sikt inom bolagen eftersom behovet av avvecklingskompetens mellan etapperna kommer vara begränsat i Sverige. För att säkra denna kompetens inom landet kommer ett samarbete med universitet och högskolor vara en del i den långsiktiga kompetensförsörjningen, samt att fortsätta uppmuntra samarbete inom branschen för att både behålla och attrahera ny personal inom dessa områden.

Avseende de nedmonterings- och rivningsprojekt av de äldsta kommersiella reaktorerna som planeras genomföras i närtid anges det att det pågår en strukturerad kompetensuppbyggnad och erfarenhetsåterföring. Kompetensen byggs upp organiskt, bl.a. genom att nyttja den avvecklingskompetens och de erfarenheter som erhållits vid avvecklingen av de tidigare forskningsreaktorerna. Relevanta erfarenheter och lösningar för en säker och effektiv avveckling kan även tillvaratas genom löpande utbyte inom och mellan bolagens tyska respektive svenska verksamheter. Slutligen anges att relevant kompetens inhämtas

och byggs upp genom kontakter och samverkan med internationella leverantörer av avvecklingstjänster. Vidare nämns KSU:s kursverksamhet inom backend-området, d.v.s. avfallshantering och avveckling.

Det nämns ett antal åtgärder för att bevara kompetens och erfarenheter från den första avvecklingsetappen till de kommande etapperna: nogsam och strukturerad dokumentation av praktiska erfarenheter; beskrivning hur organisation och styrning lämpligen bör utformas beroende på arbetsuppgiften; dokumentation av hur en anläggning i drift bäst kan förberedas inför nedmontering och rivning; samt dokumentation av erfarenheter från de olika avvecklingskoncepten.

Slutligen nämns betydelsen av att på lång sikt säkerställa anläggningskännedom och formell kompetens inom till exempel strålskydd vilket avses att ske genom branschgemensamt samarbete samt samverkan med utbildningsväsendet. Som exempel nämns samarbetet inom Svenskt Kärntekniskt Centrum och kompetensförsörjningsforum BWR Future.<sup>7</sup>

Vidare noteras att internationellt kommer avvecklingsverksamhet pågå i stor skala och under lång tid varför det betraktas som högt sannolikt att relevant kompetens kommer att finnas tillgänglig internationellt under hela den svenska avvecklingsperioden.

#### ***Remissinstansernas synpunkter***

*Stockholms universitet* anser att beskrivningen av de planerade aktiviteterna inom avveckling är övertygande och konstaterar att inga uppenbarliga brister kunde upptäckas.

Det som dock saknas enligt universitetet är en beskrivning av vilka planer som finns för att säkerställa den nödvändiga kompetensen inom landet. Universitetet noterar att i kapitel 15.4 står att samarbete med universitet och högskolor är en viktig del i den långsiktiga kompetensförsörjningen. Universitetet konstaterar att enbart ett exempel på ett branschgemensamt samarbete med universitet är nämnt, samarbetet med Svenskt Kärntekniskt Centrum, SKC.

Universitetet anser att SKB behöver förtydliga vilka planer som finns för att säkerställa den nödvändiga kompetensen inom landet. Universitetet anser även att SKB behöver förtydliga om det befintliga samarbetet med SKC är tillräckligt eller om det finns planer på att utöka samarbetet.

*Lokala säkerhetsnämnden vid Oskarshamns kärnkraftverk* vill betona vikten av långsiktig kompetensförsörjning på strålsäkerhetsområdet. Säkerhetsnämnden konstaterar att detta särskilt har belysts av SSM i samband med regeringsuppdraget om långsiktig kompetensförsörjning 2017/18, som nu bereds av regeringskansliet. Säkerhetsnämnden konstaterar

---

<sup>7</sup> Den 17 oktober 2019 meddelades via ett pressmeddelande att Uniper, Vattenfall, Fortum och TVO startade ett gemensamt nordiskt trainee-program.

att detta för övrigt är ett arbete som nämnden indirekt har varit delaktig i genom Kärnkraftkommunernas Samarbetsorgan. Säkerhetsnämnden konstaterar att SSM pekar på att det för avveckling och drift av slutförvaret väntas en ökad efterfrågan på kompetenser inom mätteknik, dosimetri och strålskydd och för uppförandet av slutförvaret förutspås ett ökat behov av kompetens inom kärnkemi. En lösning på kompetensproblemet är också internationellt samarbete samt att det fortsatt bedrivs forskning och utbildning inom berörda områden.

Säkerhetsnämnden noterar att den förestående avvecklingsperioden kräver ökad tillgång på kompetenser som behövs för avveckling, såsom avfallshantering, mätteknik och strålskydd. Säkerhetsnämnden konstaterar att bristerna i tillgång på personal kommer att innebära ökade kostnader för rekrytering och bristande kapacitet.

### ***SSM:s bedömning***

SSM anser att de grundläggande utmaningarna i samband med att bygga upp och säkerställa kompetens inom avveckling av kärntekniska anläggningar i Sverige redovisas i avsnitt 15.4 på ett tillfredsställande sätt. Likaså ett antal av de av tillståndshavarna och SKB vidtagna åtgärder för att säkra denna kompetens.

SSM anser att redovisningen kunde vara mer specifik rörande vilka kompetenser inom avvecklingsområdet som avses. I synnerhet då det anges att praktiska erfarenheter och kompetenser finns och förväntas att finnas framöver på den internationella marknaden. Vidare kunde det ha problematiserats hur det ökande antal avvecklingsprojekt i Europa kunde leda till en konkurrenssituation för köpare av avvecklingstjänster och vad det skulle kunna innebära för de planerade avvecklingsprojekten i Sverige.

Slutligen noterar SSM att avsnittet inte innehåller någon explicit information eller resonemang kring resurser trots avsnittets rubrik.

## **11.2 Planering för avveckling inom Sydkraft Nuclear Power AB**

På strategisk nivå planeras avvecklingen inom Sydkraft Nuclear Power AB:s portfölj inom ramen för Project Performance Center (PPC), i syfte att identifiera och ta tillvara synergier mellan avvecklingsprogrammen på OKG och BKAB. Konceptet på portföljnivå är en så kallad rivningssekvens där en kritisk linje ligger sekventiellt (efter varandra) mellan Barsebäck 1 och 2 samt Oskarshamn 1 och 2. Därmed avses att upplärningseffekter kan maximeras i både planering och genomförande.

### **11.2.1 Barsebäcks Kraft AB:s planering för avveckling**

#### ***SKB:s redovisning***

I avsnitt 16.1 redovisas den aktuella anläggningsstatusen för Barsebäck 1 och 2 samt i figur 16-2 den övergripande tidsplanen för deras avveckling.

Den planerade nedmontering och rivning av Barsebäck 1 och 2 bygger på att använda beprövad teknik och beprövade metoder. BKAB har identifierat tekniska, säkerhetsmässiga och organisatoriska beroenden för att därefter fastställer en sekvens för delmomenten. Utifrån den sekvensen genomförs successivt detaljplanering och

upphandling för respektive delmoment så att tekniska och säkerhetsmässiga risker minimeras. Under nedmontering och rivning agerar BKAB som en beställarorganisation där tidiga dialoger förs med leverantörer som också involveras i planeringen för att optimera genomförandet av delmomenten.

BKAB har redundans i hanteringslinjerna för rivningsavfallet för att minska risken för störningar i avfallslogistiken. För det lågaktiva radioaktiva avfallet som uppkommer innan utbyggt SFR är i drift planeras att uppföras ett nytt mellanlager på Barsebäcksverket. För det långlivade radioaktiva avfallet, d.v.s. de segmenterade interndelar som mellanlagras i befintligt lager i väntan på SFL undersöks alternativ med extern mellanlagring. Eftersom det befintliga mellanlagret i dagsläge utnyttjas till cirka 50 procent så planeras att däri även mellanlagra avfallskollin från de segmenterade reaktortankarna. BKAB avser inte att etablera något markförvar på förläggingsplatsen. Möjligheten att använda OKG:s planerade utbyggda markförvar för mycket lågaktivt rivningsavfall undersöks som ett alternativ till att deponera avfallet i utbyggt SFR.

Dekontaminering och friklassning av byggnader tillhörande Barsebäck 1 och 2 planeras att vara genomfört 2028. Konventionell rivning och iordningställande av mark sker i anslutning till att det radioaktiva avfallet transporteras till SFR.

Det anges i avsnittet att hanteringslinjer för radiologiskt och friklassningsbart avfall är etablerade på Barsebäcksverket samt att avfallslogistiken är dimensionerad efter rivningssekvensen och den radiologiska kartläggningen.

### ***SSM:s bedömning***

Den 16 april 2019 ansökte BKAB om godkännande av den omarbetade säkerhetsredovisningen (NoR-SAR) för Barsebäck 1 och 2. Efter en omfattande granskning av NoR-SAR:en och tillhörande kravställda redovisningar såsom avfallsplanen och avvecklingsplanen godkände SSM säkerhetsredovisningen den 6 december 2019 (SSM2019-3585-11). Uppgifterna i avsnitt 16.1 är överlag samstämmiga med uppgifterna i de redovisningarna som ingick i SSM:s granskning. SSM konstaterar dock att hanteringslinjer för radiologiskt och friklassningsbart avfall i dagsläget inte är etablerade än. Dessutom har BKAB hittills inte inkommit till myndigheten med detaljerade redovisningar om avfallslogistiken. Av den granskade avvecklingsplanen framgick tydligare än av SKB:s föreliggande redovisning att hela förläggingsplatsen kommer att avvecklas i två steg, först det s.k. kraftverksområde och sedan det s.k. hamnområde där mellanlagren finns respektive ytterligare ett mellanlager för lågaktivt avfall planeras. Det andra steget förutsätter att avfallet kan transporteras till slutförvar respektive ett externt mellanlager.

