



Strålsäkerhetsmyndigheten

Swedish Radiation Safety Authority

Rapport

Datum: 2026-03-27

Diariernr: SSM2025-7343

Dokumentnr: SSM2025-7343-7

Process: 6.1.2

Handläggare: Patrik Borg

Arbetsgrupp: Louise Andersson, Elena Calota, Christoffer Forss Hadi, Anki Hägg, Elisabet Höge, Sara Lindgren, Jinsong Liu, Carl-Henrik Pettersson, Karolina Stark, Bo Strömberg, Anders Wiebert

Samråd: Pasi Westerholm, Karin Liljequist, Sofia Lillhök, Anita Hartman Persson, Rasa Engstedt

Godkänt av: Lisa Ranlöf

Granskning och utvärdering av Fud-program 2025



1 Sammanfattning

Enligt förordningen (1984:14) om kärnteknisk verksamhet (kärnteknikförordningen) ska Strålsäkerhetsmyndigheten (SSM) granska och utvärdera det program för den allsidiga forsknings- och utvecklingsverksamhet och de övriga åtgärder för hantering och slutförvaring av kärnavfall och använt kärnbränsle 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 2025 (Program för forskning, utveckling och demonstration av metoder för hantering och slutförvaring av kärnavfall och använt kärnbränsle) och lämnade i enlighet med kärnteknikförordningen det till myndigheten i september 2025. Fud-program 2025 består av fem kapitel: Introduktion, Beskrivning av avfallssystemet, Plan för genomförande, Fortsatt forskning och utveckling, Arbetsätt, kompetens och resurser.

För att inhämta synpunkter av betydelse för ärendets avgörande har SSM skickat Fud-program 2025 på en bred remiss till ca 50 organisationer. Vid utgången av remisstiden, den 31 december 2025, hade 30 av dessa svarat, varav 10 meddelade att de valde att inte lämna synpunkter. En översikt av remissinstansernas synpunkter redovisas i anslutning till SSM:s övergripande synpunkter på SKB:s program. Därutöver redovisas remissinstansernas synpunkter i anslutning till relevanta granskningsavsnitt. En sammanställning av inkomna remissynpunkter biläggs myndighetens yttrande till regeringen över Fud-program 2025.

SKB:s redovisning omfattar verksamheter med hantering och slutförvaring av kärnavfall och använt kärnbränsle samt avveckling av kärntekniska anläggningar och baseras på de förutsättningar och antaganden som idag gäller för kärnkrafts- och kärnavfallsprogrammen. Redovisningen avser både verksamheter och anläggningar som har tillstånd och står under myndighetens tillsyn samt sådana som är på planeringsstadiet, under lokalisering och utveckling. SSM föregriper i granskningen av Fud-program 2025 inte myndighetens ställningstaganden i stegvis prövning av, och tillsyn över, tillståndsgivna verksamheter. Aspekter kopplade till sådana verksamheter omhändertas inom ramen för SSM:s löpande handläggning av ärenden avseende dessa anläggningar och verksamheter.

SSM:s samlade bedömning är att Fud-program 2025 visar att reaktorinnehavarna genom SKB har ett program för den allsidiga forsknings- och utvecklingsverksamhet och de övriga åtgärder som krävs för att på ett säkert sätt hantera och slutförvara kärnavfallet och det använda kärnbränslet samt för att avveckla kärnkraftverken och de kärntekniska anläggningar som ingår i avfallssystemet.

SSM gör vidare bedömningen att SKB i Fud-program 2028, och vid därpå följande redovisningstillfällen, behöver konkretisera och detaljera planerna för SFL, slutförvar för långlivat låg- och medelaktivt avfall. SFL är den sista ännu ej tillståndsgivna kärntekniska anläggningen i kärnavfallsprogrammet och kommer därför vara i fokus vid myndighetens granskning och utvärdering av kommande Fud-program.



Innehåll

1	Sammanfattning	2
1	Inledning	5
1.1	Allmänt om programmet	5
1.1.1	Kärntekniklagens krav på redovisning av Fud-program	5
1.1.2	Regeringens beslut över Fud-program 2022	5
1.2	Förutsättningar för SSM:s granskning och utvärdering	6
1.2.1	Fud-programmets övergripande syfte	6
1.2.2	Avgränsningar mot tillsyn av kärnteknisk verksamhet	6
1.2.3	Avgränsning mot slutförvaring av annat radioaktivt avfall	7
1.3	SSM:s beredning av ärendet	8
1.4	Granskningsrapportens struktur	8
1.5	Sammanfattning av SKB:s planer för forsknings- och utvecklingsinsatser	9
2	Övergripande synpunkter på Fud-program 2025	11
2.1	Struktur och innehåll i SKB:s redovisning	11
2.2	Remissinstansernas övergripande synpunkter	11
3	Verksamhet och handlingsplan	15
3.1	Introduktion	15
3.2	Beskrivning av avfallssystemet	16
3.3	Plan för genomförande	17
3.3.1	Genomförandeplan för kärnavfallsprogrammet	17
3.3.2	Planering för låg- och medelaktivt avfall	17
3.3.3	Planering för använt kärnbränsle	18
3.3.4	Planering för mycket lågaktivt avfall	18
3.3.5	Planering för avveckling av kärntekniska anläggningar	19
3.3.6	Planering för transporter	19
3.3.7	Handlingsalternativ vid förändrade förutsättningar	20
3.4	Arbetsätt, kompetens och resurser	21
3.4.1	Fud-programmets roll för öppenhet och insyn	21
3.4.2	Forskning	21
3.4.3	Teknikutveckling	22
3.4.4	SKB:s anläggningar för forskning, utveckling och demonstration	23
3.4.5	IT-arbetsverktyg	23
3.4.6	Kompetens, resurser och samarbeten	24
4	Slutförvar för långlivat avfall	25
5	Fortsatt forskning och utveckling	30
5.1	Tillståndsgivna anläggningar	30
5.1.1	Slutförvaret för kortlivat radioaktivt avfall	30
5.1.2	Slutförvaret för använt kärnbränsle och Central anläggning för mellanlagring och inkapsling av använt kärnbränsle	30



5.2	Ej tillståndsgivna anläggningar	31
5.3	Låg- och medelaktivt avfall	31
5.3.1	Processer kopplade till materialegenskaper	31
5.3.2	Radionuklidinventarium.....	32
5.3.3	Acceptanskriterier	33
5.3.4	Avfallsbehållare och avfallstransportbehållare	34
5.4	Använt kärnbränsle	35
5.4.1	Icke-reguljära bränslen och bränsleintegritet	35
5.4.2	Resteffekt, bränslekaraktärisering och val av kärnbränsle för inkapsling ..	36
5.4.3	Kriticitet	37
5.4.4	Kärnämneskontroll.....	37
5.4.5	Bränsleupplösning, radionuklidspeciering och lösligheter	38
5.5	Kapsel för använt kärnbränsle.....	41
5.5.1	Processer kopplade till korrosion.....	41
5.5.2	Processer kopplade till materialegenskaper för kapselmaterial	44
5.5.3	Konstruktion.....	47
5.5.4	Tillverkning, kontroll och provning.....	48
5.6	Cementbaserade material	48
5.7	Lerbarriärer, pluggar och förslutning.....	50
5.7.1	Bentonitmaterialets utveckling efter installation fram till mätnad	50
5.7.2	Bentonitmaterialets utveckling efter vattenmätnad	52
5.7.3	Utformning, tillverkning, kontroll och provning samt installation av buffert och återfyllning	54
5.7.4	Installation av buffert och återfyllning.....	56
5.7.5	Förslutning av borrhål och förvar	56
5.8	Berg.....	56
5.8.1	Geomekanisk karakterisering och modellering.....	57
5.8.2	Geometrisk modellering av diskreta spricknätverk	57
5.8.3	Seismisk påverkan på förvarens säkerhet	57
5.8.4	Hydrogeologi och DFN-modellering	58
5.8.5	Transport av lösta ämnen	59
5.8.6	Hydrogeokemi.....	59
5.9	Ytekosystem.....	62
5.10	Klimat och klimatrelaterade processer.....	65
5.11	Avslutande av fältförsök i Äspölaboratoriet	66
5.12	Övervakning och undersökningar under uppförande och drift	67
5.13	Avveckling.....	68
5.14	Bevarande av information och kunskap över generationer.....	68
	Referenser	71
	Bilaga – förkortningar	74



1 Inledning

1.1 Allmänt om programmet

1.1.1 Kärntekniklagens krav på redovisning av Fud-program

Enligt 12 § kärntekniklagen 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 2022

Myndighetens yttrande över Fud-program 2022 överlämnades till regeringen i mars 2023 och regeringen fattade beslut över programmet i december 2023. I linje med SSM:s yttrande uttryckte regeringen i sitt beslut den 20 december 2023 att Fud-program 2022 uppfyllde kärntekniklagens krav. Regeringen ställde också följande villkor för den fortsatta forsknings- och utvecklingsverksamheten:

- Inför framtagande av kommande program för forskning, utveckling och demonstration av metoder för hantering och slutförvaring av kärnavfall, Fud-program 2025, ska SKB inhämta synpunkter från Strålsäkerhetsmyndigheten på hur den fortsatta forskningen och teknikutvecklingen för de av regeringen tillståndsgivna verksamheterna ska redovisas.
- Redovisningen av Fud-programmet ska även fortsättningsvis omfatta en redovisning av planerade åtgärder för informationsbevarande.
- Reaktorinnehavarna och SKB ska noga överväga de övriga delarna av yttrandena som Strålsäkerhetsmyndigheten och Kärnavfallsrådet lämnat vid granskningen av Fud-program 2022.

1.2 Förutsättningar för SSM:s 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 Avgränsningar 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) och grundläggande bestämmelser för tillståndspliktig verksamhet med joniserande strålning (SSMFS 2018:1). 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), Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter och allmänna råd om skydd av människors hälsa och miljön vid slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle och kärnavfall (SSMFS 2008:37) och Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter om omhändertagande av kärntekniskt avfall (SSMFS 2021:7).

I praktiken innebär regelverket att den myndighetstillsyn som behövs av verksamheter, efter att tillstånd medgivits, bedrivs genom tillsyn av efterlevnad av relevanta tillstånds-



villkor 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 prövning, där faktisk kravuppfyllnad i olika avseenden verifieras utifrån det underlag som underbyggt myndighetens beredning av ansökan och regeringens medgivande att bevilja tillstånd för verksamheten. Som en del av regeringens tillstånd anges vanligen villkor om godkännande av säkerhetsredovisningar innan uppförande, provdrift och rutinmässig drift.

Som framgår ovan är huvudsyftet med granskning och utvärdering av successivt uppdaterade Fud-program att bedöma om reaktorinnehavarnas 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 reaktorinnehavarnas övergripande strategier och planerade åtgärder för att uppnå det långsiktiga målet, det vill säga ett säkert slutligt omhändertagande av allt kärnavfall och använt kärnbränsle och en säker avveckling av anläggningar.

Tillståndsgivna kärntekniska verksamheter är föremål för myndighetstillsyn av efterlevnaden av tillståndsvillkor, lagar, förordningar och 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 allmänna krav i 3 kap. 2 § SSMFS 2008:1¹ riktat mot tillståndshavaren för anläggningen i syfte att upprätthålla strålskyddet och säkerheten i verksamheten, kompletterad av kraven i SSMFS 2008:21² 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 kärnavfall och använt kärnbränsle som uppstår vid drift och avveckling av kärnkraftreaktorerna. Redovisningen i Fud-program 2025 syftar alltså till att svara upp mot det senare kravet.

1.2.3 Avgränsning mot slutförvaring av annat radioaktivt avfall

De allmänna skyldigheterna i kärntekniklagen ålägger reaktorägare att bedriva den forskning och utveckling som behövs för att omhänderta kärnavfall och använt kärnbränsle 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 kärn-

¹ Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter om säkerheten i kärntekniska anläggningar, SSMFS 2008:1

² Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter om säkerhet vid slutförvaring av kärnämne och kärnavfall, SSMFS 2008:21



avfall från övrig kärnteknisk verksamhet och inte heller radioaktivt avfall från icke kärnteknisk verksamhet.

SSM konstaterar samtidigt att reaktorägarna 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 SFR, Slutförvaret för kortlivat radioaktivt avfall, liksom planer som omfattar ett motsvarande förfarande för det planerade slutförvaret för långlivat avfall.

SSM:s granskning och utvärdering av Fud-program 2025 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 ska 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.

1.3 SSM:s beredning av ärendet

SKB lämnade den 30 september 2025 till SSM Fud-program 2025, Program för forskning, utveckling och demonstration av metoder för hantering och slutförvaring av kärnavfall och använt kärnbränsle.

Utgångspunkter för granskningen har varit krav i kärntekniklagen och kärnteknikförordningen, regeringens beslut över Fud-program 2022, 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 av Fud-program 2025 har SSM gått ut med en riktad inbjudan till ett 50-tal remissinstanser om att lämna synpunkter på programmet. Av dessa har 30 remissinstanser inkommit med svar varav 10 har avstått från att lämna synpunkter på programmet. SSM har i granskningen av Fud-program 2025 beaktat de remissvar som inkommit och refererar i denna rapport till remissynpunkter av betydelse för ärendets avgörande. SSM har därutöver gjort en sammanställning över inkomna remissynpunkter, som i en särskild bilaga bifogas SSM:s yttrande till regeringen. Samtliga remissvar överlämnas i sin helhet tillsammans med övriga delar av ärendet.

1.4 Granskningsrapportens struktur

SSM:s granskningsrapport följer till del den övergripande strukturen i Fud-program 2025, men avviker i vissa avseenden.



Kapitel 2 innehåller SSM:s och remissinstansernas övergripande synpunkter på Fud-program 2025. Kapitlet utgör en inledning till myndighetens mer detaljerade bedömningar och synpunkter som redovisas i efterföljande kapitel.

Kapitel 3 innehåller myndighetens bedömningar av SKB:s övergripande redovisning av verksamhet och handlingsplan för att realisera systemet för omhändertagande av kärnavfall använt kärnavfall.

I kapitel 4 redovisas myndighetens bedömningar av SKB:s redovisning avseende planer för ännu ej tillståndsgiven verksamhet för slutförvaring för långlivat låg- och medelaktivt avfall.

Kapitel 5 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.

1.5 Sammanfattning av SKB:s planer för forsknings- och utvecklingsinsatser

I kapitel 4 av Fud-program 2025 redovisar SKB bland annat de forsknings- och utvecklingsinsatser som planeras att genomföras under Fud-perioden (åren 2026-2031) för de återstående delarna av kärnavfallsprogrammet. Syftet med nedanstående sammanfattning är att ge en överblick av dessa insatser.

- **Låg- och medelaktivt avfall**
Redovisade planer för forskning syftar till att öka kunskapen om processer som påverkar förvaren. Vidare avser SKB att uppdatera och fördjupa kunskapen om det låg- och medelaktivt avfallets innehåll av radionuklider.
- **Använt kärnbränsle**
SKB planerar att genomföra forskning för kommande analyser av säkerhet efter förslutning samt teknikutveckling avseende hantering av det använda kärnbränslet i de olika delarna av KBS-3-systemet.
- **Kapsel för använt kärnbränsle**
Planerad forskning syftar till att komplettera kunskapen om egenskaper hos kapselns kopparhölje och insats inför kommande säkerhetsredovisningar. Teknikutvecklingsinsatser avseende kapseltillverkning, kontroll och verifikation mot ställda krav planeras att genomföras.
- **Cementbaserade material**
SKB planerar genomföra forskning vars syfte är att öka processförståelsen och kunskapen om de cementbaserade materialens egenskaper och utveckling över tidsperioden för analys av säkerhet efter förslutning. Planerna för teknikutveckling avser utformning av betongkonstruktioner, material och produktionsmetoder för de olika slutförvaren.
- **Lerbarriärer, pluggar och förslutning**
SKB planerar att genomföra forskning kopplad till bentonitmaterialets utveckling efter installation och fram till förslutning, samt materialets utveckling efter vattenmättnad. Teknikutvecklingsinsatser planeras avseende installation av buffert och återfyllnad, samt inom förslutning av borrhål och förvar.



- **Berg**
Redovisade planer för forskning rör byggbarhet och dimensionering av slutförvaren, samt detaljundersökningar under förvarens uppförande.
- **Ytekosystem**
Planerade forskningsaktiviteter syftar till att skapa underlag för beräkningar av potentiell radioaktiv dos till människor och miljön i analysen av slutförvarens säkerhet efter förslutning.
- **Klimat och klimatrelaterade processer**
SKB:s planerade forskningsaktiviteter syftar till att minska osäkerheter i analyserna av slutförvarens säkerhet efter förslutning.

2 Övergripande synpunkter på Fud-program 2025

2.1 Struktur och innehåll i SKB:s redovisning

SKB:s redovisning

Fud-program 2025 är indelat i fem kapitel:

- Kapitel 1 – *Introduktion* är en introduktion till redovisningen med förutsättningar, en återblick på Fud-program 2022 samt en sammanfattning av milstolpar som uppnåtts under den gångna Fud-perioden.
- Kapitel 2 – *Beskrivning av avfallssystemet* beskriver systemet för omhändertagande av kärnavfall och använt kärnbränsle.
- Kapitel 3 – *Plan för genomförande* redovisar övergripande genomförandeplaner för återstående delar av avfallssystemet. Kapitlet redovisar också handlingsalternativ och åtgärder för att hantera eventuella större förändringar av planeringsförutsättningarna.
- Kapitel 4 – *Fortsatt forskning och utveckling* redovisar uppnådda resultat under den gångna Fud-perioden (åren 2023-2025) och de forsknings- och utvecklingsinsatser som planeras att genomföras under Fud-perioden (åren 2026-2031) för de återstående delarna av kärnavfallsprogrammet.
- Kapitel 5 – *Arbetsätt, kompetens och resurser* redovisar behov för att på ett säkert och kostnadseffektivt sätt genomföra den forskning och utveckling som behövs för att uppföra och ta i drift de nya anläggningarna.

SSM:s bedömning

SSM konstaterar att SKB, som en följd av regeringens beslut att bevilja tillstånd för utbyggnaden av SFR och för KBS-3-systemet, förenklat strukturen för redovisningen av Fud-program 2025 samt minskat detaljeringsgraden avseende forsknings- och utvecklingsinsatser som rör tillståndsgiven verksamhet.

2.2 Remissinstansernas övergripande synpunkter

I detta avsnitt redogörs för remissinstansernas övergripande synpunkter på Fud-program 2025. Mer tekniska och detaljerade synpunkter redovisas i anslutning till respektive avsnitt i rapporten i anslutning till SSM:s bedömningar.

Chalmers tekniska högskola konstaterar att SKB:s verksamhet gått in i en mer byggorienterad fas och vill sammanfattningsvis understryka vikten av att svensk forskning inom kärnavfallshantering fortsatt håller hög klass och att nationell kompetens bevaras och utvecklas, även i en mer byggorienterad fas.

Linnéuniversitetet välkomnar det gedigna programmet för fortsatt forskning och utveckling som presenteras i kapitel 4. Universitetet betonar vikten av att detta arbete fullföljs och ser samtidigt behov av kompletteringar inom några områden.

Länsstyrelsen i Kalmar län anser sammanfattningsvis att Fud-programmen spelar en viktig roll för allmänhetens insyn, att även tillståndsgivna verksamheter bör omfattas av Fud-programmet, att det kan finnas behov av att klimat- och klimatrelaterade processer behöver utredas för SFL, Slutförvar för långlivat avfall samt att SKB bör redogöra för fler samlade utmaningar inom ramen för nästa Fud-program och konsekvenserna av dem.



Östhammars kommun anser att Fud-programmet är en värdefull del av det svenska kärnkraftsprogrammet samt en viktig del i arbetet med öppenhet och insyn. Kommunen understryker att den öppenhet och insyn som hittills präglat slutförvarsfrågan har varit viktig för att skapa förtroende för processen och för förankring och förståelse i lokalsamhället. Kommunen fokuserar i sitt yttrande på de delar där kommunen ser att det finns behov av ökad information och tydlighet för fortsatt förtroende och förståelse för processen och de föreslagna lösningarna.

Lunds universitet vill i sitt remissvar understryka vikten av att låg- och medelaktivt avfall från icke kärnteknisk verksamhet prioriteras inom Fud-programmet. Universitetet anser att tillgång till ändamålsenliga mottagare för detta avfall är en förutsättning för att kunna bedriva verksamhet med strålning på ett säkert och lagligt sätt.

Styrelsen för ackreditering och teknisk kontroll (Swedac) noterar att programmet på flera ställen nämner kontrollorgan och provning som ska utföras. Swedac vill uppmärksamma att det saknas information om huruvida kontrollorgan och provning också ska vara ackrediterade. I övrigt har Swedac inga synpunkter på programmet.

Miljövänner för Kärnkrafts helhetsintryck är att programmet är realistiskt och väl genomfört hittills och att planerna framöver är väl genomtänkta inom nuvarande lagstiftnings ramar.

Lokala säkerhetsnämnden vid Oskarshamns kärnkraftverk gör bedömningen att programmet ger en utförlig och tydlig beskrivning av det svenska avfallssystemet och hur det planeras att genomföras. Vidare ger programmet en övergripande beskrivning av uppnådda resultat av forsknings- och utvecklingsverksamheten under den gångna Fud-perioden samt planerade insatser för kommande period.

Statens geotekniska institut (SGI) anser över lag att programmet är avskalat och allmänhållet. SGI saknar motivering för vilken forskning som kommer att bedrivas de kommande åren och hur kvarstående osäkerheter kommer att hanteras. SGI förstår att detta föranleds av att den preliminära säkerhetsredovisningen har lämnats in för granskning, och att mer detaljerade program för bland annat undersökningar har lämnats in. De övergripande formuleringarna i Fud-2025 gör det svårt att yttra sig specifikt i de tekniska frågeställningarna. För dessa frågeställningar redovisas kort uppnådda resultat samt planerade aktiviteter i kommande program. SGI anser att programmet skulle bättre uppfylla sitt primära mål genom att kort sammanfatta hur de uppnådda resultaten bidrar till förbättrad platsförståelse och minskade osäkerheter, och hur de ligger till grund för kommande aktiviteter.

Kungl. Vetenskapsakademien (KVA) anser att Fud-program 2025 är välstrukturerat och detaljerat. Avsnitten om pågående och planerade forsknings- och teknikutvecklingsinsatser ger en god nulägesbeskrivning som leder till logiska och välmotiverade programförslag för framtiden, utgående från nuvarande förutsättningar.

Naturvårdsverket avgränsar sitt yttrande till att omfatta den mycket begränsade frågan om forskning kring framtida hantering av det mycket lågaktiva avfallet i markförvar, vilket är en viktig fråga men utanför ramen för SSM:s granskning och utvärdering av Fud-program 2025. Naturvårdsverket tar inte ställning till övriga frågor.

Stockholms universitet anser att Fud-program 2025 tydligt beskriver hur situationen har ändrats sedan föregående Fud-program och hur det påverkar fokus och omfattningen av det aktuella programmet – nämligen att 1) det sker en generell avveckling av kärntekniska anläggningar, med allt vad detta innebär för avfall, 2) Svensk Kärnbränslehantering AB



(SKB) har fått tillstånd för KBS-3 (SKB:s metod för att ta hand om det använda kärnbränslet) och att bygga ut Slutförvaret för kortlivat radioaktivt avfall, samt att dessa anläggningar övergår till tillståndsgivna anläggningar under tillsyn av Strålsäkerhetsmyndigheten och 3) arbetet med inkapslingsanläggningen och Slutförvarsanläggning för använt kärnbränsle börjar. Samtidig redovisas inte längre detaljerade planer för forskning och utveckling i Fud-programmet vilket enligt universitetet medfört att öppenhet och insyn i SKB:s redovisning av forskning och utveckling har försämrats och förutsättningar för remissinstansernas att granska programmet har försämrats.

Kävlinge kommun har inget att erinra mot föreslagen inriktning av Fud-program 2025 och välkomnar fortsatt forskning och utveckling för att möjliggöra säkert slutförvar för både kärnbränsle och rivningsmassor av nedmonterade anläggningar.

Oskarshamns kommun har tagit del av Fud-program 2025 ur ett översiktligt perspektiv och har inte tagit ställning till innehållet i programmet ur ett naturvetenskapligt eller tekniskt perspektiv. Ur ett översiktligt perspektiv har kommunen inget att erinra mot innehållet i programmet.

Miljöorganisationernas kärnavfallsgranskning (MKG) hänvisar till det remissyttrande över Fud-program 2022 som föreningen lämnade in tillsammans med Naturskyddsföreningen och Jordens Vänner. MKG konstaterar att det mesta av det som står i yttrandet över det föregående Fud-programmet har hög aktualitet tre år senare och menar att det som påpekades då i stora stycken har lika hög giltighet när det gäller innehållet i Fud-program 2025 och behoven av svensk kärnavfallsforskning från idag och långsiktigt framåt.

Sveriges Kärntekniska Sällskap och Women in Nuclear anser att Fud-program 2025, liksom tidigare Fud-program har en god struktur med en tydlig redovisning av övergripande planer, prioriteringar, forskningsportfölj, ställningstaganden och aktiviteter. Föreningarna anser att det vore önskvärt att få en något tydligare redovisning av vilka aktiviteter som de facto har genomförts efter att regeringstillstånden för en utbyggnad av SFR och för slutförvarssystemet för använt kärnbränsle meddelades.

Sveriges geologiska undersökning (SGU) framhåller att SKB bedriver forskning av hög kvalitet som har haft stor betydelse för geovetenskaplig kunskapsuppbyggnad i Sverige. SGU konstaterar att Fud-program 2025 omfattar ett stort antal ämnesområden och att dokumentet kortfattat redovisar resultat med fokus på de senaste årens Fud-program i punktform. SGU anser att Fud-program 2025 är mindre utförligt och transparent i jämförelse med föregående Fud-program och att det därmed är svårt för SGU att bedöma den prioritering mellan olika möjliga forskningsområden som SKB väljer i sitt program för den kommande perioden.

Folkkampanjen mot kärnkraft och kärnvapen i Sundsvall (Fmkk Svall) anser att Fud-program 2025 i sin nuvarande utformning inte uppfyller sitt syfte enligt lagstiftningen. Fmkk Svall bedömer att Fud-program 2025 i huvudsak utgår från att KBS-3-metoden redan är det givna slutliga valet. Enligt föreningen leder det till att forskning och utveckling främst inriktas på detaljfrågor inom ett redan fastlagt koncept, snarare än på att kritiskt pröva om metoden som sådan är långsiktigt säker och förenlig med försiktighetsprincipen. Enligt Fmkk Svall bör Fud-program utgöra ett strategiskt instrument för att identifiera och hantera kunskapsluckor, inte ett verktyg för att konsolidera metodval.

Miljörörelsens Kärnavfallssektariat (Milkas) anser sammanfattningsvis att SKB, SSM och regeringen måste efterfölja Kärntekniklagen och Miljöbalken, som är till för att skydda människan, djur och växter mot gifter och radioaktiv joniserande strålning.



Kungl. Tekniska högskolan (KTH) anser att SKB:s Fud-program 2025 överlag är tydligt beskrivet. KTH är dock kritiskt till att resultat från pågående forskning inte har beaktats.

3 Verksamhet och handlingsplan

SKB redogör i kapitel 1-3 samt i kapitel 5 på en övergripande nivå för bolagets verksamhet och handlingsplan för kärnavfallsprogrammet.

3.1 Introduktion

SKB:s redovisning

I kapitel 1 ges en introduktion till Fud-program 2025, det vill säga SKB:s program för forskning, utveckling och demonstration av metoder för hantering och slutförvaring av kärnavfall och använt kärnbränsle.

I avsnitt 1.1 redogör SKB för förutsättningarna för att säkert ta hand om kärnavfall och använt kärnbränsle. Dessa förutsättningarna utgörs av gällande regelverk, grundläggande principer för genomförandet samt politiska inriktningsbeslut, reaktorernas planerade driftstider samt principerna för indelning av kärnkraftens restprodukter i olika avfallskategorier.

I avsnitt 1.1.1 redovisar SKB, med hänvisning till 10-12 §§ i kärntekniklagen, att bolaget på uppdrag av reaktorinnehavarna och dess ägare, svarar för hantering och slutförvaring av kärnavfallet och det använda kärnbränslet från de svenska kärnkraftverken. I avsnittet redogörs också för hur ansvaret för att omhänderta kärnavfallet från avvecklingen av kärnkraftsreaktorer fördelas mellan reaktorinnehavarna och SKB. Av redovisningen framgår vidare att det är SKB som på uppdrag av och i samarbete med reaktorinnehavarna och deras huvudägare utarbetar Fud-programmen och lämnar dem till SSM.

