

Kungl. Vetenskapsakademien har till uppgift att främja vetenskaperna och stärka deras inflytande i samhället.
The Royal Swedish Academy of Sciences has as its aim to promote the sciences and strengthen their influence in society.

Stockholm 17 december 2025

Dnr: KVA/2025/390/76

Hans Ellegren/aw
Ständig sekreterare
Telefon: 08 - 673 95 02
E-post: amanda.walldoff@kva.se

Strålsäkerhetsmyndigheten (SSM)
registrator@ssm.se

Yttrande om "Fud-program 2025. Program för forskning, utveckling och demonstration av metoder för hantering och slutförvaring av kärnavfall"
(Dnr: SSM 2025-7362)

Kungl. Vetenskapsakademien (KVA) har beretts tillfälle att yttra sig över SKB:s rapport "Fud-program 2025. Program för forskning, utveckling och demonstration av metoder för hantering och slutförvaring av kärnavfall".

Fud-program 2025 består av fem kapitel (131 sidor):

Kapitel 1. Introduktion. Förutsättningar samt återblick på Fud-program 2022.

Kapitel 2. Beskrivning av avfallssystemet

Kapitel 3. Plan för genomförandet

Kapitel 4. Fortsatt forskning och utveckling

Kapitel 5. Arbetssätt, kompetens och resurser

Myndigheten (SSM) önskar i första hand synpunkter på frågor kring

1. Planerad forsknings- och utvecklingsverksamhet
2. Redovisade forskningsresultat
3. Alternativa hanterings- och förvaringsmetoder
4. De åtgärder som avses bli vidtagna

KVA önskar framföra allmänna synpunkter och reflektioner och har några specifika kommentarer till rapporten, speciellt avseende redovisade forskningsresultat och planerad forsknings- och utvecklingsverksamhet mot ökad processförståelse och kunskap inom några områden i **Kapitel 4**, men även korta kommentarer rörande förutsättningar och omfattning i **Kapitel 1** och **3** samt kortfattat avsnitten om forskning och teknikutveckling i **Kapitel 5**.

Allmänna synpunkter

Fud-program 2025 kan ses som en fortsättning och uppföljning av Fud-program 2022 liksom tidigare Fud-program, med i huvudsak samma identifierade frågor och teman men även med fokus på aktuella förutsättningar och prioriteringar. Programrapporten är omfattande och detaljrik och åberopar totalt 271 referenser varav 234 är från perioden 2022–25. Det är uppenbart att betydande delar av den forskning som föreslogs i Fud-program 2022 liksom 2019 har initierats eller genomförts under de efterföljande 3-årsperioderna, dokumenterade genom en omfattande publicering.

Det kan påpekas att det efter 50 års forskning och utvecklingsarbete även finns en betydande kunskapsbas inom centrala och angränsande forskningsområden dokumenterad i mer än 1000 rapporter och artiklar. KBS/SKB har även delfinansierat över 100 doktorsarbeten sedan starten på 1970-talet.

Kungl. Vetenskapsakademien har till uppgift att främja vetenskaperna och stärka deras inflytande i samhället.

The Royal Swedish Academy of Sciences has as its aim to promote the sciences and strengthen their influence in society.

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

- (1) Analyser av tänkbara händelser och utvecklingar liksom risk-och konsekvensanalys ska inte baseras på antagna sannolikheter utan på detaljerad processförståelse. Det innebär förståelse av vilka konsekvenser olika antagna förutsättningar eller omständigheter leder till, och därmed en förståelse hur dessa förutsättningar kan undvikas eller elimineras (performance assessment-strategi).
- (2) Varje ny frågeställning eller problem som uppdragas måste analyseras till dess att full förståelse och kunskap har uppnåtts.
- (3) Det är naturligt att fokus successivt riktas mot aktuella och i tiden närliggande frågor, vilket betonas i introduktionen. Den förändrade nationella strategin för energiförsörjning i landet omfattar möjlig utbyggnad av ny kärnkraft vilket på sikt kan komma att förändra förutsättningarna för kärnavfallsprogrammet, och därmed att prägla kommande Fud-program. Även förbudet mot utvinning av uran i Sverige, som antas upphävas 2026, kan påverka kommande forsknings- och utvecklingsprogram med relevans för kärnavfallsfrågorna.