SSM noterar att SKB:s redovisning är tillräckligt tydlig avseende mellanlagring av kärnavfallet från nedmontering och rivning av Barsebäcksverket.

Vidare noterar SSM att SKB:s redovisning på en principiell nivå innehåller uppgifter om organisatoriska aspekter som är av betydelse för att genomföra nedmontering och rivning av Barsebäcksverket. Den totala mängden rivningsavfall och den förväntade andelen radioaktivt avfall kvantifieras. SSM saknar dock uppgifter om hur mängden radioaktivt rivningsavfall är fördelad mellan de olika avfallskategorierna.

## 11.2.2 OKG Aktiebolags planering för avveckling

I avsnitt 16.2 redovisas övergripande avvecklingsplaneringen för OKG Aktiebolags anläggningar, Oskarshamn 1–3 och de gemensamma anläggningarna (block 0). Figur 16-4 ger en principiell översikt av OKG:s tidsplan för avvecklingen.

### ***SKB:s redovisning***

Oskarshamn 1 och 2 blev slutligen avställda 2017 respektive 2016, allt kärnbränsle har avlägsnats, reaktorerna interndelar har segmenterats och reaktorerna befinner sig i skedet nedmontering och rivning. Vidare har ett antal förberedande åtgärder genomförts, som exempelvis radiologisk kartläggning av anläggningarna och indelning av anläggningarnas byggnadsdelar och material i olika spår för material- och avfallshantering.

De större material- och avfallsmängderna under nedmontering och rivning kräver en väl fungerande material- och avfallslogistik. Avfallslogistiken planeras att byggas upp successivt. Eftersom utbyggt SFR och SFL inte är tillgängliga vid nedmontering och rivning av Oskarshamn 1 och 2, inklusive avfallsbyggnaden (0AVF), eftersträvas redundans i avbördningsvägar där så är möjligt för att kunna optimera material- och avfallshantering. Avfallet som planeras att slutförvaras i dessa planerade anläggningar kommer att mellanlagras på Oskarshamnsverket, lågaktivt avfall i utbyggt mellanlager för lågaktivt avfall (LLA) och mellanaktivt avfall i befintlig BFA. Det befintliga lokala markförvaret MLA för mycket lågaktivt avfall från driften planeras utökas för att kunna ta emot denna avfallskategori från nedmontering och rivning av Oskarshamn 1 och 2, inklusive 0AVF, samt driftavfall från Oskarshamn 3. Dessutom planeras att det utbyggda markförvaret också kan nyttjas för avfall från nedmontering och rivning av Barsebäcksverket.

Uppskattade avfallsmängder från nedmontering och rivning av Oskarshamn 1 och 2, inklusive 0AVF, redovisas den aktuella avvecklingsplanen. Dessa uppgifter kommer att kompletteras och konkretiseras i kommande delmomentsredovisningar. Sammanlagt uppskattas avfalls- och materialmängden till omkring 300 000 ton, varav omkring 5–10 procent bedöms vara radioaktivt material och avfall. Dekontaminering och friklassning av byggnader tillhörande planeras vara genomförd 2028.

Under nedmontering och rivning av Oskarshamn 1 och 2, inklusive 0AVF, avser OKG att utgöra en beställarorganisation och delmomenten genomförs av leverantörer som involveras tidigt i planeringen. Tekniska, säkerhetsmässiga och organisatoriska beroenden har identifierats och en sekvens för genomförandet av de olika delmomenten har fastställts. Dessa kommer att anmälas till Strålsäkerhetsmyndigheten under genomförandet av nedmontering och rivning av reaktorerna, inklusive den gemensamma avfallsanläggningen, 0AVF.

Avvecklingsplaneringen för Oskarshamn 3 och Block 0 anläggningarna kommer att pågå under deras drifttid enligt OKG:s ordinarie rutiner, där erfarenheter från avvecklingen av Oskarshamn 1 och 2 samt 0AVF tas tillvara. Oskarshamn 3 planeras att drivas till 2045 varefter dess nedmontering och rivning planeras att påbörjas parallellt med att det använda kärnbränslet transporteras bort från anläggningen. Den totala mängden material och avfall från nedmontering och rivning av Oskarshamn 3 och de gemensamma anläggningarna uppskattas till omkring 400 000 ton, varav omkring 5–10 procent bedöms vara radioaktivt material och avfall.

Nedmontering och rivning av de gemensamma anläggningarna planeras i två etapper, där första etappen avser sådana anläggningar som inte krävs för avvecklingen av Oskarshamn 3 medan andra etappen omfattar samtliga återstående block 0 anläggningar.

Den konventionella rivningen av samtliga byggnader och återställning av mark på ett sådant sätt och i sådan omfattning att annan industriell verksamhet kan etableras planeras för 2050–2055.

### ***Remissinstansernas synpunkter***

Länsstyrelsen Kalmar län noterar att mycket lågaktivt avfall deponeras i MLA<sup>8</sup> vid verksamheterna där de uppkommer. Enligt länsstyrelsen kräver nuvarande regler att området står under institutionell kontroll i cirka 30 år efter att det sista avfallet deponerats. Länsstyrelsen anser det viktigt att utredningar/diskussion innefattar olika scenarier/lösningar och man bör också se på möjligheterna att i senare skede återta och ytterligare minska volymerna om strålningen har avklingat, om avfallet kan friklassas.

Länsstyrelsen anser att när verksamheten avvecklats på platsen under 2070-talet kan det kanske vara möjligt/lämpligt att även ta bort deponierna. Länsstyrelsen frågar: Kommer SSM kvarstå som tillsynsmyndighet eller blir då länsstyrelsen eller kommunen tillsynsansvarig för deponierna? Vilka är förutsättningarna för att helt avveckla, ta bort deponierna, och återställa marken till ursprungligt skick? Kan detta innefattas i kommande prövningar?

Länsstyrelsen anser att förutsättningar efter det att mark- och byggnader friklassats behöver diskuteras. Länsstyrelsen konstaterar att dessa områden då ligger utanför SSM tillsynsansvar. Återställning av marken, rivning av industribyggnader som återstår hanteras då enligt länsstyrelsen av kommunen utifrån PBL– bestämmelser. Länsstyrelsen frågar: Det förutsätts att marken återställs till industrimark, men om detta inte görs vad innebär då det? Länsstyrelsen anser att SKB tillsammans med respektive huvudman bör utreda vilka kostnader det kan vara för att återställa marken så att den är möjlig att använda för annat ändamål. Länsstyrelsen anser vidare att det också bör diskuteras om det är möjligt att verksamhetsutövarna kan ställa en säkerhet motsvarande aktuell kostnad. Länsstyrelsen konstaterar att en del av rivningsarbetet avseende Oskarshamnsverket inte kommer att ske förrän rivning av Oskarshamn 3 är aktuell vilket ligger relativt långt fram i tiden.

Länsstyrelsen konstaterar att avseende avvecklingsarbete och rivning kommer arbetet att, som planerna ser ut nu, vara mer intensivt under tre tidperioder, den pågående perioden, en på 2040-talet och sedan på 2070-talet. Avseende kunskapsförsörjning så tycker länsstyrelsen att SKB har redovisat att man har sätt att hantera detta med olika aktiviteter och samarbeten, samordnat mellan forskning och utbildning och mellan olika aktörer. Länsstyrelsen noterar att SKB också skriver att det finns olika rutiner för kvalitetssäkring av

---

<sup>8</sup> Markförvar för mycket lågaktivt avfall vid Oskarshamns kärnkraftverk (SSM:s förtydligande)

säkerhetsanalyser och även extern granskning av forskningsresultaten, vilket i sig också ger en bredare kunskapsbas inom området.

### ***SSM:s bedömning***

Den 29 juni 2018 respektive den 25 oktober 2018 ansökte OKG om godkännande av den omarbetade säkerhetsredovisningen (NoR-SAR) för Oskarshamn 1, inklusive avfallsbyggnaden 0AVF, respektive Oskarshamn 2. Efter en omfattande granskning av NoR-SAR:erna och tillhörande kravställda redovisningar såsom avfallsplanen och avvecklingsplanen godkände SSM säkerhetsredovisningarna den 20 december 2018 (SSM2018-3310-14) respektive den 26 april 2019 (SSM2018-5325-13). Uppgifterna i avsnitt 16.2 om nedmontering och rivning av Oskarshamns 1 och 2, inklusive 0AVF, är överlag samstämmig med uppgifterna i de redovisningarna som ingick i SSM:s granskningar. Uppgifterna om nedmontering och rivning av Oskarshamn 3 och de återstående block 0 anläggningarna stämmer överens med gällande avvecklingsplan för dessa anläggningar som SSM inte har granskat i detalj.

SSM noterar att SKB:s redovisning är tillräckligt tydligt avseende mellanlagring av kärnavfallet från nedmontering och rivning av i första hand Oskarshamn 1 och 2 och avfallsbygganden 0AVF.

Vidare noterar SSM att SKB:s redovisning på en principiell nivå innehåller uppgifter om organisatoriska aspekter som är av betydelse för att genomföra nedmontering och rivning av Oskarshamnsverket. Den totala mängden rivningsavfall och den förväntade andelen radioaktivt avfall kvantifieras. SSM saknar dock uppgifter om hur mängden radioaktivt rivningsavfall är fördelade mellan de olika avfallskategorierna.

SSM instämmer i de slutsatser som förs fram av Länsstyrelsen i Kalmar län avseende förändringar i tillsynsansvaret efter det att mark och byggnader friklassats, att institutionell kontroll liksom SSM:s tillsynsansvar upphört. SSM bedömer i anslutning till detta att det är lämpligt att frågorna som länsstyrelsen tar upp i första hand är riktad till SKB och de myndighetsfunktioner som utövar tillsyn efter det att SSM:s tillsynsansvar upphört.