SKB redovisar i avsnitt 1.1.2 de grundläggande principer för ansvar och omhändertagande av radioaktivt avfall och använt kärnbränsle som följer av lagstiftningen samt de principer som ligger till grund för förläggning och utformningen av SKB:s slutförvar.

I avsnitt 1.1.3 redovisar SKB att för de sex kärnkraftsreaktorer som är i drift är den planerade drifttiden 60 år, vilket innebär att Forsmark 3 och Oskarshamn 3 kommer att vara i drift till 2045.

I avsnitt 1.1.4 redogör SKB hur radioaktivt avfall och använt kärnbränsle delas in i kategorier efter aktivitetsinnehåll och de radioaktiva ämnenas halveringstid. I avsnittet redogör SKB också övergripande för hur olika avfallskategorier hanteras och slutförvaras.

SKB redogör i avsnitt 1.1.5 för de tillståndsprocesser som är aktuella för kärntekniska anläggningar under deras livscykel, det vill säga från och med att ansökningar om tillstånd enligt kärntekniklagen bereds av SSM och ansökningar om tillåtlighet enligt miljöbalken bereds av mark- och miljödomstolen inför regeringens beslut om tillstånd respektive tillåtlighet ända till och med att regeringen enligt kärntekniklagen beslutar om slutlig förslutning av slutförvar.

I avsnitt 1.2 konstaterar SKB att Fud-programmets fokus har varierat genom åren beroende på var tyngdpunkten i SKB:s respektive reaktorinnehavarnas verksamhet har legat. SKB beskriver också hur intresserade läsare kan ta del av korta sammanfattningar av tidigare redovisade program.

I avsnitt 1.2.1 redovisar SKB en tillbakablick dels på innehållet i Fud-program 2022, dels på den återkoppling regeringen, SSM och Kärnavfallsrådet gav efter granskning och utvärdering av programmet. I avsnittet redovisar SKB vidare att bolaget genomfört tre informationsmöten med SSM avseende redovisning av fortsatt forskning och teknikutveckling för anläggningar som av regeringen beviljats tillstånd enligt kärntekniklagen.

I avsnitt 1.2.2 redovisar SKB för viktiga händelser under den gångna Fud-perioden, dels för systemet för låg- och medelaktivt avfall, dels för KBS-3-systemet.

SKB redogör i avsnitt 1.2.3 för hur innehållet i Fud-program 2025 har anpassats på grund av de ändrade förutsättningar som följer av regeringens beslut att bevilja tillstånd enligt kärntekniklagen för utbyggnaden av SFR och för KBS-3-systemet.

SSM:s bedömning

SSM bedömer att SKB:s redovisning ger en introduktion till utgångspunkter för bolagets kärnavfallsprogram och dess kopplingar till det kärnkraftsprogram som SKB:s ägare, det vill säga reaktorinnehavarna och dess ägare, står bakom.

SSM bedömer vidare att SKB:s redogör för det regelverk som styr redovisningen av Fud-program.

SSM konstaterar att de informationsmöten mellan myndigheten och bolaget som SKB hänvisar till är dokumenterade i ärende SSM2024-1604.

SSM bedömer att en anpassning av innehållet i Fud-program följer av regeringens tillståndsbeslut. Det innebär samtidigt förväntningar på att kommande Fud-program innehåller en mer sammanhållen och detaljerade redovisning av ej tillståndsgiven verksamhet. I kapitel 4 av denna granskningsrapport redovisas SSM:s bedömning av Fud-programmets redovisning avseende slutförvaring av långlivat låg- och medelaktivt avfall.

3.2 Beskrivning av avfallssystemet

SKB:s redovisning

SKB redovisar inledningsvis i kapitel 2 att avfallssystemet består av två huvuddelar, systemet för låg- och medelaktivt avfall, systemet för det använda kärnbränslet (KBS-3-systemet), samt ett gemensamt transportsystem. Avfallssystemet är, när det färdigställts, utformat för att omhänderta allt använt kärnbränsle och kärnavfall från reaktorinnehavarnas och SKB:s anläggningar.

I avsnitt 2.1 redovisar SKB att systemet för låg- och medelaktivt avfall består av anläggningar för hantering, behandling, mellanlagring och deponering, samt att det inom systemet finns både anläggningar som drivs av SKB och anläggningar som drivs av reaktorinnehavare.

I avsnitt 2.1.1 redovisar SKB att kortlivat låg- och medelaktivt avfall behandlas i anläggningar vid kärnkraftverken, på Studsviksområdet och i Clab så att avfallet uppfyller de krav som ställs för friklassning eller för deponering i markförvar respektive i SFR. Vidare redovisas att det vid kärnkraftverken finns anläggningar för mellanlagring av avfall i väntan på behandling, förpackning eller deponering. Deponering av avfall med mycket låg aktivitet sker i markförvar vid kärnkraftverken i Forsmark, Oskarshamn och Ringhals.

Avsnitt 2.1.1 avslutas med en redovisning av SFR. Vid SFR, som varit i drift sedan 1988, pågår en utbyggnad för att ge utrymme att slutförvara avfall från återstående drift och avveckling av de svenska kärnkraftverken.

I avsnitt 2.1.2 redovisar SKB att det vid kärnkraftverken finns möjlighet att behandla vissa typer av det långlivade låg- och medelaktivt avfallet och placera det i behållare för mellanlagring. Vidare redovisas att mellanlagring av långlivat avfall för närvarande sker i



anslutning till kärnkraftverken, i Clab och på Studsviksområdet. Avslutningsvis redovisar SKB övergripande sina planer för att slutförvara långlivat avfall.

I avsnitt 2.2 redovisar SKB att KBS-3-systemet omfattar de anläggningar som krävs för genomförande av KBS-3-metoden. I Clab, som varit i drift sedan 1985, mellanlagras det använda kärnbränslet. I anslutning till Clab kommer uppföras en anläggningsdel för inkapsling av använt kärnbränsle i kopparkapslar och de båda anläggningsdelarna kommer därefter att drivas integrerat som en anläggning, Clink. Vidare redovisar SKB, med utgångspunkt från en sammanfattning av KBS-3-metoden, utformningen och funktionen av slutförvaret för använt kärnbränsle.

I avsnitt 2.3 redovisar SKB att transportsystemet består av ett fartyg, terminalfordon och olika typer av transportbehållare. Normalt genomförs årligen mellan 30 och 40 transporter av kärnavfall och använt kärnbränsle mellan kärnkraftverken, Studsviksområdet, SFR och Clab.

I avsnitt 2.4 redovisar SKB med utgångspunkt från de krav som följer av att Sverige anslutit sig till icke-spridningsfördraget arbetet med ett sammanhållet system för kärnämneskontroll för KBS-3-systemet sin helhet, det vill säga för samtliga i systemet ingående anläggningar och för transportsystemet.

SSM:s bedömning

SSM:s bedömning är att SKB:s redovisning av kärnavfallssystemet är tillräckligt omfattande för att bidra till Fud-programmets roll för öppenhet och insyn i verksamheten.

3.3 Plan för genomförande

3.3.1 Genomförandeplan för kärnavfallsprogrammet

SKB:s redovisning

I avsnitt 3.1 redovisar SKB den övergripande aktivitets- och milstolpeplanen för kärnavfallsprogrammet. Bolagets planering för utbyggnad och uppförande av nya anläggningar utgår från de olika tillstånd och medgivanden som erfordras enligt den stegvisa process som redovisas i avsnitt 1.1.5 av Fud-program 2025.

SSM:s bedömning

SSM konstaterar att på övergripande nivå är den genomförandeplan SKB redovisar i Fud-program 2025 oförändrad vid jämförelse med den plan som presenterades vid föregående redovisningstillfälle.

3.3.2 Planering för låg- och medelaktivt avfall

I avsnitten 3.2.1 respektive 3.2.2 redovisar SKB planer för kortlivat och långlivat låg- och medelaktivt avfall. SSM:s bedömning av SKB:s redovisning av slutförvar för långlivat avfall redovisas i kapitel 4 i denna rapport.

SKB:s redovisning

I avsnitt 3.2.1 redovisar SKB planer för hantering av kortlivat avfall. Utbyggnaden av SFR pågår och parallellt kommer en uppgradering av den befintliga anläggningen att genomföras. Enligt SKB:s planer kommer den sammanslagna anläggningen vara klar för provdrift i början av 2030-talet. Under pågående utbyggnad råder deponeringsstopp vilket medför att såväl driftavfall som rivningsavfall behöver mellanlagras. SKB redovisar att det kortlivade rivningsavfallet huvudsakligen kommer att mellanlagras på kraftverksområdena.

SSM:s bedömning

SSM konstaterar att SKB:s redovisning sammanfattar vad bolaget redovisat till myndigheten inom ramen för stegvisa prövning av säkerhetsredovisning. SSM bedömer att redovisningen avseende planering av kortlivat låg- och medelaktivt avfall är ändamålsenligt givet Fud-programmets syfte.

3.3.3 Planering för använt kärnbränsle**SKB:s redovisning**

I avsnitt 3.3 redovisar SKB planeringen för anläggningarna i KBS-3-systemet och konstaterar att Clab i nuläget är den enda anläggningen i drift. Det återstår att uppföra en anläggningsdel för inkapsling av använt kärnbränsle i kopparkapslar i anslutning till Clab varefter de båda delarna kommer drivas i en integrerad anläggning benämnd Clink. Det återstår också att uppföra SFK, Slutförvaret för använt kärnbränsle.

I avsnitt 3.3.1 redovisas de åtgärder SKB kommer genomföra för att frigöra förvaringsutrymme i Clab tills utlastning av mellanlagrat använt kärnbränsle kan påbörjas i samband med provdrift av Clink och SFK. Utrymme frigörs dels genom omlastning från normal-kassetter till kompaktkassetter och genom urlastning av hårdkomponenter för mellanlagring på annan plats.

I avsnitt 3.3.2 redovisar SKB att konstruktionsarbete för inkapslingsdelen av Clink pågår, liksom arbete med att ta fram underlagshandlingar till en ansökan om godkännande av PSAR Clink. SKB redovisar övergripande aktiviteter och milstolpar i den stegvisa prövningen fram till Clink kan tas i rutinmässig drift. Avslutningsvis redovisas att SKB under Fud-perioden kommer att genomföra förnyade analyser och planering av produktionssystemet för kopparkapslar.

I avsnitt 3.3.3 redovisar SKB att bolaget erhållit de beslut som krävs för att påbörja markarbeten vid platsen där SFK ska uppföras samt att man förbereder uppförandet av undermarksdelar. Vidare redovisas de förberedande aktiviteter som sker parallellt med prövningen av ansökan om godkännande av PSAR SFK. På övergripande nivå redovisar SKB de aktiviteter och milstolpar i den stegvisa prövningen fram till att SFK kan tas i rutinmässig drift.

SSM:s bedömning

SSM konstaterar att SKB:s redovisning sammanfattar vad bolaget redovisat till myndigheten inom ramen för stegvis prövning av säkerhetsredovisning. SSM bedömer att redovisningen avseende planering av KBS-3-systemet är ändamålsenligt givet Fud-programmets syfte.

3.3.4 Planering för mycket lågaktivt avfall**SKB:s redovisning**

I avsnitt 3.4 redovisas planeringen för hantering av mycket lågaktivt avfall. I dagsläget har befintliga anläggningar den kapacitet som behövs för att hantera driftsavfallet, men avfallsvolymer kommer att öka väsentligt i samband med avveckling av kärnkraftsreaktorer. Enligt SKB är prognoserna för avfallstypen osäkra både med avseende på uppskattade totalmängder och fördelning mellan olika avfallskategorier. Förutom en översyn av prognoserna kommer ett kontinuerligt förbättringsarbete för att minska avfallsvolymer fortsätta. Avslutningsvis redovisas att reaktorinnehavarna ser ett behov av markförvar för att omhänderta de stora volymer mycket lågaktivt avfall som genereras i samband med nedmontering och rivning av reaktorerna.

SSM:s bedömning

SSM konstaterar att redovisningen i avsnitt 3.4 ger en översiktlig beskrivning av planeringen för mycket lågaktivt avfall. SSM bedömer att redovisningen avseende denna avfallstyp är ändamålsenligt givet Fud-programmets syfte.

3.3.5 Planering för avveckling av kärntekniska anläggningar**SKB:s redovisning**

I avsnitt 3.5 beskrivs planeringen för avvecklingen av kärntekniska anläggningar. De anläggningar som beskrivs omfattar samtliga kärnkraftsreaktorer med tillhörande kärntekniska anläggningar samt SKB:s anläggningar. De kärnkraftsreaktorer som beskrivs omfattar reaktorerna på Barsebäck (B1 och B2), Forsmark (F1, F2, F3), Oskarshamn (O1, O2, O3) och Ringhals (R1, R2, R3, R4) samt Ågestareaktorn. För berörda kärnkraftsbolag redovisas även avvecklingen av bolagens övriga kärntekniska anläggningar. Tidplaner och övriga principer för avvecklingen och avfallshanteringen beskrivs övergripande, men för detaljer hänvisas till tillståndshavarnas avfallsplaner, avvecklingsplaner och prognoser för rivningsavfall. Ågestareaktorn beskrivs övergripande och för den anläggningen förväntas den sista friklassningsansökan kunna skickas in till myndigheten under 2025 och permanent förslutning av bergrummet planeras ske efter erhållna friklassningsbeslut.

SKB redovisar information om anläggningarna: Clab, Clink, SFR, SFK, SFL och hur avvecklingen av dessa anläggningar förhåller sig i tid till avvecklingen av övriga kärntekniska anläggningar inom systemet. Det beskrivs vilka av anläggningarna som har avvecklingsplaner, och när avvecklingsplaner för ej tillståndsgivna anläggningar avses tas fram och anmälas till myndigheten. För dessa anläggningar planeras det ske i samband med ansökan om uppförande av respektive anläggning.

SSM:s bedömning

SSM konstaterar att redovisningen i avsnitt 3.5 ger en översiktlig beskrivning av planeringen av avvecklingen och att SKB anger att detaljerad information finns, eller kommer finnas, i avvecklingsplaner och avfallsplaner. SSM har inte identifierat några motstridigheter i SKB:s redovisning i förhållande till det som framkommit i SSM:s tillsyn av respektive tillståndshavare. Baserat på detta bedömer SSM att redovisningen i Fud-program 2025 avseende planeringen av avvecklingen är tillräcklig.

3.3.6 Planering för transporter**SKB:s redovisning**

I avsnitt 3.6 redovisar SKB att beläggningen på transportsystemet kommer att öka från och med 2030-talet då inkapslat kärnbränsle kommer att transporteras från Clink till SFK parallellt med transporter av rivningsavfall till SFR. Vidare uppstår ett ökat behov av transporter som en följd av det deponeringsstopp som råder under utbyggnaden av SFR. Eftersom det i dagens transportsystem finns överkapacitet bedömer SKB att detta inte kommer bli gränssättande för genomförande av kärnavfallsprogrammet.

SKB redovisar vidare att transportsystemet kommer kompletteras med en KTB, en behållare för transport av kapslar, när KBS-3-systemet tas i drift. Transportsystemet kommer också att kompletteras med en ny typ av transportbehållare för långlivat medelaktivt avfall.

SSM:s bedömning

SSM konstaterar att redovisningen ger en översikt av planeringen för transporter och bidrar till den öppenhet och insyn i SKB:s planer och program som lagstiftningen syftar till.

3.3.7 Handlingsalternativ vid förändrade förutsättningar

SKB:s redovisning

I avsnitt 3.7 redovisas ett antal möjliga förändringar av de förutsättningar och antaganden som SKB:s och reaktorinnehavarnas genomförandeplan för kärnavfallsprogrammet baseras på, det vill säga de förutsättningar och antaganden som gäller för kärnkrafts- och kärnavfallsprogrammen idag. Enligt SKB finns olika slag av osäkerheter men gör bedömningen att verksamheten medger en stor flexibilitet.

I avsnitt 3.7.1 redovisar SKB att den planerade drifttiden för de sex reaktorer som är i drift är 60 år. Vidare redovisas hur behovet av kapacitet i slutförvarsanläggningarna påverkas av en förlängning respektive en förkortning av kärnreaktorernas drifttider.

I avsnitt 3.7.2 redovisas att de alternativ som finns för deponering av mycket lågaktivt avfall är markförvar eller bergsal för lågaktivt avfall (BLA) i SFR. Vidare redovisas att BLA är en strålsäkerhetsmässigt betydligt mer avancerad anläggning än ett markförvar. SKB uppger att den nuvarande inriktningen är att mycket lågaktivt avfall deponeras i markförvar, men skulle kunna deponeras i BLA om det finns plats där efter att allt lågaktivt avfall från nedmontering och rivning av reaktorerna deponerats.

I avsnitt 3.7.3 redovisar SKB osäkerheter i den gällande planeringen avseende SFL. SSM:s bedömning av SKB:s redovisning av detta slutförvar redovisas i kapitel 4 i denna rapport.

I avsnitt 3.7.4 redovisar SKB effekter av en senare- respektive tidigareläggning av driftsättning av KBS-3-systemet. Om det vid en senareläggning skulle visa sig bli nödvändigt finns möjlighet att utöka kapaciteten för mellanlagring av det använda kärnbränslet med någon av lagringsmetoderna våt eller torr lagring. SKB bedömer möjligheterna att ta KBS-3-systemet i drift väsentligt tidigare än planerat som små.

SSM:s bedömning

SSM bedömer att SKB:s redovisning inte tillräckligt väl beskriver hur förlängda drifttider för anläggningar inom systemet för omhändertagande av använt kärnbränsle har värderats, samt handlingsalternativ om det i en sådan värdering identifieras begränsningar, eller behov av utvecklingsinsatser till följd av tekniska, naturvetenskapliga eller systemfrågor till följd av att förlängda drifttider för reaktorer (avsnitt 3.7.1) också medför förlängda drifttider för befintliga eller planerade anläggningar; eller etablering av tillkommande kapacitet för lagring och slutförvaring. Såväl handlingsalternativ med att förlänga drifttider för anläggningar för mellanlagring och slutförvaring som handlingsalternativ att planera för nya tillstånd är något som SSM bedömer bör belysas i kommande Fud-program. SSM efterfrågar att det tydligare redovisas tidpunkter för omhändertagande av bränsle från de sista reaktoråren med hänsyn till behov av mellanlagring för att nå egenskapskraven för slutförvaring och vad det innebär i fråga om tidpunkt för avveckling av anläggningar för mellanlagring och slutförvaring.

I övriga frågor av betydelse för handlingsalternativ bedömer SSM att SKB:s redovisning av ger en översiktlig beskrivning av konsekvensanalyser för scenarier med förlängda eller förkortade drifttider för dagens kärnkraftreaktorer. SKB:s redovisning av handlingsalternativ för deponering av mycket lågaktivt avfall är tydlig. Avslutningsvis bedömer SSM att SKB:s redovisning tydliggör de effekter på behovet av kapacitet för mellanlagring av använt kärnbränsle som en senareläggning av driftsättningen av KBS-3-systemet får.



3.4 Arbetsätt, kompetens och resurser

I kapitel 5 redogör SKB för det systematiska arbetsätt som bolaget tillämpar för genomförandet av den forskning, utveckling och demonstration som behövs för att kunna uppföra och ta i drift de nya anläggningarna.

Kapitlet fokuserar på den iterativa processen att utveckla, implementera och utvärdera slutförvar för kärnavfall och använt kärnbränsle, vilket innefattar forskning och teknikutveckling samt utvärdering av säkerhet under drift och efter förslutning.

SKB understryker att beskrivningen inte täcker in det arbetsätt som bolaget tillämpar för anläggningar i drift och som regleras av SSM:s föreskrifter.

3.4.1 Fud-programmets roll för öppenhet och insyn

SKB:s redovisning

Avsnitt 5.1 avhandlar frågan om Fud-programmets roll för öppenhet och insyn. SKB konstaterar att Fud-processen har utgjort en viktig del av den kontinuerliga kunskapsuppbyggnaden och de successiva vägval som gjorts för frågor kring utveckling av slutförvarssystemet. SKB menar att Fud-programmet bidragit till öppenhet och insyn i forsknings- och utvecklingsfrågor och möjliggjort för intressenter att följa och påverka utvecklingen av kärnavfallsprogrammet.

I avsnittet redovisas också aktiviteter som SKB genomför för att sprida resultat från den forskning som bolaget bedriver. Särskilt framhålls betydelsen av internationellt samarbete för att såväl pröva erhållna forskningsresultat som för att få idéer och uppslag till fortsatt arbete.

SSM:s bedömning

SSM bedömer att SKB vid utarbetandet av Fud-program 2025 har beaktat hur redovisningen kan bidra till öppenhet och insyn i kärnavfallsprogrammet.

3.4.2 Forskning

SKB:s redovisning

I avsnitt 5.2.1 redovisar SKB att forskningsprogrammet i hög grad drivs av behovet att analysera förvarens säkerhet efter förslutning. Enligt SKB flyttas fokus från forskning och principlösningar till teknikutveckling av kvalitetsstyrda industrialiserade system när uppförandet av nya anläggningar påbörjas, men framhåller samtidigt att forskningsinsatser och säkerhetsvärderingar kommer behövas vid till exempel framtagandet av konstruktionsförutsättningar och för att verifiera att framtagna tekniska lösningar uppfyller dessa. SKB beskriver också att nya frågor kan förväntas tillkomma till följd av:

- Platsundersökningar
- Nya eller förändrade avfallstyper
- Utveckling i det vetenskapliga samfundet eller inom kärnavfallsorganisationer i andra länder
- Synpunkter från SSM och remissinstanser vid granskning av Fud-program och i samband med tillståndsprövningar.

I avsnitt 5.2.2 redovisar SKB att grundprincipen bolaget utgår ifrån är att forskningsresultat ska publiceras i öppen litteratur så att extern granskning underlättas. I avsnittet exemplifieras hur SKB arbetar för att också sprida sina forskningsresultat utanför vetenskapsvärlden.



SSM:s bedömning

SSM bedömer att redovisningen är ändamålsenlig och bidrar till den öppenhet och insyn i SKB:s planer och program som lagstiftningen syftar till.

3.4.3 Teknikutveckling

SKB:s redovisning

I avsnitt 5.3 redovisar SKB målet med bolagets teknikutveckling och understryker att hantering och slutförvaring av avfallet ska ske på ett styrt, kontrollerat och rationellt sätt samtidigt som krav på säkerhet efter förslutning, låg stråldos vid drift av anläggningarna samt begränsad miljö- och klimatpåverkan uppfylls.

SKB beskriver i avsnitt 5.3.1 hur bolagets teknikutveckling styrs och bedrivs fram till att anläggningar i slutförvarssystemet tas i rutinmässig drift.

I avsnitt 5.3.2 redovisar SKB processen för styrning av teknikutveckling och ger exempel på kravområden, utöver säkerheten efter förslutning, som behöver beaktas för att sammantaget säkerställa en robust anläggning som är möjlig att driva effektivt samtidigt som den producerar ett acceptabelt slutförvar. Avslutningsvis noterar SKB att teknikutvecklingen för SFK kommer att fortsätta under uppförandet som en följd av en lång uppförandetid.

I avsnitt 5.3.3 beskriver SKB gränssnittet mellan teknikutvecklingsprocessen och konstruktionsstyrmodellen som beskrivs i bolagets ledningssystem.

I avsnitt 5.3.4 redovisar SKB hur bolaget arbetar med kvalitetssäkring, styrning och kontroll det vill säga de åtgärder som behöver utföras för att säkerställa och ge tilltro till att de krav som ställs under drift och efter förslutning av slutförvarsanläggningarna och på de färdigbyggda slutförvararen uppfylls.

SSM:s bedömning

SSM bedömer att SKB:s redovisning ger en ändamålsenlig bild av hur bolaget bedriver teknikutveckling. SSM vill med anledning av redovisningen i avsnitt 5.3.2 upplysa om att SSM i prövningen av ansökan om godkännande av PSAR SFK har förtydligat att det i den prövningen ingår att ta ställning till den konstruktion och åtgärder i övrigt som är redovisad i PSAR SFK och att myndigheten inte tar ställning till alternativa konstruktionslösningar och anläggningsändringar m.m. som kan bli aktuella i framtiden och som SKB redogör för i de planer som SKB har bifogat PSAR-ansökan.

Redovisning av forsknings- och utvecklingsinsatser i kommande Fud-program anser SSM ska vara relaterade till kvarstående frågor och behov i programmet, till följd av nya frågor; samt att redovisa handlingsalternativ vid förändringar. Att i samband med redovisning av Fud-program inkludera utredningar om ändringar med andra syften, så som kostnads-effektiviseringar, anser SSM kommer medföra svårigheter att hålla bedömningarna om programmets ändamålsenlighet på en övergripande nivå. En sådan sammanblandning skulle kräva mer detaljerade redovisningar som tydliggör utvecklingsaktiviteternas syfte. Fud-program ska ha en omfattning och inriktning i överrensstämmelse med kärntekniklagens syfte.

SSM instämmer i beskrivningen i avsnitt 5.2.1 om att det även inom områden där det finns en omfattande kunskap kan finnas behov att även fortsättningsvis se till att nya frågeställningar omsätts i forsknings- eller utvecklingsinsatser.

SSM saknar uppgifter om innebörden av konstruktionsskedena för att kunna ta ställning till det som SKB beskriver i avsnitt 5.3.3 om förhållandet mellan teknikutvecklingssteg och bolagets konstruktionsstyrmodell.

Med anledning av SKB:s beskrivning i avsnitt 5.3.4 anser SSM att det i kommande Fud-program på ett tydligare sätt redovisas hur det i samband med teknikutveckling, validering samt utformning och genomförande av kontrollprogram säkerställs att eventuella behov av ytterligare forskning och utveckling omhändertas på ett systematiskt sätt.

3.4.4 SKB:s anläggningar för forskning, utveckling och demonstration

SKB:s redovisning

I avsnitt 5.4 redovisar SKB verksamheten vid bolagets anläggningar för forskning, utveckling och demonstration.

I avsnitt 5.4.1 redovisar SKB verksamheten vid Äspölaboratoriet i Oskarshamn, med en del under mark och tre anläggningar på markytan.

SKB redogör för den verksamhet som bedrivits vid berglaboratoriet sedan driftstarten 1995 samt att bolaget nu inlett avveckling/frånträde av laboratoriet och inte har för avsikt att använda det mer.

SKB beskriver vidare verksamheten vid Vattenkemilaboratoriet som i sin helhet planeras att flyttas till Forsmark under Fud-perioden.

SKB redovisar att man under den gångna Fud-perioden i Material- och forskningslaboratoriet etablerade metoder för bestämning av spårämnen i kopparmaterial.

Avslutningsvis redogör SKB för verksamheten i Testhallen där undersökningar av bentonitens egenskaper genomförs.

I avsnitt 5.4.2 redogör SKB för den nyetablerade verksamheten vid Vattenkemilaboratorium i Forsmark.

SKB redogör i avsnitt 5.4.3 för verksamheten vid Kapsellaboratoriet i Oskarshamn och redovisar bland annat att man 2024 ingick ett femårigt avtal om att svetsa bottenar till kopparkapslar åt Posiva, som ansvarar för slutförvaring av använt kärnbränsle i Finland.

SSM:s bedömning

SSM bedömer att SKB:s redovisning ger förståelse för den verksamhet som bedrivs vid bolagets anläggningar för forskning, utveckling och demonstration och därmed bidrar till den öppenhet och insyn i verksamhet som lagstiftningen syftar till.

3.4.5 IT-arbetsverktyg

SKB:s redovisning

I avsnitt 5.5 beskriver SKB övergripande hur bolaget tillsammans med reaktorinnehavarna förvaltar och utvecklar de databaser, modell- och beräkningsverktyg samt undersökningsmetoder och instrument för platsmodellering som används i genomförandet av det forsknings-, utvecklings- och projekteringsarbete som behövs för att avveckla kärnkraftverken, och slutförvara kärnavfallet.

SKB beskriver bland annat hur bolaget under de gångna Fud-perioden har följt med i den ökade användningen av AI inom kärnavfallsområdet.



SKB redovisar att man under den gångna Fud-perioden planerat för att flytta Instrumentförrådet, i vilket mätinstrument som används vid detaljundersökningar, och dess verksamhet från Oskarshamn till Forsmark för att effektivisera och förbättra stödet vid utbyggnad och uppförande av slutförvar.