Detaljkommentarer

Kommentarer ges nedan till några valda kapitel.

1. Introduktion

1.1 Förutsättningar

1.1.1 Gällande regelverk och SKB:s uppdrag (sid 9)

Det kan noteras, att SKB har ansvaret för hantering och slutförvaring av kärnbränslet och kärnavfallet från de svenska kärnkraftverken på uppdrag av ägarna och ingen annan myndighet eller företag. Det aktuella Fud-program 2025 omfattar endast hanteringen och slutförvaringen av kärnavfall och kärnbränsle och ej andra frågor som kan synas vara relevanta, t.ex. frågor kring spridning av uran med dotterprodukter i samband med utvinning av uran från i första hand alunskiffer.

1.1.2 Grundläggande principer (sid 10)

Det bör noteras, att det slutliga ansvaret för ett slutligt förslutet geologiskt slutförvar och det avfall som finns i anläggningen ska vila på staten och att det för närvarande finns politiska beslut att det använda kärnbränslet inte ska upparbetas.

Det anges också att SKB tillämpar geologisk slutförvaring för använt kärnbränsle men även kortlivat radioaktivt avfall samt att förvaren ska förläggas till en långsiktigt stabil geologisk miljö och säkerheten baseras på flera barriärer. Detta kan förklara varför inga andra förvaringskoncept diskuteras i Fud-programmet.

1.2 Program för forskning, utveckling och demonstration

1.2.2 Milstolpar och utveckling sedan Fud-program 2022 (sid 16)

En viktig förutsättning för planerad Fud är att arbeten på Forsmarkområdet nu kan inledas och fortsätta.

3. Plan för genomförandet

3.1 Genomförandeplan för kärnavfallsprogrammet (sid 27)

Genomförandeplaneringen för kärnavfallsprogrammet presenteras översiktligt och illustreras i Figur 3-1 och därefter med utvecklingar och detaljer i de efterföljande avsnitten i kapitlet:

Planeringen för låg- och medelaktivt avfall (3.2), för använt kärnbränsle (3.3) för mycket lågaktivt avfall (3.4), för avveckling av kärntekniska anläggningar (3.5) och för transporter (3.6). Flera detaljer och strategival presenteras vilket innebär en trovärdig genomförandeplanering och utveckling som utgör en uppföljning av planeringen i föregående Fud-program. Planeringen följer strikt förutsättningarna och villkoren som ges under 1.1 Förutsättningar.

3.7 Handlingsalternativ vid förändrade förutsättningar (sid 41)

I detta avsnitt presenteras SKB:s och reaktorinnehavarnas planering för hur omhändertagande av kärnavfall och använt kärnbränsle baseras på de förutsättningar och antaganden som gäller för kärnkrafts- och kärnavfallsprogrammen idag. Exempel på osäkerheter ges såsom drifttider, avfallsvolymer, lokalisering och starttidpunkter m.fl. Analyserna av konsekvenser och åtgärder är genomtänkta och välmotiverade men summariskt formulerade.

Kungl. Vetenskapsakademien har till uppgift att främja vetenskaperna och stärka deras inflytande i samhället.

The Royal Swedish Academy of Sciences has as its aim to promote the sciences and strengthen their influence in society.

Handlingsalternativen baseras dock helt på nuvarande uppdrag och politiska beslut (jfr avsnitt 1.1). Det skulle vara av värde om några tänkbara handlingsalternativ analyserades och diskuterades om/när nuvarande valda strategier och uppdrag skulle ändras i framtiden. Analyser och omprövningar av nuvarande strategival till följd av nya förutsättningar, realistiska eller hypotetiska, ligger dock ej inom det nuvarande uppdraget till SKB men skulle ändå kunna diskuteras och värderas, ej som grund för alternativa strategival men som ett led i bevakningen av internationella initiativ och utvecklingar inom kärnkraft- och kärnavfallsområdet (se diskussion nedan, avsnittet **Slutsatser**).