## **11.3 Planering för avveckling inom Vattenfall**

I avsnittet redovisas på en övergripande nivå gemensamma aspekter av planeringen för och genomförande av avvecklingen av Ågestareaktorn samt reaktorerna i Ringhals och Forsmark. Exempelvis planeras efter den slutliga avställningen av reaktorerna i Ringhals respektive Forsmark bortförsl av det använda kärnbränslet och parallellt vissa förberedande åtgärder såsom systemavställningar och omhändertagande av driftavfall.

Avvecklingsprogrammets organisation kommer att ha som uppgift att planera och verkställa de olika ingående nedmonterings- och rivningsprojekt där kontrakterade entreprenörer används som huvudsaklig arbetskraft för genomförandet. Tiden för nedmontering och rivning ska optimeras utifrån förutsättningar att avvecklingen påbörjas utan dröjsmål efter respektive anläggnings slutliga avställning med en sammanhållen genomförandefas som planeras att delas upp i ett lämpligt antal delmoment. Övergripande tidsplaner för avvecklingen av Forsmark, Ringhals och Ågesta redovisas i figurer 17-2, 17-4 och 17-6.



Forsmark 1-3:s och Ringhals 1:s reaktortankar planeras att segmenteras och slutförvaras i utbyggt SFR. För Ringhals 2 finns ett inriktningsbeslut om att segmentera reaktortanken och interndelarna, för Ringhals 3 och 4 är sluthanteringens ännu inte beslutad.

Hanteringens inklusive mellanlagring och slutförvaring av avfallet som uppkommer under nedmontering och rivning av Vattenfalls anläggningar ska optimeras ur ett sammanhållet drift- och avvecklingsperspektiv på koncernnivå. Utgångspunkten är att utöka kapacitet för omhändertagande där det bäst lämpar sig ur ett koncernperspektiv. Framdrift av avvecklingen ska till rimlig nivå göras oberoende av avfallsbehandlings-, avfallstransport- och färdiga slutförvaringskapaciteter varför även transportsamordning ska ske på koncernnivå.

Sluttillståndet för avvecklingen är friklassad industritomt där (friklassade) byggnader och infrastruktur som är av nytta för fortsatt verksamhet kan komma att lämnas kvar. Den konventionella byggnadsrivningen sker till cirka en meter under mark och kvarvarande hålrum återfylls med rivningsmassor.

### 11.3.1 Ringhals AB:s planering för avveckling

#### ***SKB:s redovisning***

Reaktorerna i Ringhals planeras att vara i drift fram tills 2020 (Ringhals 1), 2019 (Ringhals 2), 2041 (Ringhals 3) och 2043 (Ringhals 4). Det finns aktuella avvecklingsplaner för Ringhals 1 och 2 respektive Ringhals 3 och 4 som utgår från de ovan nämnda koncerngemensamma principer.

Under 2018 har Ringhals AB erhållit tillstånd enligt miljöbalken för avställnings- och servicedrift av Ringhals 1 och 2, och har därefter även lämnat in ansökan om ändrings-tillstånd där reaktorerna tillåts övergå till skedet nedmontering och rivning.

I samband med avställningsbeslutet för Ringhals 1 och 2 startades två projekt: Sture (Säker och Trygg Utfasning av Reactorer 1 och 2) och Split (fysisk separation av Ringhals 1 och 2 från Ringhals 3 och 4).

Under våren 2019 lämnade Vattenfall AB in en ansökan om överföring av de kärntekniska tillstånden för Ringhals 1 och 2 från Ringhals AB till Vattenfall AB. Eftersom SFR inte kommer vara utbyggt då avfall från nedmontering och rivning av Ringhals 1 och 2 uppkommer behöver det mellanlagras. Det bedöms att mellanlagring kan ske i befintlig infrastruktur på förlägningsplatsen, d.v.s. att inga nya mellanlager planeras. Även avfallet som ska slutförvaras i SFL, d.v.s. segmenterade interndelar från Ringhals 1 samt segmenterade reaktortankar och interndelar från Ringhals 2 – 4, planeras att mellanlagras på förlägningsplatsen till dess SFL är i drift.

#### ***SSM:s bedömning***

Sedan avställningsbeslutet har tagits för Ringhals 1 och 2 har SSM följt RAB:s förberedelser inför avvecklingen av reaktorerna inom ramen för den s.k. förstärkta tillsynen. Uppgifterna i avsnitt 17.1 är överlag samstämmiga med uppgifterna som framkom i SSM:s tillsyn.

SSM noterar att SKB:s redovisning är tillräckligt tydligt avseende mellanlagring-kapaciteter för kärnavfallet från nedmontering och rivning av Ringhals 1 och 2. SSM saknar dock uppgifter om de förväntade mängder rivningsavfall, i synnerhet andelen radioaktivt avfall och dess fördelning mellan de olika avfallskategorierna.

SSM konstaterar att Vattenfall AB återtog i slutet av november 2019 ansökan om att få kärntekniska tillstånd för Ringhals 1 och 2 för att nedmontera och riva anläggningarna. Redovisningen är därmed inaktuell i detta avseende.

### 11.3.2 Forsmark kraftgrupp AB:s planering för avveckling

#### ***SKB:s redovisning***

SKB redovisar att FKA planerar för 60 års drift för sina tre reaktorer, d.v.s. till 2040 (Forsmark 1), 2041 (Forsmark 2) och 2045 (Forsmark 3). Den aktuella avvecklingsplanen för Forsmark 1 – 3 utgår från de ovan nämnda koncerngemensamma principer. Forsmark 1 och 2 förväntas komma att nedmonteras och rivs på ett sätt som maximerar synergievinster och bl.a. minimerar behovet av anläggningsseparation. Direkt i anslutningen till nedmonteringen och rivningen av för Forsmark 1 och 2 planeras Forsmark 3 kunna övergå till avställningsdrift. Därmed förväntas avvecklingen av FKA:s anläggningar pågå utan uppehåll.

I sin planering utgår FKA ifrån att utbyggt SFR är i drift då reaktorerna nedmonteras och rivs. Detta begränsar mellanlagringsbehovet för kortlivat låg- och medelaktivt avfall. Därmed kan mellanlagringen begränsas till det långlivade rivningsavfallet.

#### ***SSM:s bedömning***

FKA redovisade i april 2018 en avvecklingsplan för Forsmark 1 och 2 i samband med den återkommande helhetsbedömningen av reaktorerna. SSM bedömde att avvecklingsplanen uppfyller kraven enligt i 9 kap. 1 § SSMFS 2008:1 samt att vid tidigare granskningar identifierade brister har omhändertagits på ett tillfredsställande sätt (SSM2019-453-2). SSM konstaterar att uppgifterna om avvecklingen av Forsmark 1 och 2 i avsnitt 17.2 är överlag samstämmig med uppgifterna i den aktuella avvecklingsplanen.

Även om avvecklingen av FKA:s tre reaktorer ligger flera decennier i framtiden borde SKB:s redovisning innehålla uppgifter om de förväntade mängder rivningsavfall, i synnerhet andelen radioaktivt avfall och dess fördelning mellan de olika avfallskategorierna.

### 11.3.3 Vattenfalls planering för avveckling av Ågestareaktorn

#### ***SKB:s redovisning***

SKB redovisar att Vattenfall har valt att genomföra avvecklingen av Ågestareaktorn i programform som styrs av Vattenfalls Business Unit Nuclear Decommissioning, BUND. Avvecklingens slutmål är att radioaktivt material avlägsnats så att anläggningen, d.v.s. berggrummet, turbinhallen, mark- och underjordsanläggningar kan friklassas. Det planeras att nödvändiga tillstånd och godkännanden enligt miljöbalken, kärntekniklagen och strålskyddslagen har erhållits under senare delen av 2019.

Efter det att nödvändiga förberedande åtgärder har vidtagits planeras att nedmontering och rivning av Ågestareaktorn delas upp i två delmoment: segmentering av reaktortanken på plats samt nedmontering av övriga kontaminerade system, komponenter och strukturer. Mellanlagring av radioaktivt rivningsavfall planeras i AB SVAFO:s anläggningar i Studsvik. Avfallet planeras att transporteras dit landvägen.

### ***SSM:s bedömning***

Den 28 juni 2019 ansökte Vattenfall AB om godkännande av den omarbetade säkerhetsredovisningen (NoR-SAR) för Ågestareaktorn. Efter en omfattande granskning av NoR-SAR:en och tillhörande kravställda redovisningar såsom avfallsplanen och avvecklingsplanen godkände SSM säkerhetsredovisningarna den 5 december 2019 (SSM2019-6508-31).

SSM anser att SKB:s redovisning av avvecklingen av Ågestareaktorn är mycket övergripande och saknar uppgifter om de förväntade mängder rivningsavfall, i synnerhet andelen radioaktivt avfall och dess fördelning mellan de olika avfallskategorierna.

## **11.4 Planering för avveckling av SKB:s anläggningar**

### ***SKB:s redovisning***

I kapitel 18 sammanfattas övergripande avvecklingsplaneringen för SKB:s anläggningar Clink, SFR och Kärnbränsleförvaret. För SFL planeras att en avvecklingsplan tas fram i samband med F-PSAR. Avvecklingsplaner uppdaterades 2016 (Clab), 2017 (kärnbränsleförvaret) respektive 2018 (SFR). Uppdateringarna genomfördes för att harmonisera med gällande föreskrifter från SSM samt att följa den gemensamma strukturen för en avvecklingsplan. Avvecklingsplanen för Clink kommer att uppdateras i samband med framtagandet av PSAR för anläggningen under Fud-perioden.

Avvecklingen av SKB:s anläggningar planeras att kunna påbörjas i mitten av 2050-talet (SFL), omkring 2065 (Clink) respektive i slutet av 2060-talet (SFR).

Slutmålet för avvecklingen av SKB:s anläggningar är att kunna friklassa byggnader och mark. För slutförvarsanläggningarna SFR, SFL och Kärnbränsleförvaret avser detta anläggningsdelarna ovan mark.