SSM:s bedömning

SSM bedömer att SKB:s redovisning ger en ändamålsenlig överblick av hur de IT-verktyg som används i verksamheten förvaltas och utvecklas.

3.4.6 Kompetens, resurser och samarbeten

SKB:s redovisning

I avsnitt 5.6 beskriver SKB hur man arbetar för att tillgodose bolagets behov av kompetens och resurser på såväl lång som kort sikt. SKB redogör också för olika nationella och internationella samarbeten som bolaget deltar i för att bevara och utveckla kompetensen.

SKB:s redovisning är i stor utsträckning likalydande med redovisningen i närmast föregående Fud-program och bland särskilt intressanta förändringarna märks:

SKB redovisar att bolaget tillsammans med reaktorinnehavarna och dess ägare skapat vad som benämns Virtuellt avfallsorganisation (VTO) i syfte att stärka den industrigemensamma kompetensen samt samordningen och optimeringen av kärnavfallssystemet.

SKB nämner att man tillsammans med representanter från bolag inom kärnkraftsbranschen deltar i en sammanslutning benämnd Nationellt kompetensforum som genomför omvärldsbevakning och samverkan med inriktning mot kompetens och utbildningsfrågor.

SKB redovisar vidare att bolaget deltar i Posivas test inför ett slutligt funktionsprov av centrala delar i den finska slutförvarsavläggningen för att tillgodogöra sig lärdomar avseende planering inför egna framtida produktionslinjetester och samfunktionsprov.

SSM:s bedömning

SSM bedömer att SKB:s redovisning ger en ändamålsenlig inblick i hur bolaget arbetar för att tillgodose verksamhetens behov av kompetens.

SSM noterar att SKB anger att bolaget, i avvägningen mellan egen och inhyrd personal, har skyldigheter att ha egen personal med kompetens för att kunna styra och leda arbetet. SSM vill uppmärksamma på att föreskrifterna därtill anger att det ska finnas egen personal med kompetens för att bedöma resultaten av det arbete som utförs av entreprenör eller annan inhyrd personal.

SSM saknar en beskrivning av hur kompetensbehov för teknisk utveckling, genomförande av säkerhetsanalyser, tillståndsprovning och byggnation av SFL säkerställs vid samtidig uppförande och drift av utbyggnad av SFR och byggnation av SFK och Clink inom SKB:s organisation.



4 Slutförvar för långlivat avfall

Ett slutförvar för långlivat låg- och medelaktivt avfall är en ej tillståndsgiven kärnteknisk anläggning i avfallssystemet för omhändertagande av allt kärnavfall och använt kärnbränsle. Mot bakgrund av Fud-programmets övergripande syfte har SSM därför valt att samla SKB:s redovisning om detta slutförvar och SSM:s bedömning av denna redovisning i ett särskilt kapitel av granskningsrapporten.

I Fud-program 2025 redovisar SKB den övergripande planeringen för hantering och slutförvaring av långlivat avfall i avsnitt 3.2.2. I avsnitt 3.7.2 redovisas handlingsalternativ vid förändrade förutsättningar vid lokalisering och driftsättning av slutförvar för långlivat avfall. I avsnitt 4.2.1 redovisas de forsknings- och utvecklingsbehov som SKB identifierat för slutförvar för långlivat avfall.

Redovisning av nuläge och program för specifika forsknings- och utvecklingsinsatser under Fud-perioden som berör slutförvar för långlivat avfall bedöms i kapitel 5 av denna granskningsrapport.

SKB:s redovisning

SKB konstaterar att det återstår att utveckla lösningar för slutförvaring av långlivat låg- och medelaktivt avfall och att utformningen av ett framtida slutförvar för långlivat avfall befinner sig på konceptstadiet.

SKB redovisar att innan slutförvaring av långlivat avfall kan påbörjas så behöver viktiga milstolpar, såsom de nedanstående, passeras:

- Platsundersökningar
- Val av plats
- Analys av säkerheten efter förslutning
- Genomförd tillståndsprocess
- Uppförande

SKB uppger att man inför kommande säkerhetsanalyser genom karakterisering behöver skaffa sig bättre information om avfallet med det övergripande målet att få ett bättre specificerat inventarium. Enligt SKB är karakterisering av avfallet nödvändigt för att ta fram acceptanskriterier, anpassa behandlingsmetoder samt för utvecklingen av behållare och för anläggningsutformning.

SKB uppger att bolaget sedan tidigare har lagt fast nedanstående grundläggande förutsättningar för platser som kan bli aktuella för lokalisering av slutförvar för radioaktivt avfall:

- Säkerheten under drift och efter förslutning samt påverkan på miljön måste uppfylla kraven i kärntekniklagen och miljöbalken.
- Det lokala politiska och opinionsmässiga stödet behöver vara brett och stabilt.

SKB redovisar att man planerar att driva en stegvis lokaliseringsprocess med målsättningen att den ska vara öppen och transparent samt ske i samråd med SSM, berörda kommuner och andra intressenter, där de olika aktörernas förutsättningar tidigt är klarlagda och där processens olika steg är förankrade och kommunicerade.

Enligt SKB utgör den kunskap om Sveriges geologi som bolaget förvärvat genom tidigare lokaliseringsprocesser grund för arbetet, det vill säga underlaget för urval utgörs av alla områden i Sverige med data som behövs för värdering av säkerhet på 400–700 meters djup, exempelvis Forsmark, Simpevarp/Laxemar/Äspö och samtliga så kallade typområden från lokaliseringsprocessen för SFK.



SKB anger att bolaget i den kommande lokaliseringsprocessen kommer att använda den systematik, baserade på en indelning i lokaliseringsfaktorer, som utarbetades och tillämpades vid lokalisering av SFK. SKB uppger att man bland annat kommer att använda samma huvudgrupper av faktorer vid värdering och jämförelser av lokaliseringalternativ:

- Säkerhet efter förslutning
- Teknik och genomförande
- Miljö och hälsa
- Samhällsaspekter

Enligt den i Fud-program 2025 redovisade planen kommer SKB att inleda uppförandet av slutförvar för långlivat avfall i mitten av 2040-talet, inleda slutförvaring under 2050-talet och deponering pågå under cirka tio år. Enligt SKB bygger planeringen på ett scenario där slutförvaring sker på en av de platser som SKB har kännedom om sedan lokaliseringsprocessen för SFK (Forsmark, Simpevarp/Laxemar/Äspö och samtliga så kallade typområden). Skulle mer omfattande platsundersökningar krävas bedömer SKB att tidpunkten för driftsättning av slutförvaringen kommer att skjutas framåt i tiden.

Enligt SKB kan ett slutförvar för långlivat avfall avvecklas då det långlivade avfallet från den sista reaktorn tagits om hand. Denna planering förutsätter dels att avfallet från avvecklingen av Clink inte innehåller långlivat avfall, dels att det långlivade avfall som mellanlagras hos AB Svafo är omhändertaget. SKB uppger att en avvecklingsplan kommer att tas fram i samband med en ansökan om tillstånd för att uppföra anläggningen. Avvecklingen kommer att inledas i samband med förslutning av förvaret.

SKB uppger vidare att bolaget i anslutning till Fud-program 2019 redovisade en säkerhetsvärdering (SKB TR-19-01) för ett konceptuellt slutförvar för långlivat avfall. SKB anger att ett av syftena med säkerhetsvärderingen var att identifiera vilka avfallskategorier som bidrar mest till de beräknade långsiktiga strålsäkerhetskONSEKVENSA, för att få underlag till arbetet med att utveckla acceptanskriterier. SKB uppger vidare att de känslighetsfall som analyserades för olika barriärlösningar utgör underlag för det fortsatta arbetet med att utveckla de tekniska barriärerna. Enligt SKB har säkerhetsvärdering varit en utgångspunkt för fortsatta forsknings- och teknikutvecklingsinsatser och att den också ger underlag för platsvalskriterier och för arbetet med att finna en lämplig plats för slutförvaret.

Enligt SKB utgör resultatet av säkerhetsvärderingen också en grund för att identifiera områden för fortsatt forskning och utveckling inför kommande fullständiga säkerhetsanalyser, och ger underlag till den kommande lokaliseringsprocessen.

SKB redovisar att för slutförvar för långlivat avfall var fokus under den gångna Fud-perioden främst på inventariet men även på utveckling av preliminära acceptanskriterier, och att det även kommer vara fokus under den kommande perioden. SKB uppger att det föreslagna slutförvarskonceptet för långlivat avfall som låg till grund för den genomförda säkerhetsvärderingen behöver konkretiseras allteftersom ökad kunskap om inventariet erhålls från den pågående avfallskaraktiseringen. När avfallet är karakteriserat, det vill säga materialsammansättning och radionuklidinnehåll detaljerats i tillräcklig omfattning, finns förutsättningar för SKB att kunna bedöma om den genomförda säkerhetsvärderingen behöver uppdateras. Enligt SKB bör fördjupad kunskap om avfallet minska osäkerheterna och/eller behovet av konservativa antaganden i säkerhetsvärderingen vilket ger SKB bättre förutsättningar för det vidare arbetet med utvecklingen av tekniska barriärer och acceptanskriterier för avfallet.

Enligt SKB genomförs karakterisering av avfall i samarbete med avfallsproducenterna och syftar även till att ge underlag och vägledning för avfallsproducenternas fortsatta hantering av det långlivade avfallet.



Enligt SKB är en stor del av den forskning och teknikutveckling som har genomförts och som planeras för SFR även relevant för slutförvaring av långlivat avfall. Den pågående utbyggnaden av SFR samt arbetet med att uppföra SFK kommer enligt SKB att ge värdefull erfarenhet om bland annat barriärsutformningen. SKB menar att kunskap från genomförd men även fortsatt forskning kopplad till SFR och SFK kommer vara användbar för utvecklingen av ett slutförvar för långlivat avfall.

Remissinstansernas synpunkter

Länsstyrelsen i Kalmar län anser att det kan finnas behov av att klimat- och klimatrelaterade processer behöver utredas för SFL, Slutförvar för långlivat avfall. Särskilt för det fall om en annan plats än Forsmark eller Simpevarpshalvön blir aktuell.

Enligt avsnitt 4.10 planeras inga tillkommande klimat- och klimatrelaterade processer utredas under Fud-perioden då SKB i dagsläget har tillräcklig kunskap som är av relevans för säkerhet efter förslutning för SFK och SFR. Platsen för SFL är ännu inte beslutad. SKB planerar att driva en stegvis lokaliseringsprocess. Länsstyrelsen anser att det inom ramen för lokaliseringsprocessen skulle kunna finnas behov att utreda klimat- och klimatrelaterade processer om en annan lokalisering är aktuell än de som tidigare utretts. Det framgår inte av Fud-programmet om SKB avser att göra detta inom nästa Fud-period då man kommit längre fram i arbetet.

Östhammars kommun konstaterar att det i Fud-program 2025 endast finns kortfattad information om slutförvaret för långlivat avfall, dvs. av den återstående ännu ej tillståndsgivna delen i SKB:s system för omhändertagande av använt kärnbränsle och kärnavfall.

Kommunen noterar att utformningen av slutförvaret fortsatt befinner sig på konceptstadiet (avsnitt 3.5.3, s. 40). I rapporten skriver SKB att det ”återstår att utveckla lösningar för slutförvaring av långlivat låg- och medelaktivt avfall” (kapitel 3, s. 27) och att för slutförvaret för långlivat avfall ”var fokus under den gångna Fud-perioden främst på inventariet och acceptanskriterier och kommer även vara det under den föreliggande” (avsnitt 4.2.1, s. 47).

Kommunen uppfattar skrivningarna i Fud-program 2025 (bl.a. i avsnitt 4.2, s. 47) som att det koncept som redovisades i Fud-program 2019, och den säkerhetsvärdering som gjorde då (SKB TR-19-01), kommer att utvärderas efter att man samlat mer kunskap om avfallet. Ett eventuellt omtag gällande koncept och fortsatt planering för slutförvaret kommer, som kommunen uppfattar det, att göras först efter det.

Kommunen noterar vidare att enligt nuvarande tidplan planerar SKB för att förvaret för långlivat avfall ska kunna tas i drift som tidigast under 2050-talet. Tidplanen bygger på att slutförvaring sker på någon av de platser som SKB sedan tidigare har kännedom om (avsnitt 3.2.2, s. 29). Men även om det blir någon av de platserna är det mycket som återstår som kan leda till att förvaret tas i drift senare än så.

Östhammars kommun anser att det finns behov av tydligare framdrift och prioritering av slutförvaret för långlivat avfall. Kommunen anser naturligtvis att det är av yttersta vikt att tillräckliga underlag finns för att utforma slutförvaret för ett säkert omhändertagande av avfallet och har även förståelse för att SKB har ett behov av att prioritera mellan sina olika projekt. Utan tydligare framdrift ser kommunen dock en risk för att drifttagande av slutförvaret kommer att hamna väsentligt längre fram i tiden än 2050-talet, vilket även det är långt fram i tiden.

Kommunen konstaterar att långlivat avfall uppkommer dels under nedmontering och rivning men även under driften av kärnkraftverken. Avfall till det planerade slutförvaret

har alltså uppkommit under lång tid och i väntan på ett slutförvar behöver avfallet mellanlagras. Mellanlagring sker för närvarande i anslutning till kärnkraftverken, i Clab och på Studsviks-området.

Kommunen noterar att befintliga mellanlager samt möjligheterna till framtida utökning beskrivs kortfattat i Fud-rapporten (bl.a. avsnitt 2.1.2, s. 22). Kommunen anser dock att det är en väldigt övergripande beskrivning och för exempelvis ståltankar från Barsebäcksverket (BKAB) står det att de ska ”transporteras till ett annat mellanlager så att BKAB:s område kan friklassas innan ett slutförvar för långlivat avfall tas i drift” (avsnitt 2.1.2, s. 22). Kommunen konstaterar att det inte framgår vilket annat mellanlager som avses.

Kommunen konstaterar vidare att i och med att ett slutförvar för långlivat avfall planeras tas i drift som tidigast under 2050-talet finns det ett långvarigt behov av mellanlagringskapacitet för långlivat avfall. Enligt nuvarande tidplan för slutförvaret och planerad drifttid för kärnkraftverken kommer rivning av samtliga kärnkraftverk påbörjas innan slutförvaret för långlivat avfall tas i drift (figur 3-1, s. 28).

Östhammars kommun anser att det i framtida Fud-rapporter finns behov av en tydligare redovisning av såväl befintliga som planerade mellanlager samt av deras planerade drifttider. Behovet av redovisning blir extra stort med tanke på att det kan bli fråga om både långvarigare och mer omfattande lagring än ursprungligen planerat.

SSM:s bedömning

SSM konstaterar att SKB:s redovisning avseende slutförvaring av långlivat låg- och medelaktivt avfall i allt väsentligt är likalydande med redovisningen i Fud-program 2022. Det innebär ingen avvikelse från den plan som redovisades vid det tillfället, men gör det utmanande att identifiera den framdrift avseende karakterisering av radionuklidinventarier och framtagandet av preliminära acceptanskriterier som skett under den gångna Fud-perioden.

Mot bakgrund av att ett slutförvar för långlivat avfall är den sista ännu ej tillståndsgivna kärntekniska anläggningen inom kärnavfallsprogrammet är redovisningen avseende detta slutförvar av särskilt intresse vid myndighetens granskning och utvärdering av Fud-program. I likhet med Östhammars kommun anser SSM därför att det vid kommande redovisningstillfällen finns behov av en tydligare redovisning av framdriften och av de åtgärder som kan bli behövliga.

Såsom SSM framförde i samband med granskningen av Fud-program 2022 anser SSM att den långsiktiga strålsäkerheten ska vara vägledande vid lokalisering av ett geologiskt slutförvar. För ett slutförvar för långlivat avfall blir detta av än större betydelse jämfört med ett slutförvar för mer kortlivat avfall, eftersom de tekniska barriärernas långsiktiga degradering innebär att den geologiska barriären successivt kommer att utgöra en allt viktigare del av förvarets skyddsförmåga.

Ambitionen bör enligt SSM:s uppfattning vara att söka efter en så lämplig plats som möjligt, givet samhällliga och ekonomiska faktorer. För att uppnå detta behöver *lokaliseringsfaktorerna* vara klargjorda, vidare behöver *processen* för att genomföra det successiva urvalet vara redovisad. SSM bedömer att det utvecklingsbehov av dessa båda aspekter som SSM pekade på i granskningen av Fud-program 2022 väsentligen kvarstår.

Vad det gäller den kommande processen för en lokalisering av SFL ställer sig SSM bakom SKB:s avsikt att genomföra en stegvis process. Likaså ställer sig SSM bakom SKB:s ambition att genomföra en öppen och transparent process där förutsättningarna för olika



aktörer tidigt är klarlagda och förankrade. Utifrån redovisningen är det dock inte tydligt hur dessa uttalade ambitioner i praktiken ska uppfyllas.

SKB anger att man avser att utgå från befintlig kunskap erhållen under lokaliseringsarbetet för SFK. SSM bedömer att de undersökningar som gjorts innebär att man har en stor kunskap om berggrunden vid Laxemar/Simpevarp och Forsmark. Detta är positivt för en värdering av förutsättningarna för att bedöma strålsäkerheten vid dessa platser, men kan samtidigt försvåra jämförelsen med mindre undersökta platser där motsvarande data saknas. Enligt SSM:s bedömning är det angeläget att skillnader i kunskap inte leder till att urvalet begränsas i ett allt för tidigt skede av platsvalsarbetet.

SSM har inga invändningar mot den huvudsakliga gruppering av lokaliseringsfaktorerna som anges, och anser att det är angeläget att SKB strukturerar faktorerna på ett sätt som underlättar utvärderingen av strålsäkerhetsfrågorna.

Vidare noterar SSM att SKB:s planer "...bygger på ett scenario där SFL lokaliseras på en av de platser som SKB har kännedom sedan tidigare. Skulle mer omfattande platsundersökningar krävas bedömer SKB att tidpunkten för driftsättning av SFL kommer att skjutas framåt i tiden." I detta sammanhang vill SSM betona vikten av att SKB presenterar genomarbetade lokaliseringsfaktorer och en tydlig process för det kommande arbetet, innan återstående insatser avgränsas.

SSM konstaterar att nästa redovisningstillfälle, enligt aktivitets- och milstolpeplanen för SKB:s kärnavfallsprogram (Figur 3-1), är det sista som föregår lokaliseringsprocessen. Med anledning av det förväntar sig SSM att SKB i Fud-program 2028 förtydligar och konkretiserar planen för att lokalisera en plats som dels har förutsättningar att uppfylla kraven enligt kärntekniklagen, dels har förutsättningar att nå lokal acceptans.

Avslutningsvis konstaterar SSM att den forskning, teknikutveckling och de övriga åtgärder som erfordras för att realisera SFL under överskådlig tid kommer stå i fokus vid granskning och utvärdering av kommande Fud-program. Eftersom SSM anser att det ur strålsäkerhetssynpunkt är av vikt att SKB strävar efter att slutförvara långlivat låg- och medelaktivt avfall från de sist avställda reaktorerna utan att detta avfall behöver mellanlagras finns förväntningar på att redovisningen avseende SFL utvecklas till kommande Fud-program.



5 Fortsatt forskning och utveckling

SKB redovisar i kapitel 4 resultat som uppnåtts under den gångna Fud-perioden och de forsknings- och utvecklingsinsatser som planeras att genomföras under Fud-perioden för de återstående delarna av kärnavfallsprogrammet.

5.1 Tillståndsgivna anläggningar

5.1.1 Slutförvaret för kortlivat radioaktivt avfall

SKB:s redovisning

I avsnitt 4.1.1 beskriver SKB på övergripande nivå aktiviteter som genomförts under den gångna Fud-perioden under uppförandet av utbyggnaden av SFR. SKB beskriver vidare aktiviteter som kommer genomföras tills det utbyggda SFR tas i rutinmässig drift samt inför avveckling och förslutning av anläggningen, ur perspektivet om dessa aktiviteter förväntas medföra behov av forskning eller teknikutvecklingsinsatser.

SSM:s bedömning

För att undvika att föregripa myndighetens ställningstaganden i den stegvisa prövningen av utbyggnaden av SFR avstår SSM från att bedöma SKB:s redovisning i sak.

SSM konstaterar att SKB:s redovisning är kortfattad, men bedömer att den bidrar till den öppenhet och insyn i SKB:s planer och program som lagstiftningen syftar till.

5.1.2 Slutförvaret för använt kärnbränsle och Central anläggning för mellanlagring och inkapsling av använt kärnbränsle

SKB:s redovisning

I avsnitt 4.1.2 beskriver SKB på övergripande nivå aktiviteter som kommer genomföras tills Clink och SFK tas i rutinmässig drift. SKB redovisar bland annat att vilka stödjande dokument som lämnats in till SSM tillsammans med ansökan om godkännande av PSAR SFK.

Remissinstansernas synpunkter

Statens geotekniska institut (SGI) noterar med hänvisning till avsnitt 4.1.2 att i avsnittet anges att kontrollmetoder kommer att vara fastlagda, att system för kvalitetsstyrning kommer att vara implementerade och att den platsbeskrivande modellen kommer att uppdateras. SGI saknar en tydlig redovisning av hur arbetet med utvärderingen av undersökningar och uppdateringen av modeller är planerat att genomföras under uppförandet av anläggningen för att löpande ge stöd till dess optimering.

SGI uppmanar att en tydligare, men fortfarande övergripande, beskrivning av de strategier som SKB avser att tillämpa för att säkerställa insamling av kritiska data från förvarsdjupet inkluderas i dokumentet. Beskrivningen bör även klargöra hur dessa data kommer att användas för att minska osäkerheten i den platsbeskrivande modellen samt i de ämnesspecifika modellerna. Vidare uppmanar SGI att SKB tydligare beskriver kopplingen mellan den platsbeskrivande modellen och framtagandet av SAR inför provdrift. SGI anser specifikt att det är relevant att dokumentet innehåller information om kvarstående osäkerheter efter SDM-Site (SKB rapport TR-08-05) och SDM-PSU (SKB rapport TR-11-04), samt hur aktiviteter inom de ämnesspecifika forskningsprogram som beskrivs i kapitel 4 hanterar och beaktar dessa.



SGI efterfrågar en mer utförlig och specifik beskrivning av vilka undersökningar som ska genomföras under uppförandet av de olika delarna av slutförvaret och SFR-utbyggnaden, för att verifiera och utveckla den platsbeskrivande modell som ligger till grund för framtida säkerhetsredovisningar.

SGI ser gärna att planerad utveckling samt förvaltning av SKB:s egenutvecklade modell-databas även beskrivs i Fud-program.

SSM:s bedömning

För att undvika att föregripa myndighetens ställningstaganden i den stegvisa prövningen av Clink och SFK avstår SSM från att bedöma SKB:s redovisning i sak.

SSM konstaterar att SKB:s redovisning är kortfattad, men bedömer att den bidrar till den öppenhet och insyn i SKB:s planer och program som lagstiftningen syftar till.

5.2 Ej tillståndsgivna anläggningar

SSM:s bedömning av SKB:s redovisning av slutförvar för långlivat avfall redovisas i kapitel 4 i denna rapport.

5.3 Låg- och medelaktivt avfall

5.3.1 Processer kopplade till materialegenskaper

SKB:s redovisning

I avsnitt 4.3.1 redovisar SKB olika processer som kopplar till materialegenskaper och som kan påverka slutförvarens långsiktiga funktion. SKB anger att för såväl SFR som SFL är olika sorptionsprocesser av central betydelse för att fördröja utsläpp av radionuklider, där sorption av nuklider till cementmineraler utgör en av de viktigaste. Även sorption till metallkorrosionsprodukter kan ge en betydande reduktion, särskilt i ett längre tidsperspektiv när korrosionen fortskridit. Samtidigt kan komplexbildande ämnen reducera sorptionen och därmed påskynda uttransporten.

SKB anger att den tryckuppbyggnad som gasbildning kan ge upphov till i slutförvarsmiljö kan ge upphov till skador på barriärerna. Gasbildning orsakas huvudsakligen av korrosion av oädla metaller, men kan även uppkomma till följd av mikrobiell eller radiolytisk nedbrytning av organiska material. Även svällande material kan påverka betongbarriärernas integritet och därmed uttransporten av radionuklider.

SKB poängterar även att korrosionsprocesser är särskilt viktiga för avfall i form av stål med inducerad aktivitet. Långsam korrosion ger upphov till en långsam frigörelse av aktivitet och tillgodoräknas i säkerhetsanalysen för reaktortankar i förvardsdelen 1BRT och för hårdkomponenter i ett framtida SFL.

SKB redovisar de studier som har genomförts under den gångna Fud-perioden som rör material och dess kemiska och fysikaliska processer efter förslutning och anger att detta huvudsakligen relaterar till SFR.

SKB har undersökt påverkan på radionuklidsorption till cement av komplexbildande proxylogider. Resultaten pekar på att nedbrytningsprodukterna är komplexbildande. SKB har även undersökt korrosion av rostfritt stål i en slutförvarsliknande miljö med fokus på frisläppningen och specieringen av kol-14. Resultaten visar att metan dominerar långsiktigt.



SKB har utrett hur innehållet av sulfat i bitumensolidifierat avfall kan bilda expansiva mineralfaser för 1BMA. Resultaten pekar på att grundvattnets sulfatinnehåll har större påverkan än sulfatet i avfallet.

SKB har även studerat vilken påverkan som svällning av cementsolidifierat avfall kan ha på de tekniska barriärerna i silon. Resultaten visar att de inre schaktväggarna kan skadas, men inte den viktiga yttre cylindriska barriären.

Under den kommande Fud-perioden avser SKB att fortsätta fördjupa kunskapen inom processer kopplade till materialegenskaper, där sorption av viktiga radionuklider samt korrosion kommer att studeras vidare.

SKB ger ett antal exempel på de planerade insatserna, däribland sorption av selen och molybden till cement. SKB planerar fortsatta experiment och modellering. SKB planerar att utreda om de löslighetsbegränsningar som föreligger för vissa nuklider, i första hand uran, molybden och nickel, kan bli relevanta under slutförvarsbetingelserna.

Det pågår studier av gasbildningsprocesser och aktivitetsfrigörelse genom korrosion av oädla metaller i Svafos avfall.

Vidare avser SKB att fortsätta studera svällning av bitumensolidifierat avfall och frisläppning av sulfat och radionuklider från jonbytarmassor under slutförvarsliknande förhållanden. Vad gäller svällning av bitumenavfall så har SKB påbörjat nya försök och beräkningar för att uppnå en bättre förståelse och för att minska osäkerheter kopplade till svällningens påverkan på barriärerna i SFR.

Remissinstansernas synpunkter

Med hänvisning till avsnitt 4.3.1 anser Kungl. Vetenskapsakademien att fortsatta sorptionsstudier på cement- och korrosionsprodukter som planeras, liksom studier av effekter på tekniska barriärer till följd av svällning av vissa avfallsformer, är välmotiverade.

SSM:s bedömning

SSM kan konstatera att redovisningen enbart ger en mycket översiktlig beskrivning av vilka resultat som uppnåtts och hur det fortsatta arbetet ska genomföras. Eftersom detta rör tillståndsgivning verksamhet som står under myndighetens tillsyn avstår SSM från att inom ramen för myndighetens granskning och utvärdering av Fud-program bedöma om de planerade insatserna är tillräckliga.

5.3.2 Radionuklidinventarium

SKB:s redovisning

I avsnitt 4.3.2 beskriver SKB arbetet gällande det låg- och medelaktiva avfallsets aktivitetsinnehåll och de särskilda insatser som görs i fråga om svårsmätbara nuklider.

SKB anger att man har publicerat en promemoria som beskriver förväntningarna på aktivitetsbestämningen av svårsmätbara nuklider från nedmontering och rivning (NoR). SKB har även erhållit uppdaterade prognoser för rivningsavfallet samt likformat dessa med de beräkningar som görs för driftavfallet. Detta arbete avses fortsätta tillsammans med att årligen uppdatera och komplettera databasen för reaktorernas drift- och kemidata.

SKB anger att särskilda insatser har gjorts gällande molybdenlegerade material och mätningar av aktiveringsprodukten Mo-93. Vidare har särskilda insatser gjorts gällande uppbyggnad av kontaminationer av olika ytor i BWR. Särskilda insatser har gjorts kopplat



till produktionen av kol-14 i processvatten samt beräkning av radionuklidinventariet i BWR-styrstavar.

SKB anger att ett arbete har påbörjats för att förbättra tillförlitligheten i hur uppmätta och beräknade aktivitetsmängder fördelas per kolli kopplat till de system och tidsperioder då avfallet uppstår. Detta arbete fortsätter tillsammans med ytterligare mätningar av svärmätbara nuklider där behov föreligger.