En förändrad förutsättning som dock skulle kunna nämnas i SKB:s Fud-program är kravet på ökad säkerhet för hela den kärnkraftrelaterade verksamheten, hur kraven på säkerhet mot sabotage och krigsaktiviteter kan uppfyllas.

4. Fortsatt forskning och utveckling

4.1 Tillståndsgivna anläggningar

4.1.1 Slutförvaret för kortlivat radioaktivt avfall (sid 45)

Uppförande, Drift och förslutning

Utbyggnaden av SFR, vilken inleddes under den gångna Fud-perioden, rapporteras fortskrida planenligt.

4.1.2 Slutförvaret för använt kärnbränsle och Central anläggning för mellanlagring och inkapsling av använt kärnbränsle (sid 46) ...

Uppförande, Drift, Förslutning

Det kan noteras, att det pågår verksamheter som ännu ej kan rapporteras som *Uppnådda resultat* vilka därför kan betraktas som *Program* för den kommande 3-årsperioden, bl.a.:

- Underlag sammanställs för hantering av frågor kring strålsäkerhet, både före och efter förslutning
- Revidering av konstruktionsförutsättningar pågår eller planeras
- Fortsatta platsundersökningar (berg, grundvatten, ekosystem) i Forsmarkområdet pågår
- Teknik och metoder för olika funktioner kring transport, buffertåterfyllning, installationer, testning mm utvecklas

Återtag av deponerade kapslar

En viktig fråga som utreds är hur använt kärnbränsle som deponerats ska kunna återtas, och uppenbarligen har demonstrationer gjorts i Äspölaboratoriet hur deponerade kapslar ska kunna återtas under den kommande driften av SFK. Detta har ännu ej rapporterats som *Uppnådda resultat* men är en viktig kunskap inför framtida planerad drift.

4.2 Ej tillståndsgivna anläggningar

4.2.1 Slutförvar för långlivat avfall (sid 47)

Sammanställning av data om inventarier, kriterier, hårdkomponenter mm samt revidering av säkerhetsvärderingen från 2019 (SKB TR-19-01) rapporteras pågående vilket därmed kan rubriceras som *Program* som kan komma att redovisas som *Resultat* i kommande Fud-rapport.

4.3 Låg- och medelaktivt avfall

4.3.1 Processer kopplade till materialegenskaper (sid 48)

Uppnådda resultat: 4 st, alla med referenser; **Program:** 6 st

Fortsatta studier av radionuklidisorption på cementmineral samt på korrosionsprodukter rapporteras liksom effekter av tidigare orapporterade organiska potentiella komplexbildare.

Fortsatta sorptionsstudier på cement- och korrosionsprodukter planeras, vilket är välmotiverat, liksom effekter på tekniska barriärer till följd av svällning av vissa avfallsformer.

4.3.2 Radionuklidinventarium (sid 49)

Uppnådda resultat: 12 st, 1 med referens; **Program:** 4 st

Rapporterade aktivitetsbestämningar av svärmätbara nuklider och uppskattningar av radionuklidinventarier fortsätter under kommande period, vilket är välmotiverat.

4.3.3 Acceptanskriterier (sid 50)

Uppnådda resultat: 3 st, alla med referens; **Program:** Inga planerade

Utredningar rörande acceptanskriterier har utförts, och uppenbarligen bedöms kunskapsläget nu vara tillräckligt.

Kungl. Vetenskapsakademien har till uppgift att främja vetenskaperna och stärka deras inflytande i samhället.

The Royal Swedish Academy of Sciences has as its aim to promote the sciences and strengthen their influence in society.

4.3.4 Avfallsbehållare och avfallstransportbehållare (sid 51)

Uppnådda resultat: 3 st, inga referenser; **Program:** 2 st

Utveckling av behållare för olika ändamål rapporteras och fortsatta modifieringar och utvecklingar planeras.

4.4 Använt kärnbränsle

4.4.1 Icke-reguljära bränslen och bränsleintegritet (sid 52)

Uppnådda resultat: 6 st, 2 med referenser; **Program:** 3 st

Icke-reguljära kärnbränslen kräver speciella åtgärder vilket har granskats och