SKB anger i sin redovisning att avvecklingen av Clink inte skulle bli mer komplicerad än för övriga kärntekniska anläggningar vars avveckling ligger närmare i tiden. Rivningsavfallet från nedmontering och rivning av Clink planeras att skickas till SFR för slutförvaring.

SFR:s anläggningsdelar som ligger ovanför marknivå betraktas som konventionella då de inte innehåller något radioaktivt material. Detta ska styrkas genom en radiologisk kartläggning, i synnerhet av sådana byggnadsdelar som varit i kontakt med avfallsbehållare under drift, exempelvis terminalbyggnaden.

SKB redovisar att avvecklingen av kärnbränsleförvaret innebär förslutning av återstående delar av undermarksdelen och rivning av ovanmarksdelen. När avvecklingen startar kommer det inte att finnas någon kontamination i anläggningens ovanmarksdel som därför kan rivas konventionellt.

### ***SSM:s bedömning***

SSM har hittills inte granskat de uppdaterade avvecklingsplanerna för SKB:s anläggningar. SSM anser att SKB:s redovisning för de hittills inte uppförda anläggningarna är tillräckligt. Däremot kunde redovisningen vara mer detaljerad för Clab. SSM saknar i synnerhet uppgifter om de förväntade mängder rivningsavfall från Clab, andelen radioaktivt avfall och dess fördelning mellan de olika avfallskategorierna.

SSM noterar att SKB betraktar förslutningen av kärnbränsleförvaret som en del av dess avveckling. Samma resonemang förs dock inte för SFR. Vidare antar SKB att samtliga delar av kärnbränsleförvaret kommer vara fria från radioaktiva föroreningar när de ska avvecklas. Så som i SFR:s fall behöver detta dock styrkas genom radiologiska undersökningar.

## **11.5 Fortsatta aktiviteter inom avveckling**

### **11.5.1 Industrigemensamt utvecklingsarbete**

#### ***SKB:s redovisning***

SKB redovisar att det industrigemensamma utvecklingsarbetet rörande avveckling av kärntechniska anläggningar bedrivs i stor utsträckning av SKB gemensamt med kärnkraftsföretagen. I kapitlet redovisar SKB översiktligt tio olika utvecklingsområden respektive hänvisas till andra avsnitt i Fud-programmet.

#### **1. Långlivat avfall**

Under den gångna Fud-perioden har utretts om SFL-avfallet kunde mellanlagras i utbyggt SFR. Slutsatsen är att mellanlagring inte ska ske i utbyggt SFR utan måste ske lokalt på kärnkraftverkens förläggningsplats alternativt externt. Frågan är synnerligen relevant för BKAB då möjligheten att kunna friklassa hela förläggningsplatsen begränsas av behovet att mellanlagra SFL-avfallet om det inte kan ske externt.

Under den gångna Fud-perioden har interndelar i Barsebäck 1 och 2 samt Oskarshamn 1 och 2 segmenterats. BKAB och OKG har för detta långlivade SFL-avfall tagit fram typbeskrivningsspecifikationer (TBS) för avfallstyperna B.100 och O.100. Ställningstagande från SKB har erhållits som medger att avfallskollin kan tillverkas under förutsättning att avfallet inte slutkonditioneras. Även för kommande avvecklingsprojekt ger den pågående planeringen av SFL viktiga förutsättningar.

#### **2. Hantering av BWR-reaktortankar och stora komponenter**

SKB redovisar att Vattenfall och Uniper fattade 2017 beslut om att inte deponera hela BWR-reaktortankar i SFR utan att dessa ska segmenteras innan deponering. Under Fud-perioden har en optimerad hanteringskedja från segmenteringen till slutdeponering i SFR utarbetats. Möjliga avfallsbehållare har identifierats för bergsalen för reaktortankar (BRT) i utbyggt SFR.



### 3. Utveckling av betongkonstruktioner och material till SFL

SKB anger att en utredning har genomförts under den gångna Fud-perioden rörande val av material och metod för grundläggning av betongkonstruktion och återfyllnad av bergssalen för hårdkomponenter i SFL med betong. På grund av de långa tidsperioder som återstår till uppförande av SFL ser SKB i dagsläget inget behov av ett särskilt experimentellt utvecklingsprogram för dessa frågor.

### 4. Mycket lågaktivt avfall

SKB anger att avfallsproducenterna genomfört flera utvecklings- och förbättringsarbeten kopplade till mycket lågaktivt avfall dels för att bättre följa avfallshierarkin genom ett ökat fokus på förebyggande åtgärder, återanvändning och återvinning, dels för att förbättra långsiktig säkerhet. De insatser som krävs för att optimera förutsättningarna för att kunna utveckla hanteringen av mycket lågaktivt avfall beskrivs i det tidigare avsnitt 3.2.

### 5. Avfallsbehållare och avfallstransportbehållare

SKB anger att ATB 1T, som planeras att certifieras och driftsättas till 2020, kommer att användas för transport av ståltankar med segmenterade interndelar är under utveckling i samarbete med det amerikanska företaget Holtec. Dessutom avses att påbörjas ett arbete med att identifiera huruvida SKB:s transportsystem behöver kompletteras med ytterligare avfallstransportbehållare under Fud-perioden.

### 6. Icke-reguljära bränslen

SKB anger i avsnitt 19.1.6 att en förutsättning för att kunna påbörja nedmontering och rivning är att anläggningen är fri från bestrålat kärnbränsle, d.v.s. även från skadade, bestrålade bränslestavar. Under den gångna Fud-perioden har därför projekt *Skadat bränsle* pågått. Bland annat har allt skadat, bestrålat kärnbränsle från Oskarshamn 1 och 2 omhändertagits, genom transport till och behandling hos Studsvik. En delmängd har hittills kapslats in i speciella behållare, s.k. transportboxar, och transporterats till Clab för mellanlagring.

Det skadade, bestrålade kärnbränslet från Ringhals 2 – 4 har placerats i specialutformade behållare, s.k. Quivers. Ringhals 2 är därmed tömd på skadat bränsle. Ringhals 1 tömdes redan på skadat bränsle under ett pilotprojekt innan projekt *Skadat bränsle* startades.

Vidare har under den gångna Fud-perioden ett antal skadade bränslestavar omhändertagits från Forsmark 1 och 2 med hjälp av Quivers.

Under den kommande Fud-perioden kommer projektet *Skadat bränsle* att fullföljas. Detta omfattar bland annat omhändertagande av skadade bränslestavar från Oskarshamn 3 och Forsmark 3 med hjälp av Quivers och från Forsmark 2 och 3 med hjälp av specialutformade transportboxar. Vidare planeras att transportera fyllda Quivers från Ringhals, Forsmark och Oskarshamn till Clab samt att transportera fyllda transportboxar från Studsvik till Clab.



## 7. Harmoniserad tillståndsprocess

SKB redovisar att under den gångna Fud-perioden har arbete, främst inom ramen för Kärnkraftsindustrins säkerhetskoordineringsgrupp (KSKG), skett inom ett antal områden för att erhålla en harmoniserad tillståndsprocess inför och under nedmontering och rivning av kärnkraftsreaktorer. Fyra gemensamma ställnings-taganden, s.k. position papers har tagits fram för säkerhetsredovisning under avveckling av en kärnteknisk anläggning, principer för kategorisering av extremt liten risk för radioaktiv förorening, delmoment samt kontrollprogram för friklassning.

Inför den kommande Fud-perioden har ytterligare två områden inom samarbetet identifierats: metodik och samsyn för utarbetandet av acceptanskriterier (waste acceptance criteria), typbeskrivningar och typbeskrivningsspecifikationer för utbyggda slutförvarsdelar och rivningsavfall samt avvecklingsrapport och arkivering inför upphörande av tillstånd enligt kärntekniklagen och strålskyddslagen.

## 8. IT-stöd för avvecklingsdokumentation

SKB anger att man under den gångna Fud-perioden har inlett en dialog med de tillståndshavarna som planerar att nedmontera och riva kärnkraftsreaktorer i närtid för att samordna arbetet med radiologisk kartläggning och karaktärisering av rivningsavfall. Information om rivningsavfallet radionuklid- och materialsammansättning baseras i hög grad baseras på resultat från den radiologiska kartläggningen. Denna information ska kunna spåras till avfall i enskilda kollin. För att kunna utarbeta ett framtidaavfallsregister för rivningsavfall arbetar SKB för att kunna ta emot information från den radiologiska kartläggning och tillståndshavarnas prognoser för rivningsavfall.

## 9. Internationellt utvecklingsarbete

SKB anger att det huvudsakliga erfarenhetsutbytet mellan svenska tillståndshavare och SKB avseende avveckling av kärnkraftsreaktorer sker inom OECD/NEA, den under den gångna Fud-perioden nystartade Committee on Decommissioning of Nuclear Installations and Legacy Management (CDLM) och IAEA. Fokusområden inom OECD/NEA samarbete har varit hanteringen av mycket lågaktivt avfall och optimering av friklassningsbart material under avveckling.

Vidare startades ett samarbete i syfte att utbyta erfarenheter och kunskap gällande avveckling av kärntekniska anläggningar mellan den svenska kärnkraftsindustrin och det statliga spanska avvecklingsbolaget (Enresa) under den gångna Fud-perioden. Under den kommande Fud-perioden planeras att dessa samarbeten fortsätter.

## 10. Metodutveckling för svårsmätbara nuklider

SKB anger att man för kontinuerlig dialog med tillståndshavarna för att säkerställa att aktivitetsinventariet, i synnerhet avseende svårsmätbara nuklider som tas fram utifrån den radiologiska kartläggningen kan nyttjas för att

karaktärisera rivningsavfallet som planeras att slutförvaras i utbyggt SFR eller SFL.