Inga insatser gällande arbetet med att karaktärisera långlivat avfall från Studsvik Tech Park redovisas.

Remissinstansernas synpunkter

Med hänvisning till avsnitt 4.3.2 anser Kungl. Vetenskapsakademien att fortsatta aktivitetsbestämningar av svärmätbara nuklider och uppskattningar av radionuklidinventarier under Fud-perioden är välmotiverade.

SSM:s bedömning

SSM följer SKB:s och avfallsproducenternas arbete med att utveckla metoder för att på ett godtagbart sätt karaktärisera såväl driftavfall som rivningsavfall. SSM bedömer att det föreligger ett behov av metodutveckling för såväl drifts- som rivningsavfall.

Förekomsten av molybdenlegeringar i reaktorvatten har visat vara problematiska då bestrålning kan ge upphov till den långlivade, och den från slutförvarssynpunkt betydelsefulla, nukliden Mo-93. SSM ser därför positivt på de insatser som görs för att bättre förstå uppkomsten och spridningen i reaktorvattnet. SSM saknar dock en beskrivning av vilka åtgärder som reaktorinnehavarna vidtar för att i enlighet med 3 kap. 9 § strålskyddslagen så långt som rimligt och möjligt begränsa förekomsten av molybdenlegeringar i hårdnära komponenter.

SSM har vid upprepade tillfällen inom ramen för tillsyn och i samband med Fud-granskningar pekat på det behov som föreligger att utveckla den metod som används för att fördela ut driftavfallens innehåll av svärmätbara nuklider i avfallskollin med olika destination, t.ex. hur transuraner fördelas i de olika förvarsdelarna i SFR. SSM har bedömt att den metod som tillämpas riskerar att felaktigt fördela aktivitetsinnehållet. SSM ser därför positivt på att initiativ nu tagits för att komma tillrätta med problemet, men konstaterar att det av redovisningen inte går att utläsa vilka faktiska åtgärder som avses att vidtas.

5.3.3 Acceptanskriterier

SKB:s redovisning

SKB anger i avsnitt 4.3.3 att acceptanskriterier för kortlivat avfall för de olika förvarsdelarna för det utbyggda SFR har tagits fram under perioden och jämkats med kravbilderna och detaljeringsgraden för det befintliga SFR. SKB redovisar de utredningar som har gjorts. Behovet för vidare utveckling anges som litet för avfall till utbyggt SFR. Det gäller såväl teoretiska som praktiska studier gällande hållfastheten för betongtankar till 1-2BTF. De erhållna resultaten från försöken resulterade i sprickbildning liknande den i modelleringen. Vidare anges att metodutveckling för beräkning av radiolytisk gasbildning har genomförts. En sammanställning av alla gasbildande processer och material har gjorts för SFR som visar att metallkorrosion dominerar gasbildningen och slutsatsen dras att kvantitativa riktvärden för gasbildande material endast behövs för silon. Vidare har arbete gjorts gällande bildning av komplexbildare från nedbrytning av rostskyddsfärger.



SKB anger att långlivat avfall i form av hårdkomponenter produceras samt att acceptanskriterier för mellanlagring i Clab finns framme. Acceptanskriterierna för Clab anges vara framtagna med utgångspunkt från att slutförvaring i betongbarriärsbaserat slutförvarskoncept ska uppfylla krav på strålsäkerhet efter förslutning.

Inga tillkommande forskningsfrågor är planerade att utredas under Fud-perioden.

Remissinstansernas synpunkter

Med hänvisning till avsnitt 4.3.3 konstaterar Kungl. Vetenskapsakademien att utredningar rörande acceptanskriterier har utförts, och att kunskapsläget nu bedöms vara tillräckligt.

SSM:s bedömning

SSM har under de senaste åren granskat flera versioner av acceptanskriterier för avfall i SFR1 (WAC SFR1). SSM har tidigare valt att bryta ut och skapa särskilda ärenden för vissa acceptanskriterier som enligt SSM behövde utredas ytterligare. Dessa var Svällning (SSM2019-7934) och Sammansättning och struktur (SSM2020-3814). SKB har inkommit med rapportering enligt dessa ärenden men för Svällning pågår fortsatta försök, vilket kommenteras i avsnitt 4.3.1.

Vad gäller det långlivade avfallet bedöms redovisningen som otydlig gällande vilket utvecklingsbehov som kvarstår och vilka insatser som avses genomföras under kommande år. Av redovisningen i avsnitt 3.2.2 och 4.2.1 framkommer att arbete med att utveckla preliminära acceptanskriterier för SFL-avfallet ska genomföras under Fud-perioden, men dessa avsikter utvecklas inte i avsnitt 4.3.3 med specifika forskningsrelaterade åtgärder relaterat till SFL.

Det råder betydande skillnader mellan olika fraktioner av SFL-avfallet både vad gäller deras sammansättning och struktur, liksom att avfallet delvis består av unika materialslag liksom de betydande osäkerheter inte bara kopplat till aktivitetsinnehållet, utan även till avfallets sammansättning och struktur, eventuell förekomst av kemiskt reaktiva ämnen, vätskor m.m. Dessutom föreligger olika grad av osäkerheter gällande avfallets sammansättning liksom svårigheter att ytterligare karaktärisera avfallet. SSM bedömer att SKB tillsammans med avfallsproducenterna behöver konkretisera arbetet med att ta fram acceptanskriterier för det långlivade avfallet till SFL och genomföra de åtgärder som behövs för att detta inte ska bli en flaskhals för det fortsatta arbetet med att uppfylla de skyldigheter som följer av 10 § kärntekniklagen.

5.3.4 Avfallsbehållare och avfallstransportbehållare

SKB:s redovisning

SKB anger i avsnitt 4.3.4 att utvecklingsarbetet av avfallsbehållare löpande behöver följas upp som en del i en optimering av utvecklingsarbetet. Strategin är att i första hand undersöka tillämpligheten hos redan befintliga avfallsbehållare för deponering i kommande och befintliga slutförvar. Behovet av nya avfallstransportbehållare (ATB) styrs av kommande avfallsvolymer samt vilka tillkommande avfallsbehållare som kommer att utvecklas. Möjligheten att modifiera befintliga ATB ses regelbundet över. SKB anger att arbete med två ATB har slutförts under perioden och att arbetet med en ATB avses att driftsättas under 2026. SKB anger att bolaget löpande bevakar behovet av ny- eller vidareutvecklade avfallsbehållare till befintliga eller kommande slutförvar.

SSM:s bedömning

SSM ser positivt på det arbete som har avslutats, eller som avses att avslutas under 2026 gällande utveckling av ändamålsenliga ATB. Det är angeläget att dessa behållare inte utgör en begränsning för en ändamålsenlig avfallshantering.

SSM konstaterar att planerna för utveckling av nya avfallsbehållare är vaga och att SKB och avfallsproducenterna förefaller begränsa insatserna till att bevaka om ett sådant behov skulle uppstå. SSM bedömer att denna ambition är otillräcklig för det avfall som avses deponeras i SFL. SSM har under lång tid pekat på behovet av tydliga riktlinjer från SKB vad gäller vilka avfallsbehållare som avses att användas i SFL, detta för att i den utsträckning det är möjligt, undvika en onödig omkonditionering av avfallet i framtiden. På motsvarande sätt är det av betydelse för avfallsproducenterna att i dialog med SKB klargöra vilket behov de har av avfallsbehållare. Ett sådant exempel gäller behandling av strystavar från BWR vid Clab där det föreligger ett utvecklingsbehov och utvärdering av möjligheterna att undvika segmentering av dessa med en onödig aktivitetsfrigörelse och utsläpp av stora mängder tritium.

5.4 Använt kärnbränsle

SKB redogör i avsnitt 4.4 för insatser inom forskning, utveckling och demonstration avseende området använt kärnbränsle. SSM:s granskning och kommentarer rörande frågeställningar om använt kärnbränsle presenteras i detta avsnitt.

5.4.1 Icke-reguljära bränslen och bränsleintegritet

SKB:s redovisning

SKB:s uppnådda resultat i arbete med icke-reguljära bränslen och bränsleintegritet sammanfattas som följande:

SKB har bitt bränsletillverkare att redovisa deras bränsletyper med problem och avvikelser som kan leda till svaghet i konstruktionen. En del resultat har erhållits av SKB och en systematisk sammanställning av informationen pågår. SKB:s pågående projekt rörande degraderingseffekter har funnit en del svagheter och brister hos använt kärnbränsle i Clab som behöver åtgärdas inför inkapsling. SKB bevakar möjliga design- och materialbrister hos bränsleelementen när bränslet idag och i framtiden förväntas utsättas för ökad belastning i reaktorhärden. SKB har bekräftat att Ågestabränslet och de gamla Mox-bränslen från Tyskland har relativt bra integritet med undantag av typ Ågesta 19. De flesta av identifierade svagheter har åtgärdats, men vissa element kan kräva specialhantering.

SKB:s nya forskning har visat att det finns förutsättningar att torka skadat bränsle. Dessutom har SKB modellerat hur kvarvarande vatten i kapseln med alternativ design av insats påverkar systemets utveckling över tid. SKB redovisar att bolaget har pågående forskning och erfarenhetsutbyte inom ramen för internationellt samarbete med t.ex. OECD/NEA och EPRI, samt för nationellt samarbete inom Vattenfallkoncernen.

SKB har planerat program för att sammanställa särskilda metoder för att hantera bränsleelement med identifierade svagheter och brister i konstruktionen. Dessutom planerar SKB att utreda hur några fåtal läckande bränsleelement i Clab ska hanteras och placeras i kopparkapslar. SKB kommer även att uppdatera åldringsprogrammet med värdering av degraderingseffekter.

Remissinstansernas synpunkter

Med hänvisning till avsnitt 4.4.1 konstaterar Kungl. Vetenskapsakademien att en fortsatt genomgång av krav och principer avseende icke-reguljära kärnbränslen förefaller vara självklar och därmed motiverad.

SSM:s bedömning

SSM bedömer att SKB:s redovisning av uppnådda resultat i området icke-reguljära bränslen och bränsleintegritet är ändamålsenlig. SSM anser att SKB:s satsning på att

systematiskt kartlägga och sammanställa status av bränslena med svagheter och brister i konstruktionen kan betraktas som en viktig del i arbetet med förberedelse för bränsleinkapsling. Satsningen bedöms därför vara relevant och nödvändig. SKB:s angreppssätt att inhämta information från bränsletillverkare bedöms vara rimligt och ändamålsenligt. SSM kan konstatera att SKB har besvarat de frågor om integritet hos Ågestabränsle och Mox-bränsle som SSM identifierade vid granskning av Fud-program 2022. SSM ser positivt på att SKB har beaktat SSM:s fråga om teknisk svårighet att torka skadat bränsle samt genom utförda experiment har bevisat att det är lätt att torka skadat bränsle till acceptabel mängd kvarvarande vatten. Det är positivt att SKB har relativt omfattande samarbetsprojekt både internationellt och inom Sverige.

SSM bedömer att SKB:s planerade insatser inom området icke-reguljära bränslen och bränsleintegritet är ändamålsenlig. SSM förväntar sig att SKB i kommande Fud-program redovisa utprovade metoder för att hantera och inkapsla bränsle med svagheter och brister på ett strålsäkert sätt.

5.4.2 Resteffekt, bränslekaraktisering och val av kärnbränsle för inkapsling

SKB:s redovisning

SKB:s uppnådda resultat i arbetet med resteffekt, bränslekaraktisering och val av kärnbränsle för inkapsling sammanfattas som följande:

SKB beräknade resteffekt och radionuklidinventarium för Clab och transportsystemet baserat på bränsleelements drifhistorik. De beräknade resultaten var i god överensstämmelse med resultat från kalorimetriska mätningar på Clab. SKB samarbetar med Electric Power Research Institute (EPRI) i USA med syftet att validera resteffektmätningar.

SKB arbetar med att utveckla metoderna och utrustningarna för karaktisering av använt kärnbränsle, exempelvis neutronmätning med DDSI-tekniken (*Differential Die-away Self-Interrogation*) samt mätning med gammaspektroskopi. SKB fortsätter med insatser för att optimera inkapslingsprocessen.

SKB deltar i såväl OECD/NEA:s som IAEA:s forskningsprogram i områdena för bestämning av resteffekt och karaktisering av bränslet.

SKB planerar att under Fud-perioden bygga upp egen termiska modelleringskapacitet samt skapa egna kalorimetriska mätsystem. Flera modelleringar och kalorimetriska mätningar kommer att genomföras för inkapslings- och slutförvarsändamål.

SKB kommer att arbeta med att bygga en prototyp för karaktisering av BWR- och PWR-bränsle inför inkapsling med syftet att bestämma bränslets resteffekt, utbränning och reaktivitet. Mätutrustningen kan även användas för verifiering i samband med kärnämneskontroll. Karaktiseringsmetoderna planeras att testas och verifieras. SKB kommer att utreda osäkerheterna som kan associeras med bränslena där viss information saknas. Karaktiseringsmetoder för icke-reguljära bränslen kommer också att utvecklas efteråt. Under denna utveckling planeras internationellt samarbete med några nationella laboratorier i USA och nationellt samarbete med lärosäten i Sverige. Även samarbete med de svenska kärnkraftverken att genomföras för att samla in tillförlitlig information hos använt kärnbränsle. SKB kommer att fortsätta med optimering av inkapsling av bränsle och vid inkapslingen kommer fler faktorer än resteffekt såsom kriticitet och strålning att beaktas.

Remissinstansernas synpunkter

Med hänvisning till avsnitt 4.4.2 anser Kungl. Vetenskapsakademien att fortsatt resteffektbestämning liksom bestämning av kärnbränslets innehåll av fissila ämnen är väl motiverat och behövs som underlag för inkapslingsoptimeringen.

SSM:s bedömning

SSM bedömer att SKB:s insatser på bestämning av bränslets resteffekt, karaktärisering av bränslets egenskaper samt optimering av inkapsling av bränsle under den gångna Fud-perioden varit ändamålsenliga för att uppfylla kraven på program för forskning och utveckling.

SSM bedömer det som positivt att SKB fokuserar på att utveckla metoder och utrustningar för karaktärisering av bränsle med neutronmätning och gammaspektroskopi. Det är också positivt att SKB har brett samarbetsinsatser både för validering av resteffektmätningar och för karaktärisering av bränsle.

SSM ser positivt på att SKB planerar att utveckla en prototyp för karaktärisering av bränsle. SKB:s plan för att utveckla egen modelleringskapacitet för beräkning av bl.a. bränslets resteffekt samt att skapa eget kalorimetriska mätningssystem bedöms vara ändamålsenliga för att stödja arbetet med inkapsling och slutförvaring av bränslet.

SSM ser positivt på att SKB har etablerat både nationella och internationella fora för att främja arbetet i området.

5.4.3 Kriticitet

SKB:s redovisning

I avsnitt 4.4.3 redovisar SKB aktiviteter som genomförts, och som planeras, för att utveckla metoder för kriticitetsberäkningar och kriticitetsanalys. Bland annat redovisas att SKB under den gångna Fud-perioden har vidareutvecklat metodiken för kriticitetsanalys avseende de aspekter som är unika för SFK, och att bolaget under Fud-perioden kommer fortsätta metodutvecklingen för kapselspecifika kriticitetsberäkningar av kärnbränsle som inte uppfyller dagens utbränningskriterier.

SSM:s bedömning

För att undvika att föregripa myndighetens ställningstaganden avseenden SKB:s ansökan om godkännande av PSAR SFK avstår SSM från att bedöma såväl uppnådda resultat som planerade utvecklingsinsatser inom området kriticitet.

SSM konstaterar att SKB:s redovisning är kortfattad, men bedömer att den bidrar till den öppenhet och insyn i SKB:s planer och program som lagstiftningen syftar till.

5.4.4 Kärnämneskontroll

SKB:s redovisning

SKB beskriver att tillämpningen av kärnämneskontroll måste säkerställa kontinuerlig kännedom (*Eng. Continuity of Knowledge*) där utvecklingen huvudsakligen sker i fem områden; metod för verifiering av deklarerat kärnämne, logistik, identifiering av kopparkapslar, sigill samt hantering av onormala händelser.

SKB beskriver att de under den gångna Fud-perioden har fortsatt jobbat med logistik för kärnämne vilket har integrerats i arbetet med anläggningsutformningar och diskuterats med IAEA och Euratom. Avseende utveckling av identifieringsmetod för kopparkapslar beskriver SKB att de utvecklat en metod för säker avläsning av de tänkta ingravade

identitets-märkningarna. Slutligen avseende utveckling kopplad till hantering av onormala händelser i inkapslingsverksamheten har dessa beaktats i anläggningskonstruktionen och bedöms kunna fungera ändamålsenligt avseende kärnämneskontroll.

Under Fud-perioden planeras vidareutveckling kopplad till bränslekaraktärisering och bränsleinformation, inklusive utveckling av den planerade mätstationens utformning. Inom programmet planeras även fortsatta logistikstudier för kärnbränsle och färdiga kopparkapslar i Clink, där resultaten kommer diskuteras löpande med IAEA och Euratom. Avseende identifieringsmetoden för kopparkapslar avser SKB genomföra en studie över hur märkningen ska göras i detalj samt var i processen det är lämpligast att genomföra identifieringsmärkning. Resultat för dessa tre utvecklingsområden planeras kunna redovisas under 2026. SKB kommer även genomföra fortsatt samarbetet med EU-kommissionens Joint Research Centre (JRC) för utveckling av ett sigill som kan appliceras på kapseltransportbehållare.

Remissinstansernas synpunkter

Styrelsen för ackreditering och teknisk kontroll (Swedac) noterar att programmet på flera ställen nämner kontrollorgan och provning som ska utföras. Swedac vill uppmärksamma att det saknas information om huruvida kontrollorgan och provning också ska vara ackrediterade.

SSM:s bedömning

SSM ser positivt på att SKB beskriver att utvecklingen avses genomföras sammanhållet och anser att det är viktigt att SKB:s fortsatta forsknings- och utvecklingsarbete sker i fortsatt dialog med de internationella kontrollorganen IAEA och Euratom. SSM noterar att programmet innehåller samma områden som de senaste Fud-programmen där det skett viss framdrift inom de flesta områdena. SSM noterar, i likhet med redovisningen i de senaste Fud-programmen, att tidshorisonten för utvecklingen av sigill för transportbehållaren är oklar. SSM kan även konstatera att SKB:s redovisning avseende detta område överensstämmer med information myndigheten har fått i samband med pågående dialog med SKB, IAEA och Euratom om ett framtida koncept för kärnämneskontrollen för Clink och SFK.

5.4.5 Bränsleupplösning, radionuklidspeciering och lösligheter

SKB:s redovisning

SKB:s uppnådda resultat under den gångna Fud-perioden i arbetet med bränsleupplösning, radionuklidspeciering och lösligheter sammanfattas som följande:

SKB:s insatser inom forskning av bränsleupplösning fokuserar på mekanismförståelse och processmodellering.

Inom mekanismförståelsen redovisar SKB att både oxidation av fyrvärt uran på ytan av urandioxid till sexvärt uran och reduktion av sexvärt uran på ytan av urantrioxid till fyrvärt uran går genom det femvärda uranet under plasmasmiljöer av vatten, syre och väte. SKB har genom att finansiera ett doktorandarbete på KTH studerat inverkan av speciering av väteperoxid vid bildning av en uranyl-väteperoxid-komplex kallat studtit och visat att gradvis bildning av studtit signifikant kan påverka det involverade kemiska systemet. I ett annat doktorandprojekt visar SKB att bildning av uranyl-peroxid-komplexet minskar den oxidativa effekten av peroxiden. Det är endast den fria väteperoxiden som oxiderar uran. SKB redovisar att lakning av bränslesegment under 37 år i aerobiskt vatten eller lakning av skadat bränsle i luftmättad miljö visar retention av Cs i de bildade sekundärfaserna av uran.



Genom processmodelleringen har SKB utrett inhibitionseffekt av vätgas med och utan metallpartiklar för oxidation av alfa-dopade urandioxidkutsar. Dessutom har relevanta kemiska reaktionerna och deras hastighetskonstanter i radiolytisk oxidation av urandioxid systematiskt sammanställts av SKB i flera rapporter.

SKB har beaktat SSM:s kommentar från granskningen av Fud-program 2022 att inrikta forskningssatser på mekanismförståelse för oxidation i slutförvarsmiljön av högutbränt bränsle, Mox-bränsle samt Cr- och Al-dopat bränsle. SKB:s lakningsförsök med bränslefragmenten från en högutbränd BWR-stav (med en stavmedelutbränning på 60 MWd/kgU) i ett stängt system (förseglade glasampuller) på flera år visade att oxidativ upplösning av urandioxid hade gått mycket långsamt vilket är jämförbart med andra försöksresultat av bränsle med lägre utbränning i liknande anaerobisk miljö. Dessutom visade lakningsexperimentet att föroxyderade prover kan ha en betydligt högre upplösningshastighet. SKB redovisar resultat från andra lakningsexperiment av bränsle med mycket hög utbränning (kutsmedelutbränning upp till 78 MWd/kgU) som även har utsatts för relativt hög linjär effekttäthet (upp till 24,3 kW/m) i reaktorhärden. Dessa resultat bekräftar att vätgas förhindrar upplösning av bränslematrisen även för bränslekutsar med mycket hög utbränning. En relativt systematisk utredning i EU-DisCo-projektet omfattar lakningar av använt kärnbränsle och av tillverkade prover som representerar icke-bestrålat kärnbränsle. Slutsatsen från utredningen tyder på att det överlag inte syns någon skillnad på upplösningshastighet för standardbränsle, Cr- och Cr+Al-dopat bränsle och Mox-bränsle.

Beträffande speciering, samfällning och lösligheter har SKB visat att uranet i Ca-uranyl-karbonat-komplex som förekommer när bränslematrisen kommer i kontakt med Forsmark-vatten kan reduceras i närvaro av järn. SKB satsar på ett doktorandarbete för att studera samfällning av Pu och Np med U. Dessutom har en förstudie genomförts och resultaten visar att trevärt cerium samfäller med urandioxid. SKB har deltagit i NEA-TDB-projekt med syfte att sammanställa termodynamiska data för kemiska ämnena (utöver radionukliderna) för att kunna ha en korrekt representation av de kemiska systemen relevanta vid bränsleupplösningen.

SKB planerar att satsa på ett doktorandarbete för att ytterligare studera hur provgeometri och peroxidspeciering påverkar oxidation av urandioxid. Lakningsförsök i autoklav har planerats för att utreda hur sulfid påverkar systemet med övertryck av väte och sulfid.

SKB kommer delta i Eurad-2-projektet under Fud-perioden med syfte att undersöka kopplingen mellan frigörelse av bl.a. Cs, I och fissionsgaser. SKB kommer att öppna och analysera de återstående förseglade glasampullerna med bränslefragment som har varit ett tio år långt försök. Därutöver planeras att resultat från 37 års lakningsförsök i närvaro av syre sammanställas med hänsyn till nya kunskaper av bränsleoxidation.

SKB planerar att utföra en litteraturstudie av lakningsförsök med Mox-bränsle för att ta reda på om det finns data som gäller de gamla Mox-bränsleelementen (swap-Mox). SKB kommer att genomföra autoklavförsök med Cr-dopat bränsle för att kunna besvara återstående frågor kring denna typ av bränsle.

Med de förvärvade kunskaperna av mekanismförståelse planerar SKB att utveckla en mekanistisk modell för bränsleupplösning som kan användas inom ramen för nästa säkerhetsanalys.

SKB kommer att fortsätta arbeta med att sammanställa termodynamiska data som rör bl.a. organiska komplex och systemet med förhöjda temperaturer under NEA-TDB-7-projektet. Under Fud-perioden planerar SKB att slutföra arbetet med en sammanställning över kunskapsläget angående speciering och fällningar av aktinider i en reducerande miljö. Det



återstår arbetet kring utredning av koffinitisering och eventuell bildning av U(IV)-silikatkomplex.

Remissinstansernas synpunkter

Chalmers tekniska högskola (Chalmers) har med hänvisning till avsnitten 4.3.1, 4.4.5 och 4.5.1 i Fud-program 2025 följande synpunkter avseende planerad forsknings- och utvecklingsverksamhet:

Chalmers anser att SKB:s Fud-program har gått in i en mer byggorienterad fas, men att det är avgörande att fortsatt säkerställa kunskapsuppbyggnad och bevarande inom relevanta discipliner. Minskade anslag till universitet riskerar långsiktig kompetensförsörjning.

Chalmers anser vidare att:

- Det är fortsatt viktigt att BAT (Bästa möjliga teknik) tillämpas och att SKB håller sig ajour med både egen och kompletterande teknik.
- Omvärldsbevakning är positivt, men Chalmers anser att universitetens roll i denna process bör stärkas för att även bidra till kunskapsuppbyggnad och bevarande.
- Minskad nationell forskning inom vissa områden (t.ex. sorption och komplexering) är oroande, särskilt när svenska universitet har kompetens att genomföra dessa studier.
- Det är viktigt att säkerställa att forskning som kan ske nationellt också gör det, för att bibehålla och utveckla svensk kompetens inom området.

Chalmers har med hänvisning till avsnitten 4.3.1 och 4.4.5 i Fud-program 2025 följande synpunkter avseende redovisade forskningsresultat:

Chalmers noterar att antalet genomförda studier inom vissa nyckelområden har minskat, och att vissa studier genomförts utomlands trots att svensk kompetens finns. Vidare uppmärksammar Chalmers att arbetet med NEA-TDB är av hög kvalitet men huvudsakligen teoretiskt.

Chalmers anser vidare att:

- Fler studier borde genomföras nationellt för att stärka svensk kompetens och säkerställa långsiktig kunskapsförsörjning.
- Det är viktigt att inte bara sammanställa data, utan även identifiera kunskapsluckor och initiera ny forskning för att fylla dessa.
- Chalmers noterar att medverkan i NEA-TDB är mycket värdefull, men att det saknas praktiskt arbete kopplat till detta. För att säkerställa kompetens i bedömning av data och långsiktig säkerhet anser Chalmers att praktiska forskningsinsatser bör kopplas till det teoretiska arbetet inom NEA-TDB. Chalmers anser vidare att det också är viktigt att klargöra vilka data som saknas och att bidra till att dessa tas fram genom ny forskning.

Kungl. Tekniska högskolan (KTH) konstaterar med hänvisning till avsnitt 4.4.5 att när det gäller forskning om bränsleupplösning framgår att det har gjorts framsteg inom förståelsen av den så kallade vätgaseffekten. Den dominerande effekten som redan vid låga vätgashalter leder till fullständig inhibering av strålningsinducerad bränsleupplösning sker via katalys på ädelmetallpartiklar (fissionsprodukter). Dessa partiklar brukar också kallas epsilonpartiklar. KTH anser att med tanke på vilken inverkan dessa partiklar tycks ha skulle det vara rimligt att studera deras långtidsstabilitet under djupförvarsförhållanden, inklusive effekter av joniserande strålning.

SSM:s bedömning

SSM bedömer att SKB:s arbete under den gångna Fud-perioden med mekanismförståelse och processmodellering är ändamålsenlig. SSM anser att SKB har fördjupat förståelsen av



underliggande mekanismer bland upplösning av bränslematrisen i slutförvarsmiljö, med stöd av ytterligare experimentella bevis av aktiverat vätes och reducerande järns roller att förhindra oxidation av bränsle. Även förståelsen av inverkan av studtits bildning på bränslets upplösningshastighet bedöms vara värdefull. SKB:s observation att Cs möjligen kan behållas i sekundärfaser av sexvärt uran är av stort intresse efter som detta kan minska frigörelse och utsläpp av fissionsprodukter även när bränslematrisen har upplösts.

SSM vill påpeka att, om slutsatserna av försök i plasmamiljöer kommer att användas för att stödja förståelsen av mekanismer i slutförvarsmiljö, behöver en tydlig jämförelse av likheter och skillnader mellan plasmabeteende i gasfasen och radiolysprodukters beteende i vattenlösning genomföras.

SSM ser positivt på att SKB genom såväl egna forskningsinsatser i form av nationellt och internationellt samarbete kvantitativt har undersökt upplösningshastigheter av högt utbränt bränsle, Mox-bränsle samt Cr- och Cr+Al-dopat bränsle. SSM anser att slutsatserna från dessa undersökningar är trovärdiga.