### ***SSM:s bedömning***

SSM noterar det som positivt att samordningen mellan SKB och tillståndshavarna inom planering för och genomförande av nedmontering och rivning av kärnkraftsreaktorer har intensiverats under den gångna Fud-perioden och att dessa samarbeten har lett till ett antal konkreta resultat.

SSM anser att de nämnda planerade samarbetsprojekten är ändamålsenliga och kommer att underlätta den under den kommande Fud-perioden påbörjade storskaliga nedmontering och rivning av minst fem kärnkraftsreaktorer. I synnerhet frågor kring utarbetandet av acceptanskriterier, typbeskrivningar och typbeskrivningsspecifikationer, IT-stöd för avvecklingsdokumentation och bestämning av svärmätbara nuklider i rivningsavfall borde ligga i fokus under den kommande Fud-perioden.

SSM vill påpeka att det inte finns explicita krav från SSM om att allt kärnbränsle måste avlägsnas från en anläggning innan dess nedmontering och rivning får påbörjas. SSM ser dock positivt på att tillståndshavarna och SKB har tagit initiativet till projekt *Skadat bränsle* för att omhändertar skadat kärnbränsle i ett tidigt skede.

## **11.5.2 Utveckling inom Sydkraft Nuclear Power AB**

### ***SKB:s redovisning***

SKB redovisar att det under den gångna Fud-perioden etablerade Project Performance Center (PPC) har i uppdrag att koordinera Sydkraft Nuclear Power AB:s avvecklingsportfölj i Sverige. Hittills har detta resulterat i en sekventiell samordning av avvecklingsprogrammen för Barsebäck 1 och 2 och Oskarshamn 1 och 2.

BKAB:s har under den gångna Fud-perioden bl.a. genomfört följande aktiviteter: segmentering och mellanlagring av reaktorernas interndelar, kartläggning och verifiering av objekt med extrem liten risk för radioaktiv förorening, fördjupad radiologisk kartläggning, TBS:er för rivningsavfall samt tekniker och processer av radiologiskt avfall.

OKG har under samma period genomfört bl.a. följande aktiviteter: etablering av en dedikerad avdelning för avveckling, borttransport av (använt) kärnbränsle från Oskarshamn 1 och 2, radiologiska kartläggningar, segmentering av interndelar och fullsystem-dekontaminering i Oskarshamn 2.

SKB anger att utvecklingsbehovet avseende nedmontering och rivning för både BKAB och OKG bedöms i princip vara detsamma. Under den kommande Fud-perioden är de huvudsakliga aktiviteterna: förankring, implementering och uppföljning av avvecklingsstrategien, successiv (detalj-)projektering och därefter genomförande av delmomenten, vidareutveckling av funktionella delprocesser (material- och avfallshantering, nedmontering och rivning, drift och underhåll samt skydd och säkerhet), anpassning och utveckling av organisationerna och ledningssystemen samt funktionell erfarenhetsåterföring mellan BKAB och OKG.

### ***SSM:s bedömning***

I samband med SSM:s granskningar av NoR-SAR för Barsebäck 1 och 2 respektive Oskarshamn 1 och 2 granskades även de tillhörande avvecklingsplanerna. Uppgifterna i avsnitt 19.2 stämmer i allt väsentligt överens med de i avvecklingsplanerna. Vidare följde SSM under den gångna Fud-perioden de nämnda förberedande åtgärderna och segmenteringsprojekten i sin tillsyn. De av SKB redovisade utvecklingsbehoven har även presenterats för myndigheten i samband med tillsynen. SSM instämmer att de nämnda åtgärderna skapa förutsättningar för att effektivt och säkert kunna genomföra BKAB:s och OKG:s samordnade sekventiella avvecklingsprogram. I synnerhet vill SSM betona vikten av erfarenhetsåterföringen mellan BKAB och OKG från de olika aktiviteter och delmomenten.

SSM anser att SKB:s redovisning hade vunnit av att även BKAB:s och OKG:s gemensamma aktiviteter inför och under nedmontering och rivning beskrivs för att tydliggör tillståndshavarnas omfattande samarbete, exempelvis de gemensamma upphandlingarna av (tjänste-) leverantörer för delmomenten eller samordningen av friklassningsprocesserna.

### **11.5.3 Utveckling inom Vattenfall**

#### ***SKB:s redovisning***

SKB redovisar att Vattenfall har under den gångna Fud-perioden påbörjat att samordna all avvecklingsverksamhet inom Vattenfallkoncernen i affärsområdet Business Unit Nuclear Decommissioning (BUND) för att skapa förutsättningar för synergieffekter mellan avvecklingen av R2\_0 och R2-reaktorerna i Studsvik och den kommande avvecklingen av Ågesta och Ringhals 1 och 2. Inom Vattenfallkoncernen har ett antal projekt, fora och utbildningar skapats för avvecklingen av dessa anläggningar. Deras avveckling ska genomföras i programform.

Avseende nedmontering och rivning av Ringhals 1 och 2 kommer under den kommande Fud-perioden ett antal avfallsrelaterade utredningar genomföras, exempelvis avseende friklassning, internt transporter, mellan- och avklingningslagring samt optimering av avfallsprocesser, emballage, avfallskonditionering och -volym. Även andra aktiviteter så som utveckling av kostnadsmodeller, erfarenhetsåterföring från avvecklingen av R2-reaktorerna, utveckling av ledningssystemet och kompetensförsörjning planeras för den kommande Fud-perioden.

#### ***SSM:s bedömning***

Sedan beslutet om den slutliga avställningen av Ringhals 1 och 2 togs har SSM följt RAB:s arbete inför avställningen och avvecklingen genom den s.k. förstärkta tillsynen. SSM anser att SKB:s redovisning av de under den gångna Fud-perioden genomförda aktiviteter stämmer överens med det som framkom under tillsynen.

Vidare konstaterar SSM att Vattenfall AB återtog i slutet av november 2019 ansökan om att få kärntekniska tillstånd för Ringhals 1 och 2 för att nedmontera och riva dessa anläggningar. Hur detta beslut påverkar den planerade avvecklingen av Ringhals 1 och 2 är



i dagsläget okänd. SSM avstår därför ifrån att bedöma redovisningen av de för den kommande Fud-perioden planerade åtgärder.

SSM saknar en redovisning av genomförda aktiviteter i Ågesta och utvecklingsbehovet i den kommande Fud-perioden.

## **11.6 SSM:s samlade bedömning avseende avveckling**

SSM bedömer att SKB:s redovisning i del III av Fud-programmet om avveckling av kärntekniska anläggningar har blivit tydligare jämförd med föregående Fud-program. I synnerhet har SKB beaktat SSM:s synpunkter i den föregående granskningen avseende bl.a. frågor kring (radiologiska) avfallsmängder från nedmontering och rivning eller mellanlagring av rivningsavfallet.

Avseende redovisningar gällande BKAB och OKG så stämmer de i allt väsentligt överens med de uppgifter som lämnades in till myndigheten i samband med ansökningarna om godkännande av NoR-SAR:en respektive det som framkom i SSM:s tillsyn. För RAB stämmer uppgifterna överens med de som framkom i SSM:s tillsyn. Konsekvenserna av Vattenfalls beslut att återta ansökan om att få det kärntekniska tillståndet för Ringhals 1 och 2 för att nedmontera och riva dessa anläggningar är i dagsläget okända varför redovisningen av exempelvis planerade aktiviteter avseende Ringhals 1 och 2 under den kommande Fud-perioden betraktas av SSM som inaktuell.

I det kommande Fud-programmet borde den förväntade fördelningen av de totala mängderna rivningsavfall i de olika avfallskategorierna kunna redovisas. Vidare borde de förväntade mängderna radioaktivt rivningsavfall från Clab och dess fördelning inom avfallskategorierna redovisas.

Slutligen borde branschgemensamma utmaningar under avvecklingen, så som kompetensuppbyggnad och –försörjning för de i närtid planerade nedmonterings- och rivningsprojekt samt planer för att bevara kunskaper och erfarenheter för avvecklingen av de kvarvarande kärnkraftsreaktorerna redovisas i större omfattning. Även frågor kring tillgång till och konkurrens om externa resurser, d.v.s. entreprenörer, för genomförandet av nedmontering och rivning kunde diskuteras på en övergripande nivå.





## 12 Referenser

- Babaahmadi A, 2015. Durability of cementitious materials in the long-term contact with water. Doktorsavhandling. Chalmers tekniska högskola.
- Bauhn L, 2018. The interaction of dissolved hydrogen with  $\alpha$ -radiolytic oxidants during nuclear fuel dissolution. Doktorsavh. Chalmers tekniska högskola.
- Beresford N A, Wood M D, Vives i Batlle J, Yankovich T L, Bradshaw C, Willey N, 2016. Making the most of what we have: application of extrapolation approaches in radioecological wildlife transfer models. *Journal of Environmental Radioactivity* 151, 373–386.
- Björkbacka Å, Johnson C M, Leygraf C, Jonsson M, 2016. Role of the oxide layer in radiation-induced corrosion of copper in anoxic water. *The Journal of Physical Chemistry C*, 120, 11450–11455.
- Björkbacka Å, Johnson C M, Leygraf C, Jonsson M, 2017. Radiation induced corrosion of copper in humid air and argon atmospheres. *Journal of the Electrochemical Society* 164, C201–C206.
- Chen J, Qin Z, Martino T, Shoesmith D W, 2017. Non-uniform film growth and micro/macrogalvanic corrosion of copper in aqueous sulphide solutions containing chloride. *Corrosion Science* 114, 72-78.
- Cvetković B Z, Salazar G, Kunz D, Tits J, Szidat S, Wieland E, 2018. Quantification of dissolved organic carbon-14-containing compounds by accelerator mass spectrometry in a corrosion experiment with irradiated steel. *Radiocarbon* 60, 1711–1727.
- Fidalgo A B, 2017. Experimental studies of radiation-induced dissolution of UO<sub>2</sub>: The effect of intrinsic solid phase properties and external factors. Doktorsavh. KTH.
- Fidalgo A B, Roth O, Puranen A, Evins L Z, Spahiu K, Askeljung C, 2019. Powder leaching study for grain boundary inventory of two high burnup fuels. *MRS Advances* 4, 981–986.
- Fredriksson C, Feldmann E B, Larson M, Martinez G, 2017. Historiska stormhändelser som underlag vid riskanalys– Studie av översvämningarna 1872 och 1904 längs Skånes syd- och ostkust. *Journal of Water Management and research* 73(3), 93-110.
- Fridh K, 2017. Frysegenskaper hos kalciumurlakad betong – hur kan SFR påverkas av långvarig kontakt med grundvatten och de temperature som råder vid förvaret vid en permafrost? Experimentella studier. TVBM 7720. Lunds tekniska högskola.
- Fujiwara K, Tani J, Hironaga M, Tanaka M, 2017. Corrosion behaviour of aluminium under simulated environmental conditions of low-level waste. *Corrosion Engineering, Science and Technology* 52, 162–165.
- Girouda N, Tomonagab Y, Wersinb P, Briggsc S, Kingd F, Vogta T, Diomidisa N, 2018. On the fate of oxygen in a spent fuel emplacement drift in Opalinus Clay. *Applied Geochemistry*, 97, 270-278.



- Gorbatov O I, Delandar A H, Gornostyrev Y N, Ruban A V, Korzhavyi P A, 2016. First-principles study of interactions between substitutional solutes in bcc iron. *Journal of Nuclear Materials* 475, 140-148.
- Hadi J, Wersin P, Jenni A, Greneche J M, 2017. Redox evolution and Fe-bentonite interaction in the ABM2 experiment, Äspö Hard Rock Laboratory. Nagra Technical Report NTB 17-10. Nagra, Switzerland.
- Hedin A, Johansson A J, Lilja C, Boman M, Berastegui P, Berger R, Ottosson M, 2018. Corrosion of copper in pure O<sub>2</sub>-free water? *Corrosion Science* 137, 1–12.
- Huttunen-Saarivirta E, Ghanbari E, Mao F, Rajala P, Carpén L, Macdonald D, 2018. Kinetic properties of the passive film on copper in the presence of sulfate-reducing bacteria. *Journal of the Electrochemical Society* 165, C450-C460.
- IAEA, 2019. Behaviour of Spent Power Reactor Fuel during Storage IAEA-TECDOC-1862, International Atomic Energy Agency.
- Johansson A J, Lilja C, Hedin A, 2019. Corrosion of copper in repository-like field tests: compilation and analysis of data. IHLRWM 2019. Knoxville, TN, 14-18 April 2019.
- Kautsky U, Saetre P, Berglund S, Jaeschke B, Nordén S, Brandefelt J, Keesmann S, Näslund J-O, Andersson E, 2016. The impact of low and intermediate-level radioactive waste on humans and the environment over the next one hundred thousand years. *Journal of Environmental Radioactivity* 151, 395-403.
- Kienzler B, Duro L, Lemmens K, Metz V, De Pablo J, Valls A, Wegen D H, Johnson L, Spahiu K, 2017. Summary of the Euratom collaborative project FIRST-Nuclides and conclusions for the safety case. *Nuclear Technology* 198, 260–276.
- King F, Chen J, Qin Z, Shoesmith D, Lilja C, 2017. Sulphide transport control of the corrosion of copper canisters. *Corrosion Engineering, Science and Technology*, 52:sup1, 210-216.
- Kumagai Y, Fidalgo A B, Jonsson M, 2019. Impact of stoichiometry on the mechanism and kinetics of oxidative dissolution of UO<sub>2</sub> induced by H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and  $\gamma$ -irradiation. *The Journal of Physical Chemistry C* 123, 9919–9925.
- Lagerbäck, R, Sundh, M, 2008. Early Holocene faulting and paleoseismicity in northern Sweden: Geological Survey of Sweden Research Paper C 836.
- Lemmens K, Gonzalez-Robles E, Kienzler B, Curti E, Serrano-Purroy D, Sureda R, Martínez-Torrents A, Roth O, Slonszki E, Menecart T, Günther-Leopold, Hozer Z, 2017. Instant release of fission products in leaching experiments with high burnup nuclear fuels in the framework of the Euratom project FIRST-Nuclides. *Journal of Nuclear Materials* 484, 307–323.
- Li Y, Korzhavyi, Sandström R, Lilja C, 2017. Impurity effects on the grain boundary cohesion in copper. *Physical Review Materials* 1, 070602(R).
- Lousada C M, Johansson A J, Korzhavyi P A, 2018. Adsorption of hydrogen sulfide, hydrosulfide and sulfide at Cu(110) – Polarizability and cooperativity effects. First stages of formation of a sulfide layer. *ChemPhysChem* 19, 2159.



- Lousada C M, Soroka I L, Yagodzhinskyy Y, Tarakina N V, Todoshchenko O, Hänninen H, Korzhavyi P A, Jonsson M, 2016. Gamma radiation induces hydrogen absorption by copper in water. *Nature Scientific Reports* 6, 24234.
- Magnusson H, Frisk K, 2017. Diffusion, permeation and solubility of hydrogen in copper. *Journal of Phase Equilibria and Diffusion* 38, 65-69.
- Maier A C, Benarosch A, El Jamal G, Jonsson M, 2019. Radiation induced dissolution of U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub> – A potential accident tolerant fuel. *Journal of Nuclear Materials* 517, 263–267.
- Mark- och miljödomstolen, 2018. Yttrande i mål nr M 1333-11.
- Martino T, Chen J, Guo M, Ramamurthy S, Shoesmith D W, Noël J J, 2019. Comments on E. Huttunen-Saarivirta et al. “Kinetic Properties of the Passive Film on Copper in the Presence of Sulfate-Reducing Bacteria” [J. Electrochem. Soc., 165, C450 (2018)]. *Journal of the Electrochemical Society*, 166, Y13-Y16.
- Martino T, Chen J, Qin Z, Shoesmith D W, 2017. The kinetics of film growth and their influence on the susceptibility to pitting of copper in aqueous sulphide solutions. *Corrosion Engineering, Science and Technology* 52, 61-64.
- Mörner N-A, 2017. Converting Tsunami Wave Heights to Earthquake Magnitudes. *Open Journal of Earthquake Research*, 6, 89-97.
- Mörner N-A, Tröften P E, Sjöberg R, Grant D, Dawson S, Bronge C, Kvamsdal O, Sidén A, 2000. Deglacial paleoseismicity in Sweden: the 9663 BP Iggesund event. *Quaternary Science Reviews* 19, 1461–1468.
- Ottosson M, Boman M, Berastegui P, Andersson Y, Hahlin M, Korvela M, Rerger R, 2017. Copper in ultrapure water, a scientific issue under debate. *Corrosion Science* 122, 53–60.
- Posiva 2017-01, 2017. Siren T, Hakala M, Valli J, Christiansson R, Mas Ivars D, Lam T, Mattila J, Suikkanen J. Parametrisation of fractures – Final report. Posiva Oy, Finland.
- Posiva SKB Report 01, 2017. Safety functions, performance targets and technical design requirements for a KBS-3V repository. Conclusions and recommendations from a joint SKB and Posiva working group. Posiva Oy, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Posiva SKB Report 03, Björkblad A, Faleskog J, 2018. Evaluation of Cu-OFP Creep crack growth and theoretical fracture models for Cu-OFP. Posiva Oy, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Posiva SKB Report 07, Baxter S, Appleyard P, Hartley L, Hoek J, Williams T, 2018. Exploring conditioned simulations of discrete fracture networks in support of hydraulic acceptance of deposition holes. Application to the ONKALO demonstration area. Posiva Oy, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Puranen A, Barreiro A B, Evins L, Spahiu, K, 2017. Spent fuel leaching in the presence of Corroding iron. *MRS Advances* 2, 681–686.
- Puranen A, Roth O, Evins L Z, Spahiu K, 2018. Aqueous leaching of high burnup UO<sub>2</sub> fuel under hydrogen conditions. *MRS Advances* 3, 1013–1018.



- Sandström R, 2016. The role of cell structure during creep of cold worked copper. *Materials Science & Engineering A* 674, 318-327.
- Sandström R, 2017. Formation of a dislocation back stress during creep of copper at low temperature. *Materials Science & Engineering A* 700, 622-630.
- Satoh H, Ishii T, Owada H, 2013. Dissolution of compacted montmorillonite at hyperalkaline pH and 70 °C: in situ VSI and ex situ AFM measurements. *Clay Minerals* 48, 285–294.
- Senior N A, Newman R C, Artymowicz D, Binns W J, Keech P G, Hall D S, 2019. Communication – A method to measure extremely low corrosion rates of copper metal in anoxic aqueous media. *Journal of The Electrochemical Society* 166, C3015–C3017.
- SKB dokID 1358612 ver 1.0, 2014. SFR förslutningsplan. Svensk Kärnbränslehantering AB.s
- SKB dokID 1409731 ver 1.0, 2015. Gasevakuering genom betongbarriär i 2BMA. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB dokID 1495415 ver 1.0, 2015. Betongcyliner I-1B med ingjutna metallprover. CBI Betonginstitutet. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB dokID 1532426 ver 1.0, 2017. SFL: Metod för grundläggning av betongkonstruktion i BHK. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB dokID 1542482 ver 1.0, 2017. SFL: Metod för åtefyllnad av BHK med betong. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB dokID 1569813 ver 1.0, 2013. Vidareutvecklad utformning av förvarsutfymmet 2BMA i utbyggd del av SFR. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB dokID 1570764 ver 1.0, 2016. To what extent is organic waste degrading in high pH water of Äspö type? KTH. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB dokID 1571075 ver 1.0, 2017. Komplettering av ansökan om utökad verksamhet vid SFR – avfallskollin och kringgjutning i 1BMA och 2BMA. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB dokID 1572377 ver 1.0, 2017. Information om klimat och effekter på SFR till följd av frysning av betong. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB dokID 1602591 ver 2.0, 2017. Preliminary report on the development of a kinetic model for the corrosion of copper in pure water. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB dokID 1604614 ver 2.0, 2017. Redovisning av teknisk barriär vid övergång till segmenterade reaktortankar. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB dokID 1614038 ver 1.0, 2019. Extended canister analyses with emphasis on tensile stresses and uneven swelling pressure. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB dokID 1692024 ver 1.0, 2018. Kemisk sammansättning hos bentonitlera. RISE CBI Betonginstitutet. Svensk Kärnbränslehantering AB.