SSM ser positivt på att SKB börjar satsa på utveckling av processmodeller för att utreda inhibitionseffekt av vätgas för bränslematrisens oxidering. SSM bedömer att SKB:s planerade insatser i området är ändamålsenliga

SSM ser positivt på att SKB kommer att fortsätta med fördjupning av mekanismförståelse för några kvarvarande processer där tidigare forskning och utveckling inte ännu har klargjort förståelsen av underliggande mekanismer. SSM instämmer med KTH att den långsiktiga stabiliteten i slutförvarsmiljön av de ädelmetallpartiklarna (epsilonfasen) i fissionsprodukter kan vara ett exempel på att dessa processer ännu inte har helt förstås. SSM bedömer att denna mekanism bör vara föremål för fortsatt forskning och utveckling.

SSM ser positivt på att SKB planerar att under Fud-perioden satsa på utveckling av en mekanistisk modell för matrisupplösning som förväntas att tillämpas i säkerhetsanalysen. SSM vill betona att, med förutsättningen att SKB har förvärvat en tillräckligt djup mekanismförståelse för bränsleupplösningsprocesser orsakad av vattenradiolys, är det ytterst viktigt att mekanismerna i processerna kan hanteras allsidigt i en kvantitativ beskrivning av bränsleupplösning. De experimentella försöken är begränsade till att bara ett fåtal faktorer kan kontrolleras vid varje försök och slutsatserna från experiment gäller endast i begränsade situationer. En mekanistisk modell kan uppfylla syftet att ge en allsidig kvantitativ prediktion av bränslematrisens långsiktiga utveckling i slutförvarsmiljö. Enligt SSM:s bedömning förutsätter dock en framgångsrik modellutveckling fortsatt forskning kring bränsleupplösningsmekanismer med syftet att stegvis verifiera och förbättra en sådan modell.

5.5 Kapsel för använt kärnbränsle

5.5.1 Processer kopplade till korrosion

SKB:s redovisning

SKB bedriver sedan många år tillbaka ett forskningsprogram för kopparkorrosion som innefattar teoretiska modelleringstudier, laboratorieförsök, samt fältstudier relaterade till såväl naturliga förhållanden som den förväntade slutförvarsmiljön. Dessa studier avser att fortsätta med ungefär samma omfattning som tidigare under Fud-perioden. Målsättningen är generellt förbättrad processförståelse för att inom säkerhetsanalysen på goda grunder kunna avfärda vissa korrosionsfenomen som irrelevanta, att de kan konstateras ha



marginell betydelse, eller alternativt underbygga ett ramverk för att integrera deras betydelse om de har eller kan ha en betydelse för en kopparkapsels livslängd.

Experimentella studier kan grovt delas in i förhållanden som avser oxiderande förhållanden under en tidig fas efter förslutning av en deponeringstunnel, och de som avser tiden därefter dvs. reducerande kemiska förhållanden med en korrosion av koppar som domineras av reaktioner med sulfider. I den första kategorin har SKB bland annat presenterat en probabilistisk modell för hur stor inverkan lokal korrosion kan ha under den första oxiderande fasen genom att definiera en gränssättande groptillväxt (Briggs et al., 2024). Experimentella studier har också innefattat studier av hur en oxidfilm bildad under fasen med oxiderande förhållanden gradvis men inte fullt ut konverteras till en sulfidfilm (Salehi Alaei et al., 2023).

Den dominerande delen av aktuell forskning avser dock den betydligt längre fasen med reducerande kemiska förhållanden då kopparkorrosion domineras av reaktioner med sulfider upplösta i vattenfasen under bildning av en kopparsulfidfilm på kopparytan. Studierna har bland annat innefattat hur filmens morfologi påverkas av anjoner i lösning (Chen et al., 2023), frågan om under vilka förutsättningar sulfidkorrosion kan ge upphov till ett passiverande skikt på kopparytan (Bojinov et al., 2023), samt även frågan om korrosiva ämnen som sulfider kan tränga in i metallen utan att reagera på metallytan (Yue et al., 2023) varav den sistnämnda processen dock inte har studerats av SKB själva. Nära relaterade frågeställningar som SKB planerar att studera under Fud-perioden avser övergången mellan syrefattiga och syrefria förhållanden, kombinationseffekter av sulfidjoner, hög kloridhalt och gasformig vätesulfid, väteinträngning i koppar och injektion av vakanser som en följd av sulfidkorrosion, samt studier av hur tillsatsen av fosfor i koppar påverkar korrosionsegenskaper.

Ett särskilt område inom korrosionsforskningen avser hur mekaniska spänningar i koppar kan samverka med korrosionsprocesser. Dessa avser bl.a. studier av huruvida sulfidkorrosion under mekanisk last kan vara en form av korngränskorrosion (Moya Nunez och Taxen, 2023), om kryphastighet hos koppar kan påverkas av väteinträngning i samband med sulfidexponering (Ikäläinen et al., 2023), samt studier av förutsättningar för sprickinitiering och sprickpropagering i koppar med hjälp av förspräckta prover (Hesketh och Johansson, 2023).

Modelleringsstudier av strålningsinducerad korrosion visar på hur korrosionens omfattning påverkas av koncentrationer av vissa upplösta komponenter samt dosrater (Jonsson, 2023). SKB har även studerat radiolytisk korrosion på insidan av kapseln (Henshaw och Evins, 2023). Under Fud-perioden kommer SKB att studera om gammastrålning i anslutning till kopparkapseln kan ha en koppling till spänningskorrosion orsakad av kväveföreningar, vilket är en etablerad korrosionsmekanism som associeras med oxiderande förhållanden, förekomst av dragspänningar samt en aggressiv kemisk miljö. Strålningsinducerad materialpåverkan och korrosion kommer också att under Fud-perioden inriktas mot OFP-koppar snarare än ren koppar. SKB överväger även bestrålning av prover i vattenlösningar för att studera eventuell samverkan mellan bestrålningseffekter och korrosionseffekter.

En viktig del av SKB:s korrosionsforskning avser försöken vid Äspölaboratoriet, som är av stor betydelse för att visa att processförståelsen är tillräcklig för att förklara försöksresultat från försök i representativ slutförvarsmiljö. I och med Äspölaboratoriets nära förestående avveckling har eller kommer ett stort antal försöksserier med kopparprover att analyseras bl.a. Prototypförvaret, LOT, ABM och MiniCan. SKB håller för närvarande på att ta fram en plan för hur dessa prover ska analyseras. Som ett komplement till dessa försök har även ett program för studier av naturliga förekomster av ren koppar påbörjats.

Beträffande modellering sker för närvarande en översyn av modelleringsverktyg för representation av kopparkorrosion i säkerhetsanalysen, med inblickar från hur detta moment har hanterats i andra länders kärnavfallsprogram.

Remissinstansernas synpunkter

Chalmers tekniska högskola (Chalmers) har med hänvisning till avsnittet 4.5.1 i Fud-program 2025 följande synpunkter avseende åtgärder som avses bli vidtagna:

Chalmers anser att mer tillämpad utveckling får större vikt ju närmare driftsfasen man kommer, men att långsiktigt fokus på nationell kunskapsuppbyggnad inte får försummas.

Chalmers anser vidare att:

- Forskning kring korrosion och materialegenskaper är central, särskilt i den unika miljö som slutförvaret innebär.
- SKB bör prioritera forskning som är direkt kopplad till svenska förhållanden och säkerställa att nationell kompetens inom området upprätthålls.

Med hänvisning till avsnitt 4.5.1 konstaterar Kungl. Vetenskapsakademien (KVA) att frågor kring kopparkorrosion har framförts som kritik mot SKB-konceptet för slutförvaring under flera år, vilket lett till ett omfattande forskningsprogram sedan 2019. Enligt KVA kan kunskapsläget anses vara gott, men att det är klart befogat med fortsatta studier av olika möjliga korrosionsprocesser vilket SKB avser att driva (sulfidkorrosion, spänningskorrosion, mikrobiella processers betydelse, effekter av oxiderande miljö etc.). KVA anser att det likaså är det motiverat att studera effekterna av strålningsinducerad diffusion och korrosion.

Med hänvisning till avsnitt 4.5.1 konstaterar Stockholms universitet att SKB redovisar framsteg vad gäller flera viktiga processer kopplade till korrosion. Det gäller såväl sulfidkorrosion som radiolytisk korrosion och korrosionsförlopp under mekanisk påverkan samt spänningskorrosion. Dessa resultat är väsentliga för att öka förståelsen och har tillfört värdefull kunskap avseende de komplexa kemiska processer som kommer att pågå i kapselns olika delar under den tidsperiod kapseln barriäregenskaper skall vara intakta.

Universitetet noterar att i programmet för Fud-perioden redovisas planer för fortsatta studier av korrosionsförlopp för att kunna bedöma om kapseln egenskaper motsvarar de krav som säkerhetsanalysen kräver. Universitetet anser att det är svårt att från den kortfattade beskrivningen av programmet förstå i vilken omfattning hänsyn har tagits till de synpunkter som Kärnavfallsrådet framförde vid granskningen av Fud-program 2022.

Med hänvisning till resultat av undersökningar som Kungl. Tekniska Högskolan genomfört i samarbete med andra forskningsorganisationer konstaterar KTH att den långsiktiga strålskyddssäkerheten för koppar som kapslingsmaterial inte är tillfredsställande. KTH noterar att ingen av dessa nya observationer eller resonemang har beaktats av SKB i Fud-program 2025. KTH konstaterar att flera nya undersökningar föreslås, men inga som kan relateras till KTH:s pågående studier och nya insikter, trots att resultaten presenterats i ett flertal publikationer och internationella sammanhang.

SSM:s bedömning

SSM bedömer att fortsatt forskning om korrosion av koppar är och kommer förbli ett viktigt forskningsområde för att underbygga analysen av långsiktig strålsäkerhet efter förslutning av ett KBS-3 förvar vid Forsmark. Generellt är området sedan länge väletablerat och kännetecknas av hög kunskapsnivå, men det finns fortfarande vissa detaljerade forskningsfrågor för vilka osäkerheter kvarstår. Även om dessa osäkerheter inte är av den karaktären att de utgör en grund för att ifrågasätta kopparkapslarnas

skyddsförmåga, kan ytterligare forskning öka tilltron till fullständighet och detaljeringsnivå i säkerhetsanalysen. Områdets betydelse kan kopplas till den allokering av säkerhetsbetydelse som sker genom att extremt långa tidsperioder av fullständig inneslutning av använt kärnbränsle i kopparkapslar förutses och beaktas. Fullständig inneslutning under lång tid (> 1 miljon år) förväntas också vara extremt tillförlitlig (SKB TR-21-01). Detta ställer höga krav på koppar som en korrosionsbarriär, liksom på den erforderliga kunskapsnivån för involverade processer.

SSM bedömer att SKB:s forskningsprogram innehåller en generellt väl avvägd uppsättning forskningsprojekt som har inriktats mot processer som kan förväntas ha eller skulle kunna ha en påverkan på en kopparkapsel. Det är betydelsefullt att SKB bedriver egen forskning både i labbmiljö och rimligt representativ slutförvarsmiljö eftersom de utgör kompletterande källor till information av olika karaktär. Vetenskapliga försök i labbmiljö ger förståelse för och underlag för att kvantifiera detaljerade processer och mekanismer, medan försök i representativ slutförvarsmiljö ger åtminstone vissa förutsättningar för att verifiera att förståelsen är tillfyllest för att prediktera fältsituationen och dess utveckling på kort och medellång sikt. Vid planering av SKB:s fortsatta program inom korrosionsområdet behöver också kunskapsbevarande och kunskapsutveckling beaktas.

SSM ser fram emot att ta del av den totala uppsättningen forskningsresultat från ett avslutande av samtliga fältexperiment vid Äspölaboratoriet som innefattar den sista etappen av LOT, ABM, MiniCan och prototypförvaret. Dessa resultat bör tillsammans med de som redan avrapporterats ge en god grund för att förutsäga och verifiera utveckling av de tekniska barriärerna för den första tiden efter slutlig förslutning. SSM anser på samma grunder som framförts tidigare (i samband med granskning av Fud-program 2022) att förutom avrapportering av de enskilda försöken, att det vore värdefullt om SKB sammanfattar hittills erhållna erfarenheter och resultat från försök med tekniska barriärer och berg vid Äspölaboratoriet, dels med bäring på praktiska frågor kring försöksutformning, dels de som avser vetenskapliga resultat.

Beträffande strålningsinducerad påverkan och korrosion är det värdefullt att SKB avser att studera huruvida signifikanta halter av kväveföreningar kan bildas som ett resultat av strålningspåverkan. Enligt SSM:s bedömning är dock SKB:s planer på att bestråla kopparprover i vattenlösning av liknande eller större betydelse för möjligheten att helt utesluta, alternativt gränssätta, effekterna av en samverkan mellan korrosion och strålningsinducerad materialpåverkan för tiden efter att reducerande kemiska förhållanden har etablerats. SSM föreslog i samband med granskningen av Fud-program 2022 en studie av samverkans effekter för strålningspåverkan och samtidig sulfidkorrosion av koppar.

SKB har framfört invändningar kring resultat som visat på betydelse av inträngning av korroderande ämnen i koppar (Hedin et al 2023), exempelvis att den avtagande inträngning till följd av gradvis ökande diffusionsdjup skulle göra den förutsatta inträngningen marginell även under mycket lång tid. Även om dessa kan anses substantiella, baseras de på experiment de själva inte har haft tillgång till (dvs. Yue et al., 2023) och SSM anser därför att det vore angeläget om SKB genomför en egen motsvarande studie och på så vis kunde undersöka frågan närmare.

5.5.2 Processer kopplade till materialegenskaper för kapselmaterial

SKB:s redovisning

SKB har valt en syrefri koppar med krav på låga halter av föroreningar som material till kapseln. Små mängder fosfor tillsätts för att erhålla goda krypegenskaper som till exempel låg kryphastighet och tillräcklig duktilitet. SKB anger att den viktigaste forskningsfrågan



för att kunna beskriva koppars materialegenskaper är förståelsen för hur tillsats av fosfor till koppar leder till ett gynnsamt och bestående krypbeteende. Andra viktiga forskningsfrågor som anges är förståelsen av hur eventuell inträngning av väte i kapselmaterialet påverkar egenskaperna, hur strålning påverkar kapselmaterialet genom försprödning samt åldring av materialet i insatsen.

SKB:s insatser rörande kopparkrypning under den gångna Fud-perioden omfattar fortsatta fosfor- och korngränsstudier. För att utreda vilken typ av korngränser som bör undersökas vidare med beräkningar, har SKB analyserat fördelningen av missorientering i korngränser i Cu-OFP. Kvantifiering med Electron back-scattered diffraction (EBSD) (Hagström 2023) visar att sigma9-korngränser är vanligare än vad som tidigare visats för koppar.

Arbetet med kvantkemiska beräkningar för att studera effekten av hur föroreningsatomer samverkar med korngränser visar att segregeringen av fosfor- och svavelatomer till korngränserna skiljer sig åt genom att svavel segregerar lättare än fosfor och dessutom kan tränga ut fosfor. Studier av mekanismer för diffusion av fosfor och svavel visar att svavel diffunderar fortare i själva kopparmatrisen medan diffusionen skiljer sig mindre åt i korngränserna (Lousada och Korzhavyi 2025). Fortsatta kvantkemiska beräkningar planeras för att undersöka den relativa stabiliteten hos olika atomära defekter i koppars struktur. Detta kopplar också till förståelse för hur vakanser injekteras i koppar vid bildning av en kopparsulfidfilm och hur det samverkar med väte. De kvantkemiska beräkningarna kommer att arbetas in i förfinade krypmodeller under beaktande av data från analyserna av korngränser.

Fortsatta studier med Auger-spektroskopi och transmissions-elektronmikroskopi (TEM) har gjorts på krypprovt material för att lokalisera fosfor i Cu-OFP och hur den är fördelad. Resultaten stärker hypotesen att fosfor befinner sig i och rör sig mot korngränserna genom diffusion under själva krypprocessen.

SKB planerar under Fud-perioden fortsatta studier av fosforanrikning i koppar. Bland annat planeras studier för att utröna om diffusion av fosfor kan förklara anrikningen vid deformation. SKB kommer även att vidare undersöka möjligheten att detektera fosfor i korngränserna med atomsond (Atom Probe Tomography, APT).

Studier av kryphastighet samt initiering och tillväxt av krypdefekter visar att krypskador lokaliseras i första hand vid korngränserna och ökningen av skador följer korngränserna. Kornstrukturens inverkan på krypbeteendet studeras vidare genom att simulera lokal krypdeformation i representativa modeller av strukturen.

SKB har tagit fram en modell utgående från Avrami-ekvationen för att extrapolera rekristallisation av koppar till slutförvarstider. Modellen uppskattar 10^{-5} % rekristallisation efter 100 000 år vid 175 °C. SKB anger att kopparmaterialets egenskaper inte förväntas förändras vid utebliven rekristallisation.

Framledes planerar SKB att utreda förbättringar av beskrivningen av krypförloppet och anpassningar av konstitutiva samband efter spänningstillstånd, långsamma tidsförlopp och krypmekanismer.

Vidare, planerar SKB att mäta tid till krypbrott för provtillverkad kapselkoppar vid accelererad provning med hög temperatur och höga spänningar. Även inverkan av mindre variationer i kapselkoppars sammansättning, struktur och kornstorlek kan utvärderas vid de planerade försöken.

SKB har under den gångna Fud-perioden även bedrivit studier av hur väte påverkar kopparmaterialets egenskaper. Vätetransport i olika korngränser har studerats med kvantkemiska beräkningar. Studien visar att σ_9 är en korngränstyp vid vilken diffusion är energetiskt fördelaktig (Lousada och Korzhavyi 2023). I en studie från VTT har vätehalt analyserats på material från svetsområdet som krypprovs i sulfidlösning (Ikäläinen et al. 2023b). Utöver att kryphastigheten konstaterades vara högre i sulfidlösning kunde inte några skillnader i vätehalt uppmätas i materialet efter exponering.

SKB hänvisar även till en studie genomförd inom ramen för det kanadensiska programmet där man har analyserat absorption och transport av väte i koppar med neutronreflektometri och Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) (Situm et al. 2023). Studien visar att metoderna kan användas för att studera kinetisk och kvantitativ transport av små mängder väte genom koppar.

SKB planerar under Fud-perioden fortsatta undersökningar för att studera eventuell inträngning av väte i koppar samt om detta i så fall påverkar materialegenskaperna på något betydelsefullt sätt. Vidare, planerar SKB att fortsätta arbetet med att bättra säkerställa noggrannheten hos mätningar av väte i koppar.

SKB anger att strålningseffekter på stål planeras att undersökas samt att studier av strålningens inverkan på fosforlegerad koppar och samverkan med korrosionsprocesser diskuteras inom SKB.

Remissinstansernas synpunkter

Med hänvisning till avsnitt 4.5.2 konstaterar Stockholms universitet att SKB inom detta område bland annat har bedrivit fosfor- och korngränsstudier samt studier inom områdena kryp och åldring av koppar, segjärn och stål. Enligt universitet har viktiga kunskaper uppnåtts som bland annat belyser hur kapselns krypegenskaper och duktilitet påverkas av små mängder fosfor i kopparen.

Universitetet noterar att övergripande syftar programmet för Fud-perioden till att förbättra egenskaperna hos kapseln genom fortsatta studier av fosfors effekt på krypegenskaper och duktilitet. Universitetet anser att fortsatta studier av deformationsåldring, strålnings-effekter på gjutjärn och stål samt analyser av mängden väte och gränssättning av dessa nivåer i insatsmaterialen är av stor betydelse för kommande säkerhetsredovisning.

SSM:s bedömning

SSM konstaterar att SKB har fortsatt tidigare påbörjade insatser kopplade till forskning som rör krypning av koppar, med fokus på fördjupad förståelse av fosfors roll och dess inverkan på kapselkoppars krypegenskaper och duktilitet. Forskningsinsatserna innefattar både teoretiska och experimentella studier vilket SSM anser vara ett brett angreppssätt som ger goda förutsättningar för en utökad förståelse för fosfors roll i koppar.

SSM bedömer att genomförda och planerade fosfor- och korngränsstudier samt arbetet med kvantkemiska beräkningar kopplat till effekten av hur föroreningsatomer samverkar med korngränser kommer att ge förutsättningar för att utveckla förfinade kryptmodeller.

SSM ser positivt på det planerade arbetet med att utreda förbättringar av beskrivningen av krypförloppet och anpassningar av konstitutiva samband efter spänningstillstånd, långsamma tidsförlopp och krypmekanismer.

SSM ser även positivt på de planerade försöken att mäta tid till krypbrott för provtillverkad kapselkoppar vid accelererad provning med hög temperatur och höga spänningar, samt planen på att studera inverkan av mindre variationer i kapselkoppars sammansättning, struktur och kornstorlek.

SSM vill betona att fortsatt forskning om krypning av koppar är ett viktigt forskningsområde för att underbygga analysen av långsiktig strålsäkerhet efter förslutning för ett KBS-3 förvar vid Forsmark och att forskningsinsatser bör genomföras på området.

Rörande väteförspredning i kopparmaterial noterar SSM att det pågår undersökningar för att studera eventuell inträngning av väte i koppar samt hur detta påverkar materialegenskaperna. SSM:s detaljerade bedömningar rörande betydelsen av väteförspredning på koppar i perspektivet långsiktig strålsäkerhet återfinns i myndighetens yttrande till regeringen avseende SKB:s komplettering (SSM2019-3222-4, avsnitt 8 respektive 9).

Avseende strålningsinducerade effekter på kapselmaterialen bedömer SSM det angeläget att SKB tar hänsyn till den bedömning som framfördes i samband med granskningen av Fud-program 2019 (SSM2018-5179-9, avsnitt 7.3.2) om vikten av att genomföra experiment på material med relevant kemisk sammansättning samt att studera samverkans effekter med hög bestrålning, tillgång till en vattenfas samt hög temperatur.

I samband med SKB:s ansökan om godkännande av PSAR SFK (SSM2025-905) meddelade SKB att insatsen inte kommer att tillverkas i gjutjärn. Med anledning av denna konstruktionsändring har SSM valt att inte granska utvecklingsinsatser kopplade till gjutjärns materialegenskaper. Eftersom åldring av materialen i insatsen är ett viktigt forskningsområde, förväntar sig SSM att SKB i kommande Fud-program redovisar genomförd forskning på de material som kommer att ingå i konstruktionen.

5.5.3 Konstruktion

SKB:s redovisning

I avsnitt 4.5.3 redovisar SKB utvecklingsinsatser avseende kopparkapseln och dess ingående komponenter.

Under den gångna Fud-perioden har resultat uppnåtts inom områdena kapselns insats, stållock, svetsfog och en preliminär alternativ utformning av kopparkapseln.

Under Fud-perioden planerar SKB att fortsätta utveckla och optimera både utformningar och tillverkningsmetoder.

Remissinstansernas synpunkter

Med hänvisning till avsnitt 4.5.3 konstaterar Stockholms universitet att resultat redovisas vad gäller utveckling och utformning av såväl kopparkapseln som gjutjärnsinsatsen. Syftet är att optimera dessa komponenters funktion samt att säkerställa att säkerhetskraven uppfylls. I relation till referensutformningen har inga beslut tagits som gäller ändrad konstruktion.

Universitetet noterar att programmet för Fud-perioden syftar till att säkerställa en tillförlitlig framtida industriell produktion av kapseln och dess komponenter genom att utveckla och optimera både tillverkningsmetoder och utformningar. Detta avser utformning av olika detaljer av kopparkapseln som insatsen. Enligt universitetet framgår att programmet omfattar flera detaljer av kapseln och lämnar ett intryck av att ansökan för godkännande av Preliminär säkerhetsredovisning (PSAR) kan komma att innehålla förslag på väsentliga förändringar av referensutformningen för kapsel och insats.

SSM:s bedömning

För att undvika att föregripa myndighetens ställningstaganden avseenden SKB:s ansökan om godkännande av PSAR SFK avstår SSM från att bedöma såväl uppnådda resultat som planerade utvecklingsinsatser inom området konstruktion.



SSM konstaterar att SKB:s redovisning är kortfattad, men bedömer att den bidrar till den öppenhet och insyn i SKB:s planer och program som lagstiftningen syftar till.

5.5.4 Tillverkning, kontroll och provning

SKB:s redovisning

I avsnitt 4.5.4 redovisar SKB det utvecklingsarbete som syftar till att kapseln och dess ingående komponenter ska kunna tillverkas på ett tillförlitligt sätt enligt fastställda krav.

SKB redovisar de resultat som under den gångna Fud-perioden uppnåtts avseende tillverkning av kapselns insats respektive kopparhölje samt inom kontroll och provning av kapseln.

Under Fud-perioden planerar SKB att utveckla förståelsen av respektive komponents tillverkningsprocess genom fortsatta tillverkningsförsök i full skala och kartläggning av tillverkningsprocessen för respektive kapselkomponent.

Remissinstansernas synpunkter

Med hänvisning till avsnitt 4.5.4 anser Kungl. Vetenskapsakademien det vara rimligt att utveckling av kraven för kapsel och ingående komponenter fortsätter under Fud-perioden.

Med hänvisning till avsnitt 4.5.4 konstaterar Stockholms universitet att studier har gjorts för att säkerställa att kapseln och insatsens olika komponenter kan tillverkas enligt fastställda krav. De omfattar alternativa utformningar av segjärnsinsatsen och stållocket liksom alternativ utformning av kopparhöljet baserat på valsad kopparplåt. För kontroll och provning av insatsen och kopparrör har olika tekniker studerats.

Universitetet noterar att programmet för Fud-perioden omfattar tillverkningsförsök i full skala och processkartläggning av tillverkningskedjan för de olika kapselkomponenterna. Produktions- och mätsystem av betydelse för säkerheten efter förslutning skall vara utprovade och kvalificerade inför provdrift.

Universitetet noterar att vid granskningen av Fud-program 2022 efterfrågade Kärnavfallsrådet utveckling av oförstörande provningstekniker för kapselns alla delar som beaktar materialstruktur, materialegenskaper och defekter vilket dock icke omfattas av programmet för Fud-perioden.

SSM:s bedömning

För att undvika att föregripa myndighetens ställningstaganden avseenden SKB:s ansökan om godkännande av PSAR SFK avstår SSM från att bedöma såväl uppnådda resultat som planerade utvecklingsinsatser inom området tillverkning, kontroll och provning.

SSM konstaterar att SKB:s redovisning är kortfattad, men bedömer att den bidrar till den öppenhet och insyn i SKB:s planer och program som lagstiftningen syftar till.

5.6 Cementbaserade material

SKB:s redovisning

I avsnitt 4.6 redovisar SKB programmet för cementbaserade material som har två huvudfokus: ökad processkänedom och ökad kunskap om materialens egenskaper och utveckling över den tid som säkerhetsanalysen avser. Av redovisningen framgår att forskningen kring processer kommer att genomföras med både experimentella studier och modellering, där utvecklingen av beräknings- och modelleringsverktyg uppges vara en viktig del.

SKB redovisar att man inom området uppnått följande resultat under den gångna Fud-perioden:

- En beskrivning av hur olika parametrar påverkar materialegenskaperna under de första 100 000 åren efter förslutning av SFR.
- Genomför utvecklingsinsatser för att kunna modellera den hydrokemiska utvecklingen vid förekomst av sprickor, vilket exemplifieras med utvecklingen av ett beräkningsverktyg för reaktiv transportmodellering
- Utveckling av en radionuklidtransportmodell för masstransport mellan förvarssal och berg för slutförvarskonceptet för långlivat avfall.
- Inom ramen för fältexperimentet Concrete and Clay dragit slutsatsen att inte återta och analysera kvarvarande provkroppar innehållande organiskt material. Tillräcklig kunskap anses ha inhämtats från tidigare prover.
- En undersökning av hållfastegenskaper hos betongtankar i SFR har genomförts och avrapporterats.
- Svällande avfalls inverkan på betongkonstruktionen har undersökts och avrapporterats.
- Effekten på hydrologiska flöden i SFR vid användning av betongpluggar istället för bentonitpluggar har utvärderats.

SKB redovisar att planerna för Fud-perioden omfattar följande aktiviteter:

- Avsluta och slutrapportera fältexperimentet Concrete and Clay.
- Fortsatt deltagande i projektet SUDOKU inom Eurad-2
- Genomföra modelleringsstudier för att försöka förstå den långsiktiga kemiska utvecklingen efter förslutning i försvarsalar i SFR.
- Avsluta och avrapportera pågående experiment i Äspölaboratoriet avseende långtidsutveckling av återfyllnadsmaterial med fokus på bakteriell tillväxt.
- Genomföra ett flertal projekt kopplad till reparation och förstärkning av förvarsdelen 1BMA samt konstruktionen av ett gasavledningssystem.
- Genomföra projekt kopplade till uppförandet av kassunernas innerväggar, inklusive verifierande tester i förvarsdelen 2BMA.
Fortsätta arbetet med krav och konstruktionsförutsättningar samt med att utreda hur användning av cementbaserade material vid injektering och bergsförstärkning påverkar pH i slutförvaret.

Remissinstansernas synpunkter

Statens geotekniska institut (SGI) konstaterar med hänvisning till avsnitt 4.6.2 att forskning och utveckling kopplad till låg-pH material har pågått i många år, och SGI saknar en tydlig redovisning av uppnådda resultat och kvarstående osäkerheter som grund för planerade aktiviteter kring fortsatt utredning av typ av cementbaserade material vid injektering och förstärkning.

Med hänvisning till avsnitt 4.6.2 anser Kungl. Vetenskapsakademien (KVA) att en viktig fråga är hur cementbaserade material initialt påverkar grundvattnets kemiska sammansättning och reaktivitet, speciellt under vilka förhållanden (pH, totalhalt av karbonat, närvaro av organiska ämnen, naturliga såväl som tillsatser i cementen) påverkar aktuella metallers och radionuklidens löslighet och speciering. Detta bör enligt KVA vara kunskap som beaktas i performance assessment-analysen av olika tänkbara betingelser, konceptval och relaterade konsekvenser.

SSM:s bedömning

För att undvika att föregripa myndighetens ställningstaganden i den stegvisa prövningen av såväl utbyggnaden av SFR som av SFK avstår SSM från att bedöma såväl uppnådda resultat som planerade utvecklingsinsatser inom området cementbaserade material.

SSM konstaterar att SKB:s redovisning är kortfattad, men bedömer att den bidrar till den öppenhet och insyn i SKB:s planer och program som lagstiftningen syftar till.

5.7 Lerbarriärer, pluggar och förslutning

SKB redogör för insatser inom forskning, utveckling och demonstration avseende området lerbarriärer, pluggar och förslutningar i avsnitt 4.7 i Fud-program 2025. SSM:s granskning och kommentarer rörande frågeställningar om lerbarriärer, pluggar och förslutningar presenteras i detta avsnitt.

5.7.1 Bentonitmaterialets utveckling efter installation fram till mättnad

SKB:s redovisning

De resultat SKB uppnått under den gångna Fud-perioden genom en satsning på frågeställningar kring bentonitmaterialets utveckling efter installation fram till mättnad sammanfattas som följande:

SKB har utfört skalförsök i skala 1:5 (en femtedel av den verkliga dimensionen av deponeringshålet) med syfte att undersöka hur buffert och återfyllning som installerats under torra förhållanden påverkas av naturlig konvektion och därav följande omfördelning av fukt. Försöken har gjorts med både hela ringar/block och segmenterade ringar/block av bufferten. Spaltförsök har också utförts med en horisontellt riktad temperaturgradient i både block och pellets. SKB redovisar laboratorieförsök för att undersöka vattenupptagsprocesser i en simulerad deponeringstunnel fylld med kompakterade bentonitblock och pellets. Syftet med försöken är att utreda inverkan av vatteninflödes hastigheter, tryckupbyggnaden och kanalbildning i pelletsfyllningen på vattenupptagsprocesser. Kanalbildnings/erosionsförsök har genomförts i en utrustning i skala 1:10 i förhållande till ett verkligt deponeringshål. Utrustningen representerar två tunnelsektioner med bufferten och återfyllningen. Inverkan av vatteninflödes hastigheter och försöksperioder på bl.a. mängden av eroderat material har erhållits. Vattenretentionskurvorna har mätts experimentellt för två olika bentoniter, Georgisk och Wyoming (USA) bentonit. Resultat visar hystereseffekt, dvs. vattenretentionsförmågan är högre när bentoniten torkas jämfört med när den våt.

SKB har utfört fullskaliga tester (i samma storlek som ett verkligt deponeringshål) för installation av segmenterade buffertblock och buffertringar vid Äspölaboratoriet. Baserat på resultaten från testerna har tillgängliga tider för buffertinstallation vid olika vatteninflöden uppskattats, t.ex. vid vatteninflödet på 0,1 liter per minut klarar bufferten att lämnas oskyddad utan återfyllning under 8 dagar. Tester med segmenterade block och ringar visar också att större vatteninflöden kan tränga in i gapet mellan kapsel och buffert än vad som tidigare har observerats i försök med hela ringar och block.

Inom ramen för EBS (eng. *engineered barrier system*) Taskforce har SKB utfört termo-hydrauliska-mekaniska (THM)-numeriska modelleringar för olika ändamål: att simulera schweiziskt FEBEX-försöks THM-beteende under den transienta fasen, samt att undersöka vattentransport i pelletsfyllda spalter med konstant punktinflöde av vatten och vidare utveckla modeller för denna tillämpning. Kanalbildning har observerats i undersökningen med pelletsfyllda spalter. I samband med brytning av Prototypförvaret i Äspölaboratoriet har både det hydrauliska tillståndet (vattenmättnadsgrad och vattenkvot) och homogeniseringen (jämnning av densiteten) numeriskt modellerats. Modelleringsresultat stämmer bra med experimentella data av proverna från Prototypförvarets lermaterial.

SKB redovisar att en hystereseffektbaserad materialmodell (HBM) har utvecklats och implementerats i ramverket COMSOL Multiphysics®. Modellen utvecklades för att ge



mer robust materialmodell för simulering av bentonits homogeniseringsprocess. Detaljerad och transparent beskrivning med härledningar av underliggande konserverings- och konstitutiva ekvationer har redovisats. Modellen har validerats genom att analysera nio experimentella testförhållanden och demonstrera modellens prediktiva förmåga.

Buffertens uppsvällning fram till återfyllningen har modellerats genom att ta hänsyn till friktionen mellan buffert och vägg av deponeringshål. Resultaten visar att återfyllningens styvhet och blockens torrdensitet hade en stor påverkan på buffertens uppsvällning. Vattentillförsel och friktion vid buffert/bergkontakten hade en relativt liten effekt. SKB har även modellerat buffertens uppsvällning in till en helt torr återfyllning.

SKB:s planerade experimentella försök under Fud-perioden inkluderar skalförsök av kanalbildningserosion hos bufferten och gasbildningsförsök med syfte att få en bättre mekanismförståelse och samla in mer data.

SKB planerar att uppdatera den konceptuella beskrivningen av de modelleringsverktyg som används för vattenuptagsprediktioner. Beskrivningen kommer att beröra dels bergets hydrauliska egenskaper och dels representation av kanalbildning i bentoniten. Modellvalideringsarbete kommer att fortsätta för modellering av fuktomfördelning från buffert till återfyllning. I samband med utvärdering av Prototypförvaret kommer materialmodeller för buffertens vattenuptag, homogenisering och uppåtriktade svällning fram till återfyllningen att vidare utvecklas och valideras. Den hysteresebaserade materialmodellen kommer att generaliseras och vidareutvecklas vid jämförelse mot experimentella mätdata inom ramen för EU:s Eurad-2-projekt. Det planeras arbetet med såväl laboratorietester som modellering och teoretiska studier av lerbarriärs långsiktiga stabilitet med fokus på processerna av krypning, hysteres och friktion.

Remissinstansernas synpunkter

KTH noterar att under avsnittet lerbarriärer (4.7) nämns inte effekter av joniserande strålning någonstans. Bentoniten som står i kontakt med kapseln exponeras med samma dosrat som kapselytan och det finns tidigare studier som visar att joniserande strålning påverkar oxidationstal för järn i leran, adsorptionsförmåga (katjoner) och kolloidal stabilitet. KTH menar att om dessa effekter anses vara försumbart små och inte påverka barriärintegriteten kan det vara bra att nämna det här och därmed visa att detta har tagits i beaktande.

SSM:s bedömning

SSM bedömer att SKB:s uppnådda resultat under den gångna Fud-perioden kring frågeställningarna rörande bentonitmaterialets utveckling efter installation fram till mättnad är ändamålsenliga och trovärdiga. Det är positivt att SKB har genomfört försök i både mindre och i full skala för att utreda hur fuktfördelning genom naturlig konvention kan påverka kvaliteten av det installerade buffertmaterialet. SKB:s experimentella insatser med syfte att erhålla vattenretentionskurvor från flera typer av bentonit bedöms vara ändamålsenliga.

SSM anser att det är nödvändigt att utreda beteendet (vattenuptag, kanalbildningserosion, svällning och homogenisering, m.m.) hos segmenterade buffertblock/ringar under vattenmättningsperiod, både att det visas genom försök i olika skala och genom modellering, om segmenterade block och ringar kommer att användas i SFK.

SSM anser att SKB:s uppdatering och vidareutveckling av materialmodellen för bentonit är ändamålsenliga. Även SKB:s numeriska modelleringar av buffertens uppsvällning fram till återfyllning bedöms vara viktig för att fastställa krav på installerade återfyllningsegenskaper (initialtillstånd av återfyllningen).



SSM bedömer att SKB:s planerade experimentella försök att utreda fenomenen av kanalbildningserosion och gasbildning är nödvändiga för en bättre förståelse av processerna som ske i buffertmaterial i de torra deponeringshålen. SSM anser att det är mycket positivt att SKB planerar att uppdatera konceptuell beskrivning av vissa modelleringsverktyg av vattenupptag för att explicit hantera bergets hydrauliska egenskaper som randvillkor samt för att kunna använda verktyget för modellering av både buffert och återfyllning. SSM ser positivt på SKB:s fortsatta arbete med modellvalidering och utveckling av materialmodeller baserat på bl.a. observationerna i lermaterialet från Prototypförvaret. Även SKB:s deltagande i Eurad-2 forskningsprogrammet bedöms vara ändamålsenligt.

SSM vill dock påpeka att det i Fud-program 2025 saknas redovisning av SKB:s genomförda och planerade arbete med utredning av mikrobiell sulfidbildning, huvudsakligen i återfyllning men till viss utsträckning också i bufferten, under kanalbildningserosionsförhållanden. Sulfidtransport i gasfasen från återfyllningen genom den omättade bufferten till kapselns yta är en process som potentiellt kan öka korrosion av kopparkapslar.

5.7.2 Bentonitmaterialets utveckling efter vattenmättnad

SKB:s redovisning

SKB:s uppnådda resultat i arbete med frågor kring bentonitmaterialets utveckling efter vattenmättnad sammanfattas som följande:

SKB har utfört laboratorieförsök för att bestämma bentonitens enaxliga tryckhållfasthet på proverna av olika bentonitmaterial (Asha505 från Indien, Calcigel från Tyskland, Deponit CaN från Grekland, FEBEX från Spanien, GMZ från Kina, Ikosorb från Marocko, Kunigel från Japan och MX-80 från USA). Syftet med försöken är att studera hur hållfastheten påverkas av jonbyte, olika spänningvägar och uttorkning. Proverna har oftast varit vattenmättnade men det finns omättade prover när uttorkningen sker. Resultaten från försöken visar att hållfastheten till stor del påverkas av torrdensitet och typen av bentonit, medan extern saltlösning, jonbyte, spänningvägar och uttorkning har inga eller litet inverkan. SKB konstaterar att enaxliga tryckförsök kan användas att bestämma bentonitens skjuvhållfasthet mot snabb töjning orsakad av en eventuell bergskjuvning längs en spricka genom ett deponeringshål, trots att triaxialförsök är fördelaktiga.

SKB har analyserat prover från ABM2 och ABM5 samt LOT S2 och A3 tester vid Äspölaboratoriet. Resultat från samtliga proverna visar ingen mineralomvandling av montmorillonit i bentonit, trots att vissa prover har utsatts för så hög temperatur som 250 °C. Förändringen av katjonutbyteskapacitet (CEC, *cation exchange capacity*), omfördelning av lättlösliga accessoriska mineraler i bentoniten har dock observerats. Korrosionsprodukter av järn har också upptäckts i gränssnitt mellan bentoniten och järnröret som används att värma bentoniten. Ökning av magnesium i montmorillonits oktaedriska platser har observerats i t.ex. ABM2 och likande tester i andra underjordsanläggningar, men inte i proverna från ABM5-test som har högsta temperaturen bland alla tester.

SKB har vidareutvecklat metoder för bestämning av bakterieaktivitet i bentonitprover. Jämfört med den tidigare metoden med hjälp av svavelisotop (S-35) som bara kan detektera bakterieaktiviteten nära kontaktområdet mellan leror och kopparskivorna, bestämmer den nya metoden aktiviteten i hela kärnan av lerprover tack vare konsumtion av laktat och sulfat plus att produktion av acetat analyseras. Metoden tillämpades på olika



bentonittyper och slutsatsen visar att tidigare gränsvärden för upphörande av sulfidproduktion fortfarande gäller med undantag för några få typer av bentonit.

SKB har inlett ett pilotprogram för att undersöka flockulationsfenomenet för olika lermaterial med syfte att förstå lerans sedimentationsprocesser i lutande sprickor i berget. Preliminära resultat har erhållits från beräknade data och analyser utförda på proverna av olika lermaterial efter försöken. Utredningen har fokuserat på aspekter som initial vattenhalt, massförlusthastighet, expansionsvolym, torr densitet, m.m. Resultaten visar att Na-dominerande bentonit ofta har den mest betydande expansionen in till sprickorna, samt Ca-dominerande bentonit brukar ha högre massförlusthastigheter. Dessutom har SKB uppdaterat modelleringsprogram för bentonitens kemiska erosion med hänsyn också tagen till friktion mellan leran och väggen av sprickan samt potentiell sedimentation i en lutande spricka. Resultaten visar en tydlig korrelation mellan erosionstakten och flödes hastighet av grundvatten samt spricköppning.

SKB har genomfört naturliga analogstudier av smektiska prover från Kiirunavaaragruva där smektiska mineraler (främst järn-fattigt och högladdat montmorillonit) är i direkt kontakt med haematit. Mineralogiska, petrografiska och andra analytiska försök visar att lermineralerna har överlevt flera hundra miljoner år vilket är mycket längre än vad som krävs för bentonit i ett slutförvar. SKB anser att lermineraler i Kiirunavaaragruva fungerar som utmärkta analoger för sådana material i buffert, återfyllning och förslutning.

SKB planerar att utföra experiment i olika skalor för att studera kemiska interaktioner mellan bentonit och metallisk koppar för att bättre förstå vilka korrosionsprodukter som bildas. Dessutom kommer proverna från bentoniten i den inre sektionen av Prototypförvaret samt kvarvarande fältförsök i Äspölaboratoriet (LOT S3 och tre ABM-paket) att analyseras. Syftena med dessa analyser är att bekräfta stabiliteten hos montmorillonit i bentoniten, att studera den kemiska utvecklingen i bentoniten såsom upplösning och utfällning av accessoriska mineraler, omfördelning av anjoner och redox förhållanden, m.m.

SKB kommer att fortsätta arbeta med experimentella försök för att utreda hur mikrobers överlevnadsgräns är beroende på buffertens svälltryck och densitet. Slutmålet är att försörja anläggningsdriften med en unik konstruktionsförutsättning i form av lägsta densitet eller svälltryck för lermaterialen som kan användas i slutförvaret.

SKB planerar att fortsätta det experimentella programmet för att undersöka kolloidfrigörelse och kemisk erosion av bentonit med syfte att ta fram data för modellutveckling och modellvalidering. Modellutvecklingen kommer att fortsätta fram till ansökan om godkännande av SAR SFK inför provdrift med syftet att optimera och validera modellen mot laboratorieförsöks resultat. Arbetet kommer att fokusera på flockbildning och transport av flockpartiklarna.

SKB kommer att fortsätta utveckla den termiska, hydrauliska och kemiska modellen (THC-modellen) för att kunna utreda bentonit-cementinteraktion, retrogradupplösning av vissa accessoriska mineraler samt omfördelning av anjoner under omättat förhållande. Modellen kommer även att valideras mot resultat från analyser av proverna från Prototypförvaret samt inom TaskForce EBS-projektet.

SKB kommer gå igenom och sammanställa tillgängliga publikationer om strålningsinverkan på bentonit.

Remissinstansernas synpunkter

Med hänvisning till avsnitt 4.7.2 anser Kungl. Vetenskapsakademien (KVA) att de fortsatta bentonitstudier rörande både mekaniska/fysikaliska och kemiska egenskaper som



planeras för Fud-perioden, är välmotiverade och bör prioriteras. KVA anser vidare att en viktig aspekt är att klarlägga betydelsen av bentoniten som källa för mobila kolloidala partiklar till vattenmiljön. Standardmetoden filtrering genom 0,45 µm filter är enligt KVA ej tillräcklig för avskiljning av suspenderad fas, ej heller 0,22 (eller 0,20) µm filter avskiljer hela den kolloidala fasen.

SSM:s bedömning

SSM bedömer att SKB:s uppnådda resultat under den gångna Fud-perioden avseende frågeställningarna rörande bentonitmateriallets utveckling efter vattenmättnad är ändamålsenliga och trovärdiga. SSM ser positivt på att SKB:s experimentella arbeten (laboratorie- och fältförsök) fokuserar på olika typer av bentonit, både i bestämning av hållfasthet och utredning av långsiktig stabilitet. Bentonit av olika ursprung och olika typer förväntas att användas i SFK. SSM anser att SKB:s resultat från analyser av proverna från olika fältförsök, framför allt från ABM5-testen, samt från naturliga analoger av Kirrunavaaralera har förstärkt förtroendet av bentonitens långsiktiga stabilitet i slutförvarsmiljön. SSM vill dock påpeka att SKB bör fortsätta satsa på att fördjupa förståelsen av mekanism för införlivning av magnesiumkatjoner i oktaedraliska platser i montmorillonit som möjligen kan leda till bildning av trioktaedraliska smektiter som saponit. Dessutom bör saponits egenskaper (svälltryck och hydraulisk konduktivitet) utredas och jämföras med montmorillonit.

SSM anser att SKB:s satsning på naturliga analoger är ändamålsenlig och värdefull för utredningen av bentonitens långsiktiga säkerhet, trots att fokuset på järn-bentonit-interaktionen har mindre betydelse för KBS-3-metoden som har kopparkapslar istället för järncontainrar som är i direkt kontakt med bufferten.

SSM bedömer att SKB:s nya metoder för att bestämma mikrobaktivitet i hela kärna av bentonitprover, istället för bara i gränssnittet mellan leror och kopparskivorna, har lett till en bättre metod att utreda gränsvärdena (uttrycks antingen i svälltryck eller i densitet) för mikrobaktivitet. Det är även positivt att SKB kommer fortsätta att använda denna metod för att bekräfta och förtydliga de gränsvärden som tagits fram med den gamla metoden med svavelisotopen S-35.

SSM bedömer att det är positivt SKB har utvecklat och fortsätter att utveckla modellen för kolloidfrigörelse/kemisk erosion av bentoniten. SSM anser att SKB:s fokus i modellutvecklingen på friktion mellan bentonit och sprickors väggar samt sedimentering av bentonit i lutande sprickor är ändamålsenliga och gör SKB:s säkerhetsanalyser kring den kemiska erosionen ännu mer realistiska.

Det är positivt att SKB planerar att sammanställa resultat från utredningar av strålnings inverkan på bentonitens långsiktiga stabilitet.

5.7.3 Utformning, tillverkning, kontroll och provning samt installation av buffert och återfyllning

SKB:s redovisning

SKB redovisar utformning, tillverkning, kontroll och provning av lerbarriärer i avsnitt 4.7.3 medan installation av buffert och återfyllning redovisas i avsnitt 4.7.4. SSM anser att redovisningar i avsnitt 4.7.3 och 4.7.4 är hopkopplade och väljer att kommentera redovisningarna tillsammans i detta avsnitt av granskningsrapporten.

SKB:s uppnådda resultat i området av lerbarriärers utformning, tillverkning, kontroll och provning samt installation sammanfattas som följande:



SKB har tillverkat segmenterad buffert och kontrollerat dess kvalitet. De segmenterade delarna av bufferten har installerats och testats i ett fullskaligt deponeringshåll i Äspölaboratoriet. SKB har bestämt hur lång tid installation av bufferten kan ta vid olika vattenflöden (0,001 l/min, 0,01 l/min och 0,1 l/min). I några av dessa fullskaliga installationsförsök har möjligheten att använda extruderade pellets istället för rullkompakterade pellets utvärderats. Resultatet visar att skillnaderna av prestanda mellan de två olika utformningar av pellets är små.

SKB har tagit fram ett kriterium för tiden till att återfyllningen behöver vara installerad ovanför deponeringshålet för att inte bufferten ska svälla upp otillåtet mycket. Tider har bestämts för olika vatteninflöden till deponeringshålet. Baserat på denna information har gränsen mellan torrt och vått deponeringshåll fastställts.

SKB har uppdaterat buffertens dimensioner med krav och toleranser. Dessutom har konstruktionsförutsättningar för återfyllningsblocken uppdaterats baserat på tunneldimensionskrav och återfyllningens styvhet.

Ett nytt lyftverktyg för hantering av bufferten har utvecklats.

SKB planerar att specificera krav på hur lermaterial som inte fullt ut uppfyller kraven i någon del av produktionslinjen ska hanteras och möjligtvis omarbetas för att kunna föras tillbaka till produktionslinjen.

SKB planerar att utveckla och testa en prototyp för buffertnedläggningkarossen.

SKB planerar att arbeta med alternativa utformningen av granulerad återfyllning (istället för block plus pellets).

SKB kommer att fortsätta med arbete att studera inverkan av vatteninflödet på installation av återfyllning. Olika vattenhanteringsmetoder kommer att utvecklas för olika stora vatteninflödena till deponeringshålen, såsom vattenlagring i pelletsfyllning, i geotextil och i vattenlagringssektion, temporär vattendränning eller dränning genom borrhål till angränsande tunnel, artificiell bevätning av pelletsvägg, samt lokal frysning. SKB planerar även att arbeta med utformning av en temporär plugg för deponeringstunnlar vid ett tillfälligt stopp i installationsprocessen.

SKB har planer att kartlägga och uppdatera processtegen för tillverkning av buffert och återfyllning. Dessutom kommer SKB att se över hela deponeringssekvensen för både torra och våta deponeringshåll.

SKB kommer att arbeta med att återta kapsel från ett deponeringshåll efter deponering och utreda hur buffertmaterialet hanteras vid återtag.

SSM:s bedömning

För att undvika att föregripa myndighetens ställningstaganden avseenden SKB:s ansökan om godkännande av PSAR SFK avstår SSM från att bedöma såväl uppnådda resultat som planerade utvecklingsinsatser inom områdena utformning, tillverkning, kontroll och provning samt installation av buffert och återfyllning.

I övrigt bedömer SSM att SKB:s arbete under den gångna Fud-perioden varit ändamålsenligt. SSM ser också positivt på planerade insatser. SSM anser dock att SKB behöver sätta konkreta milstolpar i utvecklingsarbetet med buffert/återfyllnings tillverkning, kontroll och provning samt installation fram till provdrift av slutförvarsanläggningen. Dessutom anser SSM att SKB i kommande Fud-program bör

redovisa erfarenheter och lärdomar från det finska programmet vid tillverkning och installation av buffert och återfyllning, samt hur SKB kan tillgodogöra sig dessa.

5.7.4 Installation av buffert och återfyllning

SSM:s bedömning av SKB:s redovisning av området installation av buffert och återfyllning redovisas i avsnitt 5.7.3 i denna rapport.

5.7.5 Förslutning av borrhål och förvar

SKB:s redovisning

SKB redovisar frågeställningar avseende förslutning av borrhål och förvar i avsnitt 4.7.5. SSM:s granskning av området redovisas i föreliggande avsnitt.

SKB:s uppnådda resultat i arbete med förslutning av borrhål och förvar är som följande:

SKB har tagit fram en metod för borrhålsförslutning.

SKB planerar att optimera utformningen av borrhålsförslutningen med dess olika komponenter. SKB avser att ytterligare optimera förslutningskonceptet för bergutrymmen. Granulär bentontit eller bentonit blandade med bergkross från bergmassar som tagits ut vid tunnelbyggnad planeras att användas för återfyllningen av bergutrymmen.

SKB kommer att utveckla en metod för uppskattning av vattenläckage genom valvpluggen för att bekräfta bibehållen förmåga att begränsa läckaget.

Remissinstansernas synpunkter

Statens geotekniska institut (SGI) noterar med hänvisning till avsnitt 4.7.5 att i programmet anges att en metod för borrhålsförslutning har tagits fram men avser att optimeras med avseende på olika komponenter. SGI önskar en kort redovisning av utvärderingen av nuvarande metodik och eventuella kvarstående frågeställningar som ligger till grund för kommande program.

SSM:s bedömning

För att undvika att föregripa myndighetens ställningstaganden avseenden SKB:s ansökan om godkännande av PSAR SFK avstår SSM från att bedöma såväl uppnådda resultat som planerade utvecklingsinsatser inom området förslutning av borrhål och förvar.

SSM konstaterar att SKB:s redovisning är kortfattad, men bedömer att den bidrar till den öppenhet och insyn i SKB:s planer och program som lagstiftningen syftar till.

5.8 Berg

SKB:s redovisning

I avsnitt 4.8 redovisas SKB:s uppnådda resultat inom området. SKB uppger att den teknikutveckling inom bergområdet som behövdes som underlag till ansökan om godkännande av PSAR SFK är genomförd. Ytterligare metodutveckling, planerad inför SAR, förväntas resultera i mer effektiva urvalskriterier för deponeringshålen, vilket kommer att optimera urvalet och därmed reducera bortfallet av olämpliga håll. I avsnitt 4.8 redovisar SKB uppnådda resultat och planer för området berg. Området är uppdelat på sex delområden, vilka SSM slagit ihop till fem

- Geomekanisk karakterisering och modellering
- Seismisk påverkan på förvarens säkerhet
- Hydrogeologi och DFN-modellering



- Transport av lösta ämnen
- Hydrogeokemi

5.8.1 Geomekanisk karakterisering och modellering

Geomekanisk karakterisering och modellering syftar till att kvantifiera bergmassan beteende under olika tidperioder, där en god förståelse om det orörda tillståndet är en förutsättning för modelleringen av den framtida utveckling. Under den gångna Fud-perioden har SKB genomfört flera geomekanikstudier. En uppdaterad 3D-bergspänningsmodell baserad på den senaste modellen av deterministiskt modellerade strukturer. Metoder för kvalitetskontroll av spänningsmätningar och en tensorbaserad probabilistisk metod för analys av spänningsmätningar har vidareutvecklats. Det DFN-baserade ramverket har byggts ut för att inkludera uppskattning av bergmassans hållfasthet och hydromekaniska egenskaper, som ekvivalent hydraulisk konduktivitet och dess spänningsberoende. Forskning har också fokuserat på spjälkningsmodellering, exempelvis vidareutveckling av numeriska metoder för att simulera spjälkning i 3D, samt en karakterisering av vilken mekanism i Forsmark som har reaktiverat sprickorna och lett till den nuvarande spricköppenheten. Slutligen har en jämförande studie utförts mellan simuleringar i FLAC3D och 3DEC gällande mekaniska, termomekaniska och seismiska processer.

SKB planerar att fortsätta arbetet med bergspänningar genom bland annat mätningar under uppförandefasen, förnyad värdering av befintliga och nya data, samt modellering (inklusive spänningsfältets långsiktiga utveckling och modellutveckling). Dessutom planeras fortsatt utveckling av karakteriseringen av bergmassans mekaniska och hydromekaniska egenskaper. Detta syftar till att kunna förutsäga sprickors mekaniska beteende utifrån fältdata, samt analysera hur sambandet mellan mekanisk sprickapertur och transmissivitet påverkas av förändringar i spänningsfältet.

Remissinstansernas synpunkter

Sveriges geologiska undersökning (SGU) konstaterar att i avsnitt 4.8.1 *Geomekanisk karakterisering och modellering* framgår det i de flesta fall inte om vilka djupintervall som avses, denna brist föreligger både i beskrivningen av resultat och i presentation av program för den kommande Fud-perioden. De avsnitt som avhandlar hydrogeologi (4.8.4 och 4.9.3) gör en tydligare åtskillnad mellan ytnära och djupliggande förhållanden.

5.8.2 Geometrisk modellering av diskreta spricknätverk

SSM:s bedömning av SKB:s redovisning av området geometrisk modellering av diskreta spricknätverk redovisas i avsnitt 5.8.4 i denna rapport.

5.8.3 Seismisk påverkan på förvarens säkerhet

SKB:s forskningen inom området syftar till att förbättra underlaget för seismisk riskbedömning och modellering av dess effekter på slutförvar och ska säkerställa att effekterna inte underskattas samt möjliggöra ett effektivare utnyttjande av förvarsvolymen. SKB:s forskning på området kan delas in i underområdena paleoseismologi, instrumentering och modellering.

SKB fortsätter studera paleoseismiska händelser, med fokus på Hälsingland, och analyserar skalvdata för att minska osäkerheterna i jordskalvsprognoser och öka förståelsen för de mekanismer som driver glacialt inducerade jordskalv. Detta är viktigt för SFK, men kan även få betydelse för SFR och slutförvaring av långlivat avfall. Metodiken för modellering av sekundära rörelser har nått en hög mognadsgrad, men det finns potential att utveckla den ytterligare för att kunna motivera mindre konservativa

antaganden i säkerhetsanalysen för SFK. Exempelvis avser SKB analysera branta och flacka förkastningars stabilitet under varierande islast med olika jordmodeller.

Inga nya undersökningar specifikt för seismisk påverkan på SFR planeras, men det lokala seismiska nätverket för SFK som är i drift sedan oktober 2023 kommer även att övervaka seismiciteten vid SFR.

Remissinstansernas synpunkter

Med hänvisning till avsnitt 4.8.3 anser Kungl. Vetenskapsakademien att den fortsatta geomekaniska karakterisering och modellering som planeras för Fud-perioden måste ses som en självklar och prioriterad aktivitet.

5.8.4 Hydrogeologi och DFN-modellering

Grundvattenströmning i bergets spricksystem är ett centralt område för säkerhetsanalys och projekteringen av SFK. De huvudsakliga aspekterna berör identifiering av vattenflöden i närheten av deponeringshålspositioner och hur grundvattenflödet inverkar på buffertinstallation och barriärernas långsiktiga integritet.

Under perioden har SKB fokuserat på att förfina modelleringsmetodik, validera transportmodeller och implementera nya konceptuella DFN-modeller för sprickigt berg inför SAR SFK. Ett centralt projekt har varit förberedande övningar inför framtida säkerhetsanalyser, där nya modelleringsmetoder och koder utvärderas. SKB nämner bl.a. utveckling av beräkningsmetoder för ekvivalent flöde Q_{eq} i DarcyTools (Shahkarami och Ferry 2024). Vidare har studier genomförts kring hur öppna borrhål bäst representeras i numeriska modeller för att säkerställa att simuleringar stämmer överens med faktiska fältmätningar (Selroos et al. 2025). Inom det internationella samarbetet *Task Force GWFTS*³ pågår projektet Task 10, som fokuserar på validering av flödesmodeller. Utifrån laboratorieexperiment på naturliga sprickor under olika normalspänningar har SKB utvärderat brukade modellers förmåga att efterlikna verkligheten (Jacobsson och Godio 2023; Trinchero m fl., 2024). Ett avslutat doktorandprojekt har undersökt vattenkällor och "taliks" (ofrysta zoner) i kontinuerlig permafrost. Detta är av stor vikt för den långsiktiga säkerhetsanalysen, då dessa zoner kan utgöra transportvägar mellan djupförvaret och markytan under framtida istidscykler (Hornum 2023). SKB har vidareutvecklat DFN-metodiken för Discrete Fracture Network (DFN). Den nya metodiken inkluderar både tidigare beprövade modeller och nya konceptuella ansatser. Jämförelser mot flödesloggningssdata visar att nyare, "genetiska" sprickmodeller beskriver verkligheten minst lika bra som tidigare modeller. (Davy et al. 2023). Studier av data från Forsmark visar att spänningar i berget starkt påverkar hur öppna sprickorna är. Detta motiverar att modeller numera inkluderar kopplingar mellan mekaniskt tryck och hydrauliskt flöde (Doolaghe et al. 2023). Arbetet med att bestämma vilka deponeringshål som kan accepteras baserat på hydrauliska egenskaper har utvecklats för att ytterligare begränsa osäkerheter kring deponeringshålspositioners lämplighet (Hartley et al. 2024)

SKB:s kommande program fokuserar på att förbättra metodiker och koder för modelleringen av grundvattenflödet i kristallin berggrund genom att integrera komplexa fysiska och kemiska processer. En del av arbetet är hydro-mekanisk och hydro-geokemisk modellering, exempelvis avseende förutsättningarna för infiltration av glacialt smältvatten ner till förvarsdjup. Inom DFN-modellering uppger SKB att det kommande programmet inkluderar insatser rörande uppskalning från DFN- till kontinuum-modeller av flödes- och transportegenskaper. Genom så kallad "nästlad modellering" och uppskalning vill man mer effektivt simulera hur både flödes- och transportegenskaper fungerar i stora bergvolym. SKB fokuserar på att öka realismen i sina DFN-modeller genom att gå från

³ Task Force on Modeling of Groundwater Flow and Transport of Solutes.



statiska beskrivningar till mer deterministiskt betingade DFN-modeller och utveckla hur sprickytors geometri påverkar mekanik, flöde och transport i sprickigt berg samt fördjupa kunskapen om vilka faktorer som styr var och varför sprickor uppstår, vilket ger en mer robust grund för säkerhetsanalyserna. Vidare fortsätter SKB utvecklingen av hydrauliska acceptanskriterier för deponeringshål. Syftet är att säkerställa att hålen inte placeras där vattenflödet är för stort. SKB kommer fortsättningsvis engagera sig internationellt inom området hydrogeologi, bl.a, genom sitt engagemang inom *Task Force GWFTS*.

Remissinstansernas synpunkter

Sveriges geologiska undersökning (SGU) konstaterar med hänvisning till avsnitt 4.8.2 att många studier har gjorts vad gäller modellering av diskreta spricknätverk, både vad gäller genetiska och betingade modeller, vilket är positivt. SGI saknar dock en beskrivning över hur de uppnådda resultaten, tillsammans med forskningsresultat om geomekanisk och hydrogeologisk modellering, kan bidra till minskade osäkerheter i det kommande modelleringsarbetet.

SGU anser att i avsnitt 4.8.2. *Geometrisk modellering av diskreta spricknätverk* är programmet för den kommande perioden särskilt kortfattat formulerat. SGU anser att programmets syfte och genomförande bör förtydligas och de olika stegen motiveras.

5.8.5 Transport av lösta ämnen

SKB:s genomförda och planerade insatser inom området innefattar både modellering med inriktning på både radionuklidtransport och grundvattenkemiförändringar, samt karaktärisering av platsspecifika material med avseende på transport- och retardationsparametrar. Satsningarna på Marfa-koden fortsätter med utgångspunkt från föresatsen att transport ska kunna integreras direkt med grundvattenflödesberäkningar, i synnerhet med hjälp av DarcyTools. Särskilda insatser för experiment med platsspecifikt geologiskt material ska fortsätta för sorption, liksom transportparametrar som diffusivitet, permeabilitet, och konnekterad porositet. Beträffande nuklidspecifika frågeställningar har ytterligare experiment genomförts för att karaktärisera radiums respektive dess dotternuklidens sorptionsegenskaper, vilka även innefattat inverkan av medfällning. Även sorption av molybden på platsspecifika material har studerats. SKB avser att fortsättningsvis inkludera effekter av förhöjda pH-värden i samtliga sorptionsstudier. Kolloidtransport som hittills förutsatts ha liten betydelse i sammanhanget ska även utvärderas baserat på en ny kunskapssammanställning.

5.8.6 Hydrogeokemi

SKB:s både pågående och planerade satsningar inom hydrokemiområdet syftar i första hand till att underbygga analysen av de tekniska barriärernas beständighet i slutförvarsmiljön, vilket avser kapselkorrosion orsakad av sulfider i grundvatten respektive erosion av bufferten som en möjlig följd av en eventuell kraftig utspädning av grundvattnets salthalt på förvarsdjup. För att förutsäga kopparkapslarnas sulfidbelastning är mikrobiella sulfidbildningsprocesser av intresse vilka styrs/påverkas av tillgång till nedbrytbart organiskt material samt geogaser som metan och vätgas. Avrapporterade projekt har t.ex. studerat olika mikrobiella populationers metabolism för att utröna i vilken omfattning de kan bidra till sulfatreduktion genom konsumtion av olika former av organiskt material. SKB har även studerat bildningen av tvåvärt järn genom anaeroba vittringsprocesser eftersom riklig tillgång på järn två kan reducera effekterna av sulfidbildning som en följd av utfällningsprocesser. Ytterligare en tillämpning av mikrobiella processer som har studerats avser i vilken omfattning U(VI) kan reduceras till svårlösligt U(IV). Planerade studier inför Fud-perioden kommer i stort sätt fokusera på en



ytterligare fördjupning av förståelsen för processer som involverar mikrober och sulfidbildning i slutförvarsmiljön.

Det andra området som mera fokuserar på förutsättningar för buffertens erosionsbeständighet har omfattat studier av s.k. matrisporvattens sammansättning och mobilitet. Frågans relevans kopplar till att relativt salt matrisporvatten kan motverka utspädningseffekter orsakade av infiltration av nederbörd vatten.

Remissinstansernas synpunkter

Linnéuniversitetet anser att det hydrogeokemiska programmet (avsnitt 4.8.6) kan utvecklas genom fler studier i Forsmark för att ta fram platsspecifika data, istället för att främst hänvisa till studier från Äspö. Ett exempel är, enligt universitetet, uranupptag i mineral, där det nyligen publicerats forskning från Äspö, men ingen liknande publicerad studie från Forsmark. Detta, föreslår universitetet, kan nämnas i rapporten i samband med avsnittet om uran, med ett tillägg om vilka studier som planeras i Forsmark gällande retention av uran och andra radionuklider genom samfällning med mineral.

Med hänvisning till avsnitt 4.8.6 konstaterar Kungl. Vetenskapsakademien (KVA) att studier av den lokala hydrogeologin och modellering av hydrogeologiska processer fortsätter under Fud-perioden, liksom ansatser att modellera flöden av lösta radionuklider under de aktuella geokemiska och geologiska betingelserna i den regionala berggrunden. KVA anser att processer som måste beaktas är sorption på mineralytor men också förekomsten av bärarfaser i form av kolloider och den hydrokemiska styrningen av radionuklidernas speciering (komplexbildning, utfällning) inklusive effekter av temperatur, vattenflöden, uppehållstider, flödesvägarnas geometri, även redoxprocesser, naturliga pH-variationer och mikrobiell aktivitet.

KVA konstaterar sammanfattningsvis att en god förståelse och beskrivning av grundvattnets kemi och rörelser är ett krav och nödvändig förutsättning för beräkning av radionuklidens spridning i geosfären och för säkerhetsanalysen. KVA anser att kunskapsläget rörande effekter av oorganiska såväl som organiska komplexbildare på radionuklidens löslighet och mobilitet i förvarsmiljön generellt är gott. KVA konstaterar att ett flertal omfattande studier har gjorts av bl.a. cellulosans nedbrytningsprodukter (ISA) vid högt pH (cementmiljö) liksom av organiska tillsatsmedel som kan förekomma i SFR- såväl som i SFL-miljöerna. KVA:s bedömning är att SKB befinner sig i forskningsfronten inom dessa områden.

SSM:s bedömning

I januari 2025 lämnade SKB in en preliminär säkerhetsredovisning (PSAR) till SSM som underlag för godkännande av uppförandet av slutförvaret för använt kärnbränsle. Delar av innehållet i Fud-program 2025, kapitel 4.8 "Berg", baseras på underlagsrapporter till PSAR. Fud-program 2025 innehåller dock flera studier som inte ryms inom säkerhetsredovisningen. Fud-programmet fyller därmed en viktig funktion genom att ge SSM insyn i SKB:s fortlöpande arbete med att fördjupa kunskapen om bergets egenskaper och processer för säkerheten efter förslutning. Samtidigt innebär detta en viss dubbelredovisning av underlag. För att inte föregripa den pågående granskningen av PSAR, väljer SSM att i detta sammanhang endast lämna synpunkter på SKB:s forskningsprogram på en övergripande och principiell nivå.

Geomekanisk karakterisering och modellering

SSM ser positivt på SKB:s planerade insatser för att fördjupa förståelsen av bergets mekaniska egenskaper. Fokus ligger på att kvantifiera bergspänningar, spjälkingspotential, EDZ och karakterisera sprickors hydromekaniska beteende och hur vattenledningsförmågan påverkas av spänningsförändringar. Karakterisering och kvantifiering av berggrundens förmåga att bidra till den långsiktiga säkerheten är viktiga delar av detaljundersökningsprogrammet för uppförandet av tillfarter och centralområdet,



tillika en viktig del i SSM:s pågående granskning av PSAR SFK. För att inte föregripa pågående granskning av PSAR SFK avhåller därför SSM sig från att vidare kommentera SKB uppgivna planer på området.

Seismisk påverkan på förvarens säkerhet

SKB:s arbete inom området, vilket är uppdelat på delområdena övervakning, paleoseismologi, och modellering, är ändamålsenligt. SKB:s etablering av en seismisk "baseline" inför uppförandet är utmärkt. Den utgör en förutsättning för att kunna lokalisera inducerad seismicitet samt förstå dess förekomst och beteende under kärnbränsleförvarets olika faser fram till förslutning. En långsiktig övervakning av den seismiska aktiviteten är helt nödvändig för att bättre förstå fenomenet jordskalv och den fara det för med sig över tid och rum.

SSM noterar att övriga delar av SKB redovisning på området i stor utsträckning är samma redovisning som i Fud-program 2022. Myndigheten uppmuntrar SKB att fullfölja de planer som anges för Fud-program 2025. Detta berör bland annat modellering av sekundära rörelser vid jordskalv på flackt stupande förkastningar under det planerade kärnbränsleförvaret. Syftet är att undersöka om de resultat som presenterats för Olkiluoto (Fälth et al. 2019) även är giltiga för Forsmark. Detta är i dagsläget oklart, då Olkiluoto och Forsmark uppvisar skillnader beträffande spänningsförhållanden, huvudsaklig bergart och struktur.

Hydrogeologi och DFN-modellering

SSM bedömer att SKB:s genomförda och planerade program på området är omfattande och utgör en god grund för att öka realismen i gjorda antaganden och uppföra en optimerad slutförvarsanläggning. Konditionering baserad på observerade sprickor och grundvattenflöde under uppförandet är en viktig del vid valet av deponeringspositioner och förbättrar prediktionerna av flöden efter förslutning, men osäkerheten rörande flöden efter förslutning är fortfarande hög. SSM anser därför att SKB fortsatta arbete med att utveckla hydrauliska acceptanskriterier för deponeringshål och förbättra metodiker och koder för modellering av grundvattenflöde i sprickigt berg fortsättningsvis är ett viktigt område. Tillika av vikt gällande bedömningen i vilken utsträckning valda deponeringspositioner är lämpliga även för tiden efter förslutning.

Transport av lösta ämnen

SSM konstaterar att SKB:s planerade inriktning att i högre grad integrera modellering av grundvattenflöde och transport skapar förutsättningar för en mera detaljerad och realistisk beskrivning av såväl grundvattenkemisk utveckling som radionuklidtransport för Forsmarksplatsen. SKB:s fortsatta satsningar inom området bör fokusera på att verifiera giltigheten av befintlig information från tidigare studier och vetenskaplig litteratur med hjälp av fördjupade studier på platsspecifika material vilka innefattar både transport och retardationsparametrar. Bevakning av den vetenskapliga litteraturen behöver genomföras parallellt för att identifiera och förklara likheter och skillnader inom och mellan olika studier. En bättre tillgång till data för modellering av transport och retardation skulle medföra förutsättningar att karaktärisera och modellera effekter av rumslig (pga. av geologi och grundvattenkemi) och tidsmässiga (pga. grundvattenkemi) variationer baserad på platsspecifika data snarare än mera godtyckligt förutsatta parameterfördelningar. SSM har tidigare noterat att de särskilda sorptionsexperiment som genomfördes inte fick fram K_d -värden för redoxkänsliga nuklider utan dessa fick baseras på litteraturdata. Även betydelsen av denna brist har mindre betydelse, bör förmågan att genomföra mätningar under kontrollerade redoxbetingelser verifieras och databasen uppdateras. SKB bör även planera för genomförande av platsspecifika spårämnesförsök i en demonstrationstunnel på förvarsdjup vid Forsmarksförvaret baserat på de omfattande erfarenheter från motsvarande försök vid Äspölaboratoriet.

Hydrogeokemi

SSM bedömer att SKB:s forskning kring processer involverade i sulfidbildning i och omkring slutförvarsmiljön är välmotiverade, och att de har förutsättningar att utgöra en grund för en mera välmotiverad och förbättrad hantering av omfattning av sulfidkorrosion i miljonårstidsskalan. De behöver därför fortsätta även under Fud-perioden. Den mest betydelsefulla frågan avser sannolikt förutsättningar för att bildning av sulfider i anslutning vissa deponeringshålspositioner i berget kan förbli på högre nivåer under lång tid, vilket skulle möjliggöra betydande korrosionsangrepp på kopparkapslar. SSM anser att SKB:s hittillsvarande angreppssätt för hantering av sulfidhalt förmodligen är konservativt, men att det ändå förefaller överförenklat eftersom den grundläggande förutsättningen att sulfidhalter i berget skulle vara helt tidsoberoende och endast styras av sin specifika position skulle behöva utvärderas i högre utsträckning. En annan viktig fråga är om gasformig sulfid kan ha en stor relativ betydelse för vissa deponeringshål med lång återmättnadstid eftersom transport i gasfas kan vara många tiopotenser snabbare än motsvarande transport i vattenfasen samt att dessa hål definitionsmässigt hursomhelst har liten kontakt med det vattenförande spricknätverket i berget. SSM konstaterar att SKB delvis har hanterat denna fråga (SKB TR-20-08) men att problematiken inte kan avfärdas baserat på denna studie eftersom resultaten inte är entydiga, samt eftersom gasformig transport av sulfider inte kan uteslutas även om sulfidbildning under omättade förhållanden skulle kunna uteslutas. Tidiga korrosionsangrepp orsakade av sulfider har också en särskilt betydelsefull innebörd eftersom korrosion då sammanfaller med en period med krypdeformation av koppar och möjliga dragspänningar. Olika former av samverkan mellan korrosion och mekaniska processer är svåra att karaktärisera och ännu svårare att helt utesluta.

Beträffande den andra frågeställningen kring långsiktig utveckling av salthalt på förvaradjup kan SSM konstatera att många betydande osäkerheter kvarstår som bör vara föremål för ytterligare studier under Fud-perioden. Det har exempelvis framförts argument för att interaktioner mellan grundvatten i sprickor och matrisvatten är mycket begränsade mot bakgrund av att vittring av termodynamiskt instabila primära silikatmineral såsom biotit inte verkar drivas framåt inuti bergmatrisen förutom i en snäv zon i direkt anslutning till vattenförande sprickor (Wogelius m.fl., 2020). De begränsade vatten-mineralreaktioner som möjligen kan förekomma i en bergmatris vill också ha en tendens att blockera porutrymme längre in. Detta antyder att matrisvatten på längre avstånd än några cm från vattenförande sprickor i princip är isolerat, och därmed inte kan bidra till att motverka utspädningseffekter. Sådana argument behöver beaktas och alternativt bemötas baserat på information från relevanta och representativa bergvolymmer. Det finns dock andra effekter som verkar i motsatt riktning som SKB ännu inte beaktat fullt ut såsom tillförsel av upplösta katjoner i lösa avlagringar och sprickor ovan slutförvaret som en följd av vittringsreaktioner. Även hydrogeologiska faktorer såsom i vilken grad inträngning av nederbörd vatten kanaliseras och sprids i berget under olika externa förutsättningar behöver beaktas med hjälp av väl underbyggda grundvattenflödesmodeller för att kunna avgöra hur stor utspädning som kan förväntas dels generellt, dels i anslutning till särskilt utsatta deponeringshålspositioner.

5.9 Ytekosystem

SKB:s redovisning

SKB beskriver i avsnitt 4.9 syftet med sitt forskningsprogram för ytekosystem, vilket är att skapa underlag för beräkningar av potentiell exponering av människa och miljö i analysen av de olika förvarens säkerhet efter förslutning. Forskningsprogrammet bidrar även som underlag till miljökonsekvensbeskrivningar, miljöövervakning, och säkerhetsanalys av anläggningar i drift. SKB framhåller att programmet bidrar till att



långsiktigt bevara kompetens inom området och att forskningsfrågor till stor del överlappar varandra för de olika förvaren.

Vidare beskriver SKB kortfattat de enligt SKB viktigaste frågorna under Fud-perioden och SKB:s planer för delområdena *Upptagsvägar och upptagsmekanismer för radionuklider hos olika organismer, Temporal och spatial heterogenitet i landskapet, Transport och ackumulationsprocesser, och Radiologiska, biologiska och kemiska egenskaper hos betydelsefulla ämnen.*

Remissinstansernas synpunkter

Med hänvisning till avsnitt 4.9 noterar Kungl. Vetenskapsakademien (KVA) att analys av upptag i grödor samt lokala förekomster i växt- och jordprover från Forsmarkområdet planeras för Fud-perioden, liksom kompletterande platsundersökningar och fortsatta analyser av biologiskt upptag samt biosorptionsprocesser. KVA noterar vidare att studier av bioupptag av radionuklider från de naturliga sönderfallskedjorna även planeras. KVA anser att det är av vikt att programmen fortsätter, och konstaterar att resultaten kan utnyttjas i andra sammanhang.

Med hänvisning till avsnitt 4.9 anser Stockholms universitet att det allmänt finns en genomtänkt strategi bakom vad som har prioriterats de senaste åren och vad som kommer att prioriteras framöver, till ex att fokusera på:

- evolutionen av landskapet under långa perioder (på grund av landhöjning, klimatförändring, istider m m) och hur det påverkar både vilka sorts ekosystem som kommer att finnas men också hur ändrade fysiska och biogeokemiska egenskaper kan påverka hur radionuklider transporteras och ackumuleras i olika delar av ekosystemen
- en bättre förståelse av naturlig variation (i tid och rum, samt på olika skalor)
- radionuklider som kan ge de högsta doserna till organismer och människor
- 'pathways' som skulle leda till de högsta utsläppen till ytekosystem samt doser till organismer och människor.

Detta görs både genom omfattande platsspecifik övervakning men också riktade fältmätningar i relevanta miljöer eller med experiment. Det bidrar enligt universitetet till en bättre vetenskaplig förståelse men också förbättrade parametrering och minskad osäkerhet i modellerna som är centrala för SKB:s verksamhet.

Universitetet anser vidare att det är det väldigt bra att SKB fortsätter aktivt samarbeta eller delta i internationella sammanhang (Bioprot, Posiva, IAEA, OECD/NEA osv) samt med forskare både i Sverige och utomlands. Universitetet menar att i Sverige har SKB på det sättet också bidragit mycket till att upprätthålla kompetens inom relevanta ämnen.

SSM:s bedömning

Liksom i SSM:s yttrande över Fud-program 2022 anser SSM att det är positivt att SKB:s forskningsprogram för ytekosystem fortsätter vara baserat på en helhetssyn och syftar till att förbättra underlag för beräkningar av potentiell stråldos till människa och miljö i analyser av säkerhet efter förslutning för de olika förvaren, men också ger underlag för miljöövervakning, miljökonsekvensbeskrivningar och säkerhetsanalysen för anläggningar i drift. SSM anser att SKB tydligare hade kunnat lyfta fram hur den forskning de finansierar kopplar till återstående delar i avfallssystemet så som SFL genom att nämna det oftare.

SSM konstaterar att SKB:s kortfattade redovisning i Fud-program 2025 är mer informativ och tydligare än i föregående Fud-program, vilket är positivt, men att kompletterande redovisning, som SKB även hänvisar till, så som PSAR SFK och PSAR SFR behövs för



att SSM ska kunna tillgodogöra sig en helhetsbild av SKB:s forskningsprogram och planer.

SSM ser, liksom Stockholms universitet, positivt på att SKB deltagit i internationellt arbete kring frågor som berör ytekosystem inom exempelvis IAEA och Bioprota och SSM, liksom Stockholms universitet, anser att det är viktigt att SKB planerar att fortsätta följa internationell utveckling inom området i forum som IAEA, ICRP och Bioprota.

Upptagsvägar och upptagsmekanismer för radionuklider hos olika organismer

SSM ser, liksom KVA, positivt på att SKB fortsätter sin forskning kring upptagsvägar, upptagsmekanismer, och koncentrationsfaktorer (CR) för radionuklider då dessa kan ha stor betydelse i dosberäkningar. SSM bedömer det som ändamålsenligt att SKB fokuserat sin forskning kring ekosystem som myrar, rinnande vatten och jordbruksmark och ämnen som exempelvis kol-14, metan, och klor där osäkerheter och utvecklingsmöjligheter är som störst eller data saknas enligt tidigare säkerhetsanalyser. Vidare anser SSM att det är bra att SKB planerar koordinerade provtagningar av växt- och jordprover för att förbättra det platsspecifika dataunderlaget. Att SKB identifierat ett behov av detta i miljöer som resulterat i de högst uppskattade doserna så som våtmarker med utströmning av djupt grundvatten och jordbruksmark ser SSM som lämpligt liksom att SKB utforskar osäkerheter kring extrapoleringsmetoder där data saknas i både terrestra och akvatiska miljöer.

Temporal och spatial heterogenitet i landskapet

SSM ser positivt på att SKB fortsatt sin forskning kring heterogenitet i landskapet eftersom det kan ha stor betydelse för beräknad dos vid utsläpp då ett ekosystems egenskaper kan påverka dosen flera storleksordningar. SSM bedömer att det är positivt att SKB studerat hur avrinningsområdets storlek påverkar dess egenskaper och förekomst av våtmarker, och hur GIS-analyser kan förutsäga utveckling av framtida våtmarker. SSM anser att det är bra att SKB fortsatt gör simuleringar med beräkningsverktyget Comsol för att studera variation i topografi och jordlagertjocklek och fortsatt samlat in ny platsinformation i viktiga utströmningsområden. Att SKB även fortsätter att studera framtida analoger vad gäller klimattillstånd och landskapets utveckling ser SSM som ändamålsenligt. Vidare bedömer SSM att det är bra att SKB planerar att komplettera platsundersökningar i utströmningsområden med studier av regolit och hur utvecklingen av vikar, sjöar och myrar samt förekomst av framtida våtmarker kan beskrivas bättre. SSM anser att det är viktigt att SKB fortsätter att utforska den temporala och rumsliga osäkerheten i den framtida utvecklingen av landskapet. SSM ser positivt på att SKB planerar att se över metodiken och utvärdera nya metoder för identifiering och avgränsning av biosfärsobjekt.

Transport- och ackumulationsprocesser

SSM bedömer att det är positivt att SKB fortsatt studerar parameterosäkerheter för transport och ackumulation då de är viktiga i uppskattning av exponering. SKB:s fokus på parameterosäkerheter exempelvis inom hydrologi och sorption anser SSM är ändamålsenlig och SSM bedömer att det är positivt att SKB genomför utveckling, validering och jämförande studier med alternativa modeller till sina hydrologiska modeller samt transport- och exponeringsmodeller. SSM anser även att det är bra att SKB tagit nya prover för att förbättra platsspecifika beräkningar av K_d och metodik för hantering av litteraturdata då K_d är en av de parametrar med stor variation och som mest påverkar osäkerheten i beräknade doser. Vidare bedömer SSM att det är bra att SKB planerar att modellera fastläggningsprocesser i rinnande vatten och tillämpa förenklade modeller samt studera osäkerheters påverkan på radionuklidtransport i exempelvis grundvatten, regolit och ytvatten.

Radiologiska, biologiska och kemiska egenskaper hos betydelsefulla ämnen

SSM bedömer det som positivt att SKB utökat sin databas av CR- och K_d -värden då dessa kan ha stor betydelse i dosberäkningar. SSM anser att det är bra att SKB studerar samband och osäkerheter mellan olika biogeokemiska miljöer och att SKB studerat detta även i Forsmark och Krycklan för molybden och cesium. SSM anser att det är ändamålsenligt att SKB planerar att fortsätta att förbättra parametriseringen i konsekvensanalysberäkningar och studera hur detta påverkas av den platsspecifika kemiska miljön och olika lagningsmetoder i SKB:s analyser. SSM bedömer även SKB:s studier av urlakning och anrikning av olika ämnen så som exempelvis urankedjan, metan och klor och dess fördelning i landskapet som ändamålsenlig för att förbättra förståelsen och modelleringen av dessa i ekosystem. SSM ser positivt på SKB:s planer att framöver beskriva hur den markkemiska miljön kommer att förändras över tid för att kunna ge en tydligare bild av olika ämnens rörlighet och fastläggning i ett framtida landskap i Forsmark.

5.10 Klimat och klimatrelaterade processer

SKB:s redovisning

I avsnitt 4.10 redovisas SKB:s uppnådda resultat inom området. En stor del av redovisningen baseras på olika sammanställningar av kunskapsläget:

- En bred genomgång av kunskapsläget rörande klimat och klimatrelaterade processer (Liakka och Näslund, 2025).
- Resultat från de projekt som delvis eller helt genomfördes i västra Grönland mellan 2008 och 2020 (Claesson m.fl., 2025).
- En sammanställning av 15 års forskningssamarbete i Sokli- och det angränsande Loitsana-bäckenet i norra Finland, (Helmens m fl., 2024).

Därutöver presenteras avslutad forskning med huvudfokus på denudation och glaciala processer.

SKB bedömer att de har tillräcklig kunskap om de osäkerheter i klimat och klimatrelaterade processer som är relevanta för säkerheten efter förslutning av SFK och SFR. Inga nya forskningsfrågor inom området är planerade att utredas under Fud-perioden. Klimatfrågorna kommer dock att bevakas aktivt, och det vetenskapliga underlaget kommer att uppdateras vid behov för framtida säkerhetsanalyser.

Remissinstansernas synpunkter

Länsstyrelsen i Kalmar län konstaterar att enligt avsnitt 4.10 planeras inga tillkommande klimat- och klimatrelaterade processer utredas under Fud-perioden då SKB i dagsläget har tillräcklig kunskap som är av relevans för säkerhet efter förslutning för SFK och SFR. Platsen för SFL är ännu inte beslutad. SKB planerar att driva en stegvis lokaliseringsprocess. Länsstyrelsen anser att det inom ramen för lokaliseringsprocessen skulle kunna finnas behov att utreda klimat- och klimatrelaterade processer om en annan lokalisering är aktuell än de som tidigare utretts. Det framgår inte av Fud-programmet om SKB avser att göra detta inom nästa Fud-period då man kommit längre fram i arbetet.

SGI noterar med hänvisning till avsnitt 4.10 att klimatrelaterade processer beskrivs utifrån säkerhet efter förslutning. SGI undrar om hur dessa processer kan påverka anläggningens stabilitet under uppförande och drift har analyserats, och om eventuella åtgärder har planerats för.

SGU konstaterar att i avsnitt 4.10 framförs att SKB har tillräcklig kunskap om osäkerheter i klimat och klimatrelaterade processer och att de klimatfrågor som är viktiga för säkerhet efter förslutning kommer att bevakas. SGU noterar att inget ytterligare Fud-arbete kommer att bedrivas inom detta område. SGU bedömer att det befintliga underlaget



kommer att uppdateras och att SKB behöver ha ett mer aktivt program för klimat än det som återges i Fud-program 2025.

SSM:s bedömning

I januari 2025 ansökte SKB om godkännande av PSAR SFK (SSM2025-905). Huvuddelen av avsnitt 4.10 utgörs av publicerat underlag till PSAR SFK. Delar av detta underlag ingick även vid myndighetens granskning av PSAR SFR, där SSM bedömde att SKB:s uppdaterade klimatredovisning motsvarade SSM:s förväntan och en god grund för valet av framtida klimatutvecklingar (SSM2023-2818-61). Något behov för vidare forskningsinsatser för SFR ansåg SSM inte föreligga, och SKB:s ansatts att kontinuerligt uppdatera kunskapsläget inom området klimat och klimatrelaterade processer på kort och lång sikt bedömdes vara tillräcklig. Denna bedömning står SSM fast vid. Det finns dock vissa skillnader mellan SFR och SFK rörande vilka klimat och klimatrelaterade processer som är av relevans för säkerheten efter förslutning. För att inte föregripa pågående granskning av PSAR SFK avstår därför SSM från att kommentera SKB uppgivna planer för området "Klimat och klimatrelaterade processer".

5.11 Avslutande av fältförsök i Äspölaboratoriet

SKB:s redovisning

I avsnitt 4.11 redovisar SKB:s de långtids och korttidsförsök som avslutats under den gångna Fud-perioden inför avvecklingen av Äspölaboratoriet. Laboratoriet uppfördes mellan 1990 och 1995 på ön Äspö, nära Oskarshamns kärnkraftverk. Anläggningen består av en ramp ner till ca 460 meters djup och en huvudtunnel, utifrån vilka experiment och demonstrationer har genomförts i nischer och korta tunnlar. Laboratoriet har varit avgörande för att utveckla och verifiera metoder för platsundersökningar samt för byggnation och drift av ett framtida slutförvar. Initialt fokuserade SKB på att undersöka bergets egenskaper och hydrokemiska processer, vars resultat lade grunden för bergets säkerhetsfunktion. Efter 1995 inleddes studier av den tekniska barriären. Fullskaliga tester av i stort sett alla delar i KBS-3-systemet har genomförts och underbyggt SKB:s ansökningar. SKB avslutade 2025 sin verksamhet i den underjordiska delen och avser att avveckla berglaboratoriet. Vissa anläggningar på markytan (som laboratorier och kontor) kommer dock att användas vidare under Fud-perioden.

SKB anger de sista långtidsförsöken vid Äspölaboratoriet som har avslutats under den gångna Fud-perioden:

- Prototypförvaret, ett fullskaligt experiment på 450 meters djup, utformat som det planerade slutförvaret med kapslar och buffert, inklusive värmare. Syftet var att studera kopplade processer i stor skala. Resultaten ska validera modeller och bekräfta att systemet fungerar som förväntat.
- Minican, miniatyrkapslar i koppar på 450 meters djup installerades 2007 för att studera korrosion. Kapslarna är omgivna av låg eller högkompakterad bentonitlera vilket ska simulera lerans funktions för kapseln.
- Long-term test of buffer materials, studerade långsiktiga mineralogiska förändringar i bentonit och kopparkorrosion vid förvarsliknande och ogynnsamma temperaturer (upp till 140 °C).
- Alternative buffer materials, studerade långsiktig stabilitet hos olika bentonitleror vid hög temperatur (ca 130 °C). Provtagning och analys av materialen planeras.
- Concrete and Clay, studerade materialinteraktioner i slutförvar för låg- och medelaktivt avfall under realistiska förhållanden.
- Långtidsutveckling av återfyllningsmaterial för SFR, undersökt hur makadamåterfyllning i SFR-liknande miljö påverkas av mikrobiell tillväxt.

SSM:s bedömning

SSM bedömer att redovisningen är ändamålsenlig och bidrar till den öppenhet och insyn i SKB:s planer och program som lagstiftningen syftar till.

5.12 Övervakning och undersökningar under uppförande och drift**SKB:s redovisning**

I avsnitt 4.12 redovisas SKB:s övervaknings- och undersökningsprogram inför och under anläggningens uppförande och drift, vilket är centralt för att bekräfta slutförvarets långsiktiga säkerhet. Programmen syftar till att förbättra kunskapen om berggrundens egenskaper inför och efter uppförandet, hur berggrunden påverkas av berguttaget, en uppdaterad platsbeskrivande modell och grund för undermarkdelens platsanpassning. Den nuvarande tekniken och metodiken för övervakning och undersökningar ska utvärderas mot de specifika förhållandena i varje slutförvarsanläggning. De kommer därefter att anpassas och vid behov revideras innan anläggningarna tas i drift.

Pågående platsövervakning för SFK omfattar: ekologi och naturvärden; meteorologi och hydrologi; hydrokemi; geologi. Kommande övervakning under uppförandet och drift av SFK fokuserar på dels säkerhet efter förslutning dels uppförandets påverkan på omgivningen. Syftet är att verifiera antaganden i platsmodellen och säkerhetsanalysen, öka förståelsen för slutförvarets utveckling och möjliggöra identifieringen av tidigare okända egenskaper och processer som kan påverka säkerheten. SKB beskriver i sin ansökan för PSAR SFK de bergtekniska åtgärderna och detaljundersökningsprogram. Dessa syftar till att verifiera att konstruktionskraven för säkerhet efter förslutning uppfylls under uppförande och drift. Det omfattar en plan för fortsatt forskning och utveckling samt ett program för övervakning.

SKB överväger att installera långtidsförsök nere i berget i SFK för att få information om barriärernas utveckling utan att äventyra säkerheten. En utredning kommer att genomföras under uppförandet av SFK. Den ska fokusera på syftet med försöken, vilka processer som kan övervakas hos de tekniska barriärerna, samt tidpunkt och plats för installationen. Kunskap från fältförsök, bland annat vid Äspölaboratoriet, kommer att användas i utredningen. SKB följer även internationell utveckling (t.ex. Eurad projektet MODATS) för att bl.a förbättra metodik och datahantering kring övervakning av slutförvarets tekniska barriärer. Under Fud-perioden kommer SKB kontinuerligt att följa utvecklingen inom övervakning för att anpassa sin metodik och teknik samt säkerställa sin kompetens.

Remissinstansernas synpunkter

MKG anser att det senast i samband med förberedelser för provdrift av kärnbränsleförvaret ska påbörjas ett omfattande och långsiktigt försöksprogram för att undersöka hur koppar och lera fungerar i Forsmarkberget. MKG noterar att i Fud-program 2025 anger kärnavfallsbolaget SKB i avsnitt 4.12.2 att bolaget överväger att i kärnbränsleförvaret installera långtidsförsök nere i berget. MKG menar att SSM bör tillse att detta påbörjas så fort utgrävningen av kärnbränsleförvaret når förvarsdjup.

SSM:s bedömning

Området ”Övervakning och undersökningar under uppförande och drift” är en viktig del i SSM pågående granskning av PSAR SFK. Det underlag som redovisas i Fud-programmet syftar till att ge en övergripande bild av området, och utelämnar därför mycket av det som redovisas i SKB:s ansökan om godkännande av PSAR SFK. För att inte föregripa pågående granskning av PSAR SFK avstår därför SSM från att kommentera SKB:s planer på området ”Övervakning och undersökningar under uppförande och drift”.

5.13 Avveckling

SKB:s redovisning

I avsnitt 4.13 beskrivs att utvecklingsarbetet rörande avvecklingen av kärntekniska anläggningar bedrivs gemensamt av SKB och kärnkraftsföretagen. Merparten av det utvecklingsarbete som sker inom SKB är inte enbart kopplat till avveckling, utan till avfallshantering generellt. Utvecklingsområdena är till stor del gemensamma för reaktorinnehavarna och relaterar mest till att få fastställda förutsättningar för avfallshantering och avbördningsvägar. Arbetet under Fud-perioden handlar bland annat om att:

- ta fram och utveckla acceptanskriterier för kommande slutförvar,
- få god kännedom om det avfall som uppstår, avseende innehåll av radionuklider och material,
- finna möjliga sätt att minska avfallsvolymer.

Förutom detta omnämns även följande som framöver berörs av utvecklingsarbete:

- Arbetsätt kopplat till ledning och styrning av anläggningsavveckling med fokus på effektivitet med bibehållen säker arbetsmiljö.
- Metoder som innefattar artificiell intelligens (AI)-verktyg samt automation av avancerade rivningsmoment med målsättning att minska dosbelastning till personal.
- Material- och avfallshantering med fokus på friklassning och volyminimering kopplat till slutförvarssäkerhet och systemutnyttjande.

SSM:s bedömning

SSM konstaterar att redovisningen i avsnitt 4.13 omnämner ett antal aspekter relaterat till vad som kan benämnas utredning eller utveckling. SSM konstaterar vidare att SKB anger att utvecklingsarbetet i övrigt inte enbart är kopplat till avvecklingen utan snarare till avfallshanteringen generellt. Därmed blir även flera andra avsnitt i kapitel 4 relevanta för avvecklingen och resultatet från den forskning eller utveckling som beskrivs i andra delar av kapitel 4 kan komma att påverka avvecklingen, exempelvis om, och hur, avfallet kan omhändertas och deponeras. Mot bakgrund av detta bedömer SSM att redovisningen av forskning och utveckling relaterat till avvecklingen är tillräcklig.

5.14 Bevarande av information och kunskap över generationer

SKB:s redovisning

Avsnitt 4.14 beskriver SKB:s strategi för att bevara och överföra information och kunskap om slutförvaren till framtida generationer, baserat på principerna om indirekt och direkt informationsöverföring. Regeringsbeslutet avseende KBS-3-systemet 2022 och mark- och miljödomstolens miljödom 2024 understryker vikten av detta arbete som en del av den stegvisa tillståndsprövningsprocessen. Vidare betonade regeringsbeslutet att frågan om kunskaps- och informationsöverföring är en viktig del i den fortsatta processen och att den ingår i Fud-programmet. Enligt villkor i miljödomen ska SKB kontinuerligt bedriva en strukturerad omvärldsbevakning rörande slutförvaring, informationsbevarande och övervakning efter förslutning. SKB är ålagt att minst vart femte år informera tillsynsmyndigheterna och Östhammars kommun om resultatet av denna bevakning och vilka förberedelser som vidtagits. SKB planerar att fortsätta dessa insatser och följa utvecklingen i samråd med berörda myndigheter.

I det löpande arbetet förvaltar och bevarar SKB information enligt krav från SSM vilket även omfattar arkivering utan ett tydligt slutdatum. SKB har etablerade processer för att hantera det löpande bevarandet av data och dokument. Arbetet styrs genom SKB:s ledningssystem, vilket ska kompletteras med arbetsätt för sortering och märkning av

information baserat på dess bevarandestatus före eller efter förslutning. Under Fud-perioden avser SKB vidareutveckla rutinerna för hantering av dokumentation rörande vägval av teknik, strategier och arbetssätt.

År 2023 fastställdes en övergripande plan för SKB:s kunskaps- och informationsbevarande, vilken detaljerar hur verksamheten under tillstånds- och uppförandeskedena ska bedrivas gällande arbetsfokus, drivande roll och genomförande av omvärldsbevakning. En viktig del i SKB:s arbetet på området är deltagande i olika internationella forum, som OECD/NEA, och ett nyligen avslutat forskningsprojekt som delvis finansierats av SKB (Keating och Storm 2025a, b). SKB kommer att fortsätta sitt engagemang i NEA-arbetsgruppen EGAAP (Expert Group on Archiving och Awareness Preservation). EGAAP syftar till att underlätta utbyte av erfarenheter och lärdomar, förbättra processerna för informationsbevarandet, samt att stärka det breda internationella samarbetet kring långsiktigt bevarande av data och information och kunskap. Dessutom deltar SKB sedan 2022 i NEA:s arbetsgrupp för Knowledge Management, vilket även är en viktig del i det pågående Eurad-samarbetet.

Remissinstansernas synpunkter

Linnéuniversitetet välkomnar det fokus som ges på informationsbevarande i avsnitt 4.14. Pågående forskning inom detta område är avgörande för att säkerställa kontinuitet i kunskap, främja bred samhällsacceptans och möjliggöra långsiktiga internationella samarbeten. Enligt gällande regelverk ska SKB:s Fud-program spegla den allsidiga forsknings- och utvecklingsverksamhet som krävs för att säkert hantera och slutförvara kärnavfall. Mot denna bakgrund anser universitetet att det som redovisas i kapitel 4.14 är otillräckligt. Kapitlet beskriver enligt universitetet främst SKB:s förvaltning och bevarande av egna dokument, data och information samt deltagande i nationella och internationella forum, snarare än den forskning och utveckling som behövs för att skapa ny kunskap om hur informationsbevarande över generationsgränser ska genomföras. Universitetet anser att texten i Fud-programmet bör revideras så att det tydligt framgår vilken typ av forsknings- och utvecklingsverksamheter SKB planerar, hur dessa kopplas till förvaltningen av dokument och data, samt hur SKB avser att realisera detta.

Östhammars kommun påminner om att i kommunens yttrande över Fud-program 2022 (KS §252, 2022-11-29) framfördes att det hade varit önskvärt med en tydligare redovisad planering av hur SKB tänkt arbeta med kunskaps- och informationsbevarande framöver. Kommunen noterar att i Fud-program 2025 ges en utförligare beskrivning av SKB:s arbete med bevarande av information och kunskap; generellt arbete med frågorna beskrivs liksom några specifika aktiviteter som Key Information File (KIF) och Set of Essential Records (SER) (avsnitt 4.1.4, s. 91-93).

Kommunen noterar vidare att det även nämns att en övergripande plan för SKB:s arbete med kunskaps- och informationsbevarande fastställdes 2023 (s. 92) men att det av rapporten inte framgår vad denna plan innehåller. Kommunen har förståelse för att SKB har behov av interna dokument men anser att en ökad öppenhet och insyn i det planerade arbetet skapar förutsättningar för inspel från andra parter som kan förbättra arbetet ytterligare.

Östhammars kommun är positiv till att arbetet med kunskaps- och informationsbevarande beskrivs tydligare i Fud-program 2025 än i tidigare Fud-rapporter. Kommunen uppfattar att SKB arbetar aktivt med frågan men önskar en större öppenhet och insyn i den planering och det arbete som görs på området.

SSM:s bedömning

Frågan om bevarande av information och kunskap över generationer är generisk oavsett slutförvar och gäller därför både SFR och SFK. SSM ser därför positivt på att SKB har



tagit fram en övergripande plan för kunskaps- och informationsbevarande, vilket ligger i linje med SSM:s granskning av SKB:s preliminära säkerhetsredovisning (PSAR) för utbyggnaden av SFR (SSM2023-2818-61). Där bedömde SSM att en konkret handlingsplan kan, utöver vad som beskrivs i miljötillståndets villkor, SKB:s ambitionsnivå konkretiseras med mål, tidsangivelser och planerade insatser som ligger till grund för en övergripande plan för hur information ska bevaras efter slutlig förslutning. Handlingsplanen kan exempelvis även omfatta en redovisning av informationsbevarandets hemvist i organisationen, där ett utpekat ansvar för frågan anges. Detta skulle bidra till att skapa en organisatorisk styrning som grund för en hållbar strategi beträffande informationsbevarandet efter slutlig förslutning.

Vidare bedömer SSM att SKB fortsatta arbete på området i kommande Fud-program kan illustreras med en aktivitets- och milstolpe plan som kopplar till de olika stegen fram till slutgiltig förslutning då staten tar över ansvaret för den slutgiltigt förslutna anläggningen. En sådan plan skulle synliggöra ansvarsfördelningen över tid, planerade insatser och de olika hållpunkterna fram till överlämning av ansvaret till staten.



Referenser

Briggs S, Lilja C, King F, 2024. Probabilistic model for the pitting of copper canisters during the early aerobic, unsaturated transient period of the repository evolution. SKB TR-24-03, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Bojinov M, Ikäläinen T, Zaiqing Q, Saario T, 2023. Effect of sulfide on de-passivation and re-passivation of copper in borate buffer solution. *Corrosion Science* 218, 111201. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2023.111201>

Chen J, Pan X, Martino T, Lilja C, Behazin M, Binns J, Keech P G, Noël J J, Shoesmith D W, 2023. The effects of chloride and sulphate on the growth of sulphide films on copper in anoxic sulphide solutions. *Materials and Corrosion* 74, 1665–1676. <https://doi.org/10.1002/maco.202313766>

Claesson-Liljedahl L, Rydberg J, Liakka J, 2025. Insights from the Greenland projects and their applicability to the Forsmark site. SKB R-25-09, Svensk Kärnbränslehantering AB. Liakka J, Näslund J-O, 2025. Climate and climate-related issues for Forsmark. State of knowledge report 2025. SKB TR-25-07, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Davy P, Le Goc R, Darcel C, Selroos J-O, 2023. Scaling of fractured rock flow. Proposition of indicators for selection of DFN based flow models, *Comptes Rendus Geoscience* 355, 667-690. <https://doi.org/10.5802/crgeos.174>

Doolaeghe D, Darcel C, Selroos J-O, Mas Ivars D, Davy P, 2023. Controls on fracture openness and reactivation in Forsmark, Sweden. *Scientific Reports, Nature* 13, 6686. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-33619-9>.

Fälth B, Lönnqvist M, Hökmark H, 2019. Co-seismic secondary fracture displacements under different stress conditions. Posiva Working Report 2019-10, Posiva Oy, Finland.

Hartley L, Libby S, Bym T, Carty J, Cottrell M, Mosley K, 2024. Baseline Forsmark – A discrete fracture network (DFN) model applying grown fractures and hydromechanical (HM) coupling. SKB R-23-01, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Hedin A, Lilja C, King F, Shoesmith D W, Keech P G, 2023. Comment on “Penetration of corrosive species into copper exposed to simulated O₂-free groundwater by time-of-flight secondary ion mass spectrometry (ToF-SIMS)”. *Corrosion Science* 217, 111136. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2023.111136>

Helmens K F, Engels S, Salonen J S, Väiliranta M, 2024. The late Quaternary of Fennoscandia revisited. 15 years of collaborative research at Sokli in northern Finland - a complete overview. SKB TR-23-28, Svensk Kärnbränslehantering AB

Henshaw J, Evins L Z, 2023. Radiolysis calculations of gases in a KBS-3 canister. SKB TR-22-15, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Hesketh J, Johansson A J, 2024. Evaluation of microstructural defects in wedge-open loaded stress corrosion cracking specimens from the MiniCan field test. SKB TR-24-06, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Hornum M T, 2023. Groundwater springs in continuous permafrost. Department of Geosciences and Natural Resource Management, Faculty of Science, University of Copenhagen, 128, Research output, Book/Report › Ph.D. thesis.



- Ikäläinen T, Rantala J, Sahiluoma P, Saario T, Yagodzinskiy Y, 2023b. Hydrogen analyses of FSW Cu-OFP tested under creep conditions in sulphide environment. VTT Research report VTT-R00924-22. VTT, Finland.
- Jacobsson L, Godio M, 2023. Measuring the hydraulic transmissivity of a rock joint under varying normal load. Eurock 2022 - Rock and Fracture Mechanics in Rock Engineering and Mining, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 1124, 012050. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1124/1/012050>
- Jonsson M, 2023b. Exploring the impact of groundwater constituents and irradiation conditions on radiation-induced corrosion of copper. Radiation Physics and Chemistry 211, 111048. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2023.111048>
- Keating T P, Storm A, 2025a. Key Information File. Essential Information on the Spent Nuclear Fuel Repository in Forsmark, Sweden. Linköpings universitet, Sverige. <https://doi.org/10.3384/9789180758581>
- Keating T P, Storm A, 2025b. Writing the Forsmark Key Information File: Concluding Report. Tema T Rapport 52, Linköpings universitet, Sverige. <https://doi.org/10.3384/9789181181036>
- Liakka J, Näslund J-O, 2025. Climate and climate-related issues for Forsmark. State of knowledge report 2025. SKB TR-25-07, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Lousada C M, Korzhavyi P A, 2023. Pathways of hydrogen atom diffusion at fcc Cu: $\Sigma 9$ and $\Sigma 5$ grain boundaries vs single crystal. Journal of Material Science 58, 17004–17018. <https://doi.org/10.1007/s10853-023-09032-y>
- Lousada C M, Korzhavyi P A, 2025. The Correlation Factors and Mechanisms of Diffusion for P and S in the Cu Single Crystal. Applied Science 2025, 15, 3305. <http://dx.doi.org/10.3390/app15063305>
- Moya Núñez A, Taxén C, 2023. SSRT testing of copper in sulfide solutions. SKB TR-23-13, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Salehi Alaei E, Guo M, Chen J, Behazin M, Bergendal E, Lilja C, Showsmith W D, Noël J J, 2023. The transition from used fuel container corrosion under oxic conditions to corrosion in an anoxic environment. Materials and Corrosion 74, 1690. <https://doi.org/10.1002/maco.202313757>
- Shahkarami P, Ferry M, 2024. Implementation of the equivalent flow rate model in DarcyTools for estimating solute transport from a damaged canister. SKB R-23-20, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Situm A, Bahadormanesh B, Bannenberg L, Ooms F, Feltham H A, Popov G, Behazin M, Goncharova L V, Noël J J, 2023. In situ measurement of hydrogen absorption into copper-coated titanium using neutron reflectometry and electrochemical impedance spectroscopy. Journal of the Electrochemical Society 170, 41503. <https://doi.org/10.1149/MA2023-02121103mtgabs>
- SKB, 2008. Site description of Forsmark at completion of the site investigation phase. SDM-Site Forsmark. Updated 2013-08. SKB TR-08-05, Svensk Kärnbränslehantering AB.



SKB, 2013. Site description of the SFR area at Forsmark at completion of the site investigation phase. SDM-PSU Forsmark. SKB TR-11-04, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2020. Post-closure safety for the final repository for spent nuclear fuel at Forsmark. Main report, PSAR version. Revised December 2025. SKB TR-21-01, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Hagström, J, 2023. Microstructure, crystallography and CSL grain boundaries in copper canisters for nuclear waste disposal. SKB TR-23-12, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SSM2018-5179-9. Strålsäkerhetsmyndighetens rapport - granskning och utvärdering av Fud-program 2019. Strålsäkerhetsmyndighetens diarium.

SSM2019-3222-4. SSM:s granskning av SKB:s komplettering till regeringen om kapselintegritet. Strålsäkerhetsmyndighetens diarium.

SSM2019-7934. Svällande avfall i Slutförvaret för kortlivat radioaktivt avfall (SFR). Strålsäkerhetsmyndighetens diarium.

SSM2020-3814. Sammansättning och struktur hos material i SFR1. Strålsäkerhetsmyndighetens diarium.

SSM2023-2818-61. Granskning av preliminär säkerhetsredovisning (PSAR) för utbyggnaden av SFR. Strålsäkerhetsmyndighetens diarium.

SSM2024-1604. Avstämningsmöten med SKB inför inlämning av Fud-program 2025. Strålsäkerhetsmyndighetens diarium.

SSM2025-905. Ansökan om godkännande av PSAR för Kärnbränsleförvaret enligt villkor 3 i tillståndet enligt kärntekniklagen. Strålsäkerhetsmyndighetens diarium.

Svensson, I; Kalinowski, B Turner, S; Dopson, M, 2020. Activity of sulphate reducing bacteria in bentonite as a function of water availability. SKB TR-20-08, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Trincherio P, Zou L, de La Iglesia M, Iraola A, Bruines P, Deissmann G, 2024. Experimental and numerical analysis of flow through a natural rough fracture subject to normal loading, Scientific Reports 14, 5587. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-55751-w>

Wogelius, R., Milodowski, A., Field, L., Metcalfe, R., Lowe, T., van Veelen, A., Carpenter, G., Norris, S., and Yardley, B., 2020, Mineral reaction kinetics constrain the length scale of rock matrix diffusion. Nature Scientific Reports, 10:8142.

Yue X, Malmberg P, Isotahdon E, Ratia.Hanby V, Huttunen-Saarivirta E, Leygraf C, Pan J, 2023. Penetration of corrosive species into copper exposed to simulated O₂-free groundwater by time-of-flight secondary ion mass spectrometry (ToF-SIMS). Corrosion Science 210, 110833. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2022.110833>



Bilaga – förkortningar

Clab	Centralt mellanlager för använt kärnbränsle.
Clink	Central anläggning för mellanlagring och inkapsling av använt kärnbränsle.
F-PSAR	Förberedande preliminär säkerhetsredovisning.
KBS-3-metoden	Metod för slutförvaring av det använda kärnbränslet som bygger på tre skyddsbarriärer: kopparkapslar, bentonitlera och det svenska urberget. KBS-3- metoden har fått sitt namn då den bygger på den tredje rapporten i projektet KärnbränsleSäkerhet.
KBS-3-systemet	De kärntekniska anläggningar med mera som behövs för att genomföra slutförvaring av använt kärnbränsle enligt KBS-3-metoden. KBS-3-systemet består av en gemensam anläggning för mellanlagring och inkapsling av det använda kärnbränslet, ett transportsystem för transporter av det inkapslade bränslet och en slutförvarsanläggning.
Kärntekniklagen	Lag (1984:3) om kärnteknisk verksamhet
Miljöbalken	Miljöbalk (1998:808)
PSAR	Preliminär säkerhetsredovisning inför uppförande
SAR	Säkerhetsredovisning
SFK	Slutförvaret för använt kärnbränsle. I denna rapport används detta begrepp för både den kärntekniska anläggningen under uppförande eller i drift (i andra dokument ofta benämnt Kärnbränsleförvaret) och det förslutna slutförvaret för använt kärnbränsle.
SFL	Slutförvar för långlivat låg- och medelaktivt radioaktivt avfall
SFR	Slutförvaret för kortlivat låg- och medelaktivt radioaktivt avfall
SKB	Svensk Kärnbränslehantering AB
SSM	Strålsäkerhetsmyndigheten