SKB dokID 1706535 ver 1.0, 2019. Radiation induced corrosion of copper – an update of the mechanism. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB dokID 1706958 ver 1.0, 2018. Korrosionsprovning av injekterade bergbultar och provstänger av stål ingjutna i betongblock – resultat efter nio års exponering i Äspötunneln. Rapport KIMAB-2018-170 Swerea/KIMAB. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB dokID 1707582 ver 2.0, 2019. Design parameters effect on tensile stresses for the copper shell. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB dokID 1707895 ver 1.0, 2019. Continued measurements of stored samples from previous studies of H<sub>2</sub> emission in sealed compartments containing copper in O<sub>2</sub>-free water. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB dokID 1708457, 2019. Hydrogen sorption capacity of crystal lattice defects and low Miller index surfaces of copper. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB dokID 1708461 ver. 1.0, 2019. Activity of sulfate reducing bacteria in bentonite as a function of water availability. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB dokID 1712120, 2019. Vapor transport in bentonite. Laboratory investigations and theoretical study. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB dokID 1713264 ver 1.0, 2019. Corrosion of copper in repository-like field tests: compilation and analysis of data. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB dokID 1885652, 2020. SKBs svar på fråga från SSM om SFL säkerhetsvärdering i Fud 2019. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB P-13-50, Taxén C, 2013. Ytprofiler på kopparkapslar från deponeringshål 5 och 6 I försöksserien Prototyp. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB P-16-13, Lagerblad B, Golubeva M, Cirera J R, 2016. Lämplighet för krossberg från Forsmark och SFR att användas som betongballast. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB P-16-31, Svensson D, Lundgren C, Wikberg P, 2017. Experiments with bentonite and sulphide – results from experiments 2013–2016. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB P-17-03, Malmberg D, Åkesson M, 2018. Modelling the interaction between engineered and natural barriers. Task 8 of SKB Task Forces EBS and GWFTS. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB P-17-08, Hancilova I, Hokr M, 2018. Modelling the interaction between engineered and natural barriers in BRIE. Task 8 of Task Forces EBS and GWFTS. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB P-17-11, Högberg C-J, Karlsson O, Randelius M, Johansson A J, 2017. Surface morphology and elemental composition of copper canisters for disposal of spent nuclear fuel. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB P-17-37, Åkesson M, 2018. Full-scale test of the Dome Plug for KBS-3V deposition tunnels. Gas tightness test. Svensk Kärnbränslehantering AB.



SKB P-19-07, Haynes H M, Nixon S, Lloyd J R, Birgersson M, 2019. Verification of microbial sulfide-producing activity in Calcigel bentonite at saturated densities of 1750 and 1900 kg m<sup>-3</sup>. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB R-05-40, Bodén A, Sievänen U, 2005. Low-pH injection grout for deep repositories. Summary report from a co-operation project between NUMO (Japan), Posiva (Finland) and SKB (Sweden). Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB R-05-51, Lagerbäck R, Sundh M, Svedlund J-O, Johansson H, 2005. Forsmark site investigation. Searching for evidence of late- or postglacial faulting in the Forsmark region. Results from 2002–2004. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB R-05-80, Gaucher E, Tournassat C, Nowak C, 2005. Modelling the geochemical evolution of the multi-barrier system of the Silo of the SFR repository. Final report. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB R-11-08, Bodén A, Pettersson S, 2011. Development of rock bolt grout and shotcrete for rock support and corrosion of steel in low-pH cementitious materials. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB R-12-17, Sidborn M, Marsic N, Crawford J, Joyce S, Hartley L, Idiart A, de Vries L M, Maia F, Molinero J, Svensson U, Vidstrand P, Alexander R, 2014. Potential alkaline conditions for deposition holes of a repository in Forsmark as a consequence of OPC grouting. Revised final report after review. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB R-13-40, Höglund L O, 2014. The impact of concrete degradation on the BMA barrier functions. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB R-16-07, Korzhavyi P, Gorbатов O, Selleby M, 2018. Precipitation of late-blooming phases in iron-based alloys. Theoretical modelling. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB R-16-10, SKB, 2016. Detaljundersökningsprogram vid uppförande och drift av Kärnbränsleförvaret. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB R-17-08, Lundgren K, 2017. Radiation dose to water for an U-233 doped pellet compared to a long time decayed irradiated pellet. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB R-17-11, Appleyard P, Jackson P, Joyce S, Hartley L, 2018. Conditioning discrete fracture network models on intersection, connectivity and flow data. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB R-17-12, Bym T, Hermanson J, 2018. Methods and workflow for geometric and hydraulic conditioning. DFN-R – status report 2013–2015. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB R-17-15, Granfors M, 2017. Round-robin of hydrogen content in copper determined by melt extraction and gas analysis. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB R-17-19, Andersson-Östling H C M, Sandström R, 2009. Phosphorus in copper intended for spent nuclear fuel disposal. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB R-17-20, Magnusson H, 2017. Thermodynamic evaluation of impurity elements in OFP copper. Svensk Kärnbränslehantering AB.



- SKB R-17-21, Lagerblad B, Rogers P, Vogt C, Mårtensson P, 2017. Utveckling av konstruktionsbetong till kassunerna i 2BMA. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB R-17-24, Magnusson H, Bergqvist H, 2018. Characterisation of different Cu-OFP grades using TEM. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB R-18-01, 2019. Jansson T, Funehag J, Vidstrand P. Injekttering av deponeringsområdet i förvaret för använt kärnbränsle – Historik, metodik och strategi. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB R-18-08, Taborowski T, Pedersen K, 2019. Methanogens in SFR. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB R-18-09. Josefsson J, Andersson-Östling H C M, 2019. SSRT testing of Cu. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB R-18-10, Öhring C, Peterson G, Mikko H, 2018. Detailed geomorphological analysis of LiDAR derived elevation data, Forsmark. Searching for indicatives of late- and postglacial seismic activity. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB R-19-03, Abarca E, Sampietro D, Molinero J, von Schenck H, 2019. Modelling of the near-field hydrogeology – temperate climate conditions. Report for the safety evaluation SE-SFL. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB R-19-06, Silva O, Coene E, Molinero J, Laviña M, Idiart A, 2019. Gas release from the BHK vault – Multiphase flow modelilng of the near-field. Report for the safety evaluation SE-SFL. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB R-19-11, Idiart A, Shafei B, 2019. Modelling of concrete degradation – Hydro-chemical processes. Report for the safety evaluation SE-SFL. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB R-19-12, Idiart A, Laviña M, Coene F, 2019. Modelling of concrete degradation – Hydro—chemo-mechanical processes. Report for the safety evaluation SE-SFL. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB R-19-13, Idiart A, Laviña M, 2019. Modelling of concrete degradation in a one-million-year perspective – Hydro-chemical processes. Report for the safety evaluation SE-SFL. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB R-19-14, Idiart A, Olmeda J, Laviña M, 2019. Modelling of concrete degradation – influence of concrete mix design. Report for the safety evaluation SE-SFL. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB TR-04-19, Werme L O, Johnson L H, Oversby V M, King F, Spahiu K, Grambow B, Shoosmith D W, 2004. Spent fuel performance under repository conditions: A model for use in SR-Can. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB TR-09-32, Andersson-Östling, H C M, Sandström R, 2009. Survey of creep properties of copper intended for nuclear waste disposal. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB TR-10-14. SKB, 2010. Design, production and initial state of the canister. Svensk Kärnbränslehantering AB.



SKB TR-10-17. SKB, 2010. Design, production and initial state of the closure. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB TR-12-08, Luterkort D, Gylling B, Johansson R, 2012. Closure of spent fuel repository in Forsmark. Studies of alternative concepts for sealing of ramp, shafts and investigation boreholes. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB TR-13-06, Börgesson L, Åkesson M, Birgersson M, Hökmark H, Hernelind J, 2016. EBS TF – THM modellering. BM 1 – Small scale laboratory tests. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB TR-13-07, Börgesson L, Åkesson M, Kristensson O, Dueck A, Hernelind J, 2016. EBS TF – THM modellering. BM 2 – Large scale field tests. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB TR-13-14, Elfving M, Evins L Z, Gontier M, Graham P, Mårtensson P, Tunbrant S, 2013. SFL concept study. Main report. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB TR-13-21, Olsson S, Jensen V, Johannesson L-E, Hansen E, Karnland O, Kumpulainen S, Kiviranta L, Svensson D, Hansen S, Lindén J, 2013. Prototype Repository. Hydro-mechanical, chemical and mineralogical characterization of the buffer and tunnel backfill material from the outer section of the Prototype Repository. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB TR-14-22, Börgesson L, Sandén T, Dueck A, Andersson L, Jensen V, Nilsson U, Olsson S, Åkesson M, Kristensson O, Svensson U, 2015. Consequences of water inflow and early water uptake in deposition holes. EVA project. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB TR-14-23, Graham P, Malm R, Eriksson D, 2015. System design and full scale testing of the Dome Plug for KBS-3V deposition tunnels. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB TR-15-01, Berglund S, Lindborg T (red), 2017. Monitoring Forsmark – evaluation and recommendations for programme update. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB TR-15-07, Hedström M, Ekvy Hansen E, Nilsson U, 2016. Montmorillonite phase behaviour. Relevance for buffer erosion in dilute groundwater. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB TR-16-04, Dueck A, Goudarzi R, Börgesson L, 2016. Buffer homogenisation. Status report 3. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB TR-16-07, Sandén T, Börgesson L, Nilsson U, Dueck A, 2017. Full scale Buffer Swelling Test at dry backfill conditions in Äspö HRL. In situ test and related laboratory tests. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB TR-16-08, Börgesson L, Hernelind J, 2017. Modelling of the mechanical interaction between the buffer and the backfill in KBS-3V. Modelling results 2015. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB TR-16-09, Bengtsson A, Blom A, Hallbeck B, Heed C, Johansson L, Stahlén J, Pedersen K, 2017. Microbial sulphide-producing activity in water saturated MX-80, Asha and Calcigel bentonite at wet densities from 1500 to 2000 kg m<sup>-3</sup>. Svensk Kärnbränslehantering AB.



SKB TR-16-11, Neretnieks I, Moreno L, Liu L, 2017. Clay erosion – impact of flocculation and gravitation. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB TR-16-14, Svensson D, Lundgren C, Johannesson L-E, Norrfors K, 2017. Developing strategies for acquisition and control of bentonite for a high level radioactive waste repository. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB TR-17-03, Leoni M, Börgesson L, Keto P, 2018. Numerical modelling of the buffer swelling test in Äspö HRL. Validation of numerical models with the buffer swelling test data. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB TR-17-05, Bengtsson A, Blom A, Johansson L, Taborowski T, Eriksson L, Pedersen K, 2017. Bacterial sulphide-producing activity in water saturated iron-rich Rokle and iron-poor Gaomiaozhi bentonite at wet densities from 1750 to 1950 kg m<sup>-3</sup>. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB TR-17-06, Luterkort D, Johannesson L-E, Eriksson P, 2017. Buffer design and installation method. Installation report. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB TR-17-07, Birgersson M, Goudarzi R, 2017. Summary report on “sauna” effects. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB TR-17-11, Börgesson L, Hedström M, Birgersson M, Karnland O, 2018. Bentonite swelling into fractures at conditions above the critical coagulation concentration. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB TR-17-16, Taxén C, Flyg J, Bergqvist H, 2018. Stress corrosion testing of copper in sulphide solutions. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB TR-18-02, Enzell J, Malm R, 2019 Full-scale test of the Dome Plug for KBS-3V deposition tunnels. Project summary and evaluation of final results. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB TR-18-11, Birgersson M, Goudarzi R, 2018. Investigations of gas evolution in an unsaturated KBS-3 repository. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB TR-18-12, Mårtensson P, Vogt C, 2019. Concrete caissons for 2BMA. Large scale test of design and material. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB TR-18-13, Neretnieks I, Moreno L, 2019. Some mechanisms that influence bentonite erosion in a KBS-3 repository – an exploratory study. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB TR-18-18, Sandén T, Nilsson U, Johannesson L E, Hagman P, Nilsson G, 2018. Sealing of investigation boreholes. Full scale field test and large-scale laboratory tests. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB TR-19-01, SKB, 2019. Post-closure safety for a proposed repository concept for SFL. Main report for the safety evaluation SE-SFL. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB TR-19-05, SKB, 2019. Biosphere synthesis for the safety evaluation SE-SFL. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB TR-19-08, Alonso U, Missana T, García Gutiérrez M, Morejón J, Mingarro M, Fernández A M, 2019. CIEMAT studies within POSKBAR project. Bentonite expansion, sedimentation and erosion in artificial fractures. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB TR-19-11, Dueck A, Börgesson L, Kristensson O, Malmberg D, Åkesson M, Hernelind J, 2019. Bentonite homogenisation lab and modelling. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB TR-19-12, Padovani C, Pletser D, Jurkschat K, Armstrong D, Dugdale S, Brunt D, Faulkner R, Was G, Johansson A J, 2019. Assessment of microstructural changes in copper due to gamma radiation damage. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB TR-19-13, Taxén C, Flyg J, Bergqvist H, 2019. Stress corrosion testing of copper in near neutral sulphide solutions. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB TR-19-14, Yang Q, Toijer E, Olsson P, 2019. Analysis of radiation damage in the KBS-3 canister materials. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB TR-19-15, SKB, 2019. Supplementary information on canister integrity issues. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB TR-19-19, Hökmark H, Fälth B, Lönnqvist M, Munier R, 2018. Earthquake simulations performed to assess the long-term safety of a KBS-3 repository. Overview and evaluation of results produced after SR-Site. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB TR-19-25, Svensson D, Johannesson L-E, Lundgren C, Kronberg M, Kronberg H, Bladström T, 2019. Developing strategies and methods for material control of bentonite for a high level radioactive waste repository. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB TR-93-28, SKB, 1993. Costs for management of the radioactive waste from nuclear power production. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB TR-95-03, Wiborgh M, 1995. Prestudy of final disposal of long-lived low and intermediate level waste. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB TR-99-28, SKB, 1999. Deep repository for long-lived low- and intermediate-level waste. Preliminary safety assessment. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2011. Redovisning av säkerhet efter förslutning av slutförvaret för använt kärnbränsle. Huvudrapport från projekt SR-Site. Del I, II och III. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2015. Redovisning av säkerhet efter förslutning för SFR. Huvudrapport för säkerhetsanalysen SR-PSU. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKI/SSI, 2001. SKI:s och SSI:s gemensamma granskning av SKB:s preliminära säkerhetsanalys för slutförvar för långlivat låg- och medelaktivt avfall. Granskningsrapport. SKI rapport 01:14, Statens kärnkraftinspektion, SSI-rapport 2001:10, Statens strålskyddsinstitut.

Small J S, Nykyri M, Vikman M, Itävaara M, Heikinheimo L, 2017. The biogeochemistry of gas generation from low-level nuclear waste: Modelling after 18 years study under in situ conditions. Applied Geochemistry 84, 360–372.



SSM 2013:34. McCalpin J, 2013. Seismology – Post-glacial seismicity and paleoseismology at Forsmark. Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSM 2014:07, Eberhardt E, Diederichs M, 2014. SSM Review of the geological mapping and geophysical measurement techniques for the determination of critical properties around deposition holes. Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSM 2017:17, 2017. Granskning och utvärdering av SKB:s redovisning av Fud-program 2016. Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSM 2018:07, 2018. Strålsäkerhet efter slutförvarets förslutning. Beredning inför regeringens prövning. Slutförvaring av använt kärnbränsle. Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSM 2019:18, 2019. Granskningsrapport – Utbyggnad och fortsatt drift av SFR. Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSM 2019:22, 2019. SSM's external experts' reviews of SKB's report on supplementary information on canister integrity issues. Strålsäkerhetsmyndigheten.

SSM2012-2658-6. Föreläggande om redovisning rörande betydelsen av jordströmmar vid SFR. Strålsäkerhetsmyndighetens diarium.

SSM2013-3985-13. Clab – Utredning av ursprunglig dimensionerande livslängd för anläggningen. Strålsäkerhetsmyndighetens diarium.

SSM2016-5595-5. Inspektion åldringsprogram Clab 2017. Strålsäkerhetsmyndighetens diarium.

SSM2016-5866-26. Tillståndsvillkor för avveckling av kärnkraftsreaktorer. Strålsäkerhetsmyndighetens diarium.

SSM2018-3310-14. Godkännande av NoR-SAR för Oskarshamn 1 och 0AVF. Strålsäkerhetsmyndighetens diarium.

SSM2018-5325-13. Godkännande av NoR-SAR för Oskarshamn. Strålsäkerhetsmyndighetens diarium.

SSM2019-28-5. Granskningsrapport SKB Clab - Granskning med anledning av införande av nya bränsletyper BWR Quiver och PWR Quiver. Strålsäkerhetsmyndighetens diarium

SSM2019-3168-7. 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 diarium

SSM2019-3222-2. Remiss av Svensk Kärnbränslehantering AB:s kompletterande yttrande i ärende om tillåtlighetsprövning enligt 17 kap. miljöbalken av anläggningar i ett sammanhängande system för slutförvaring av använt kärnbränsle och kärnavfall. Strålsäkerhetsmyndighetens diarium.

SSM2019-3222-4. SSM:s granskning av SKB:s komplettering till regeringen om kapselintegritet. Strålsäkerhetsmyndighetens diarium.

SSM2019-3585-11. Godkännande av NoR-SAR för Barsebäck 1 och 2. Strålsäkerhetsmyndighetens diarium.



SSM2019-453-2. Granskningsrapport - Forsmarks avvecklingsplan. Strålsäkerhetsmyndighetens diarium.

SSM2019-6508-31. Godkännande av NoR-SAR för Ågestaverket. Strålsäkerhetsmyndighetens diarium.

Stenlid J H, Johnasson A J, Leygraf C, Brinck T, 2017. Computational analysis of the early stage of cuprous oxide sulphidation: a top-down process. *Corrosion Engineering, Science and Technology*, 52, 50-53.

Stigsson M, Mas Ivars D, 2019. A novel conceptual approach to objectively determine JRC using fractal dimension and asperity distribution of mapped fracture traces. *Rock Mechanics and Rock Engineering* 52, 1041–1054.

Sui F, Sandström R, 2016. Slow strain rate tensile tests on notched specimens of copper. *Materials Science & Engineering A*, 663, 108-115.

Sui F, Sandström R, Wu R, 2018. Creep tests on notched specimens of copper. *Journal of Nuclear Materials* 509, 62-72.

Walke R C, Kirchner G, Xu S, Dverstorp B, 2015. Post-closure biosphere assessment modelling: comparison of complex and more stylised approaches. *Journal of Environmental Radioactivity* 148, 50–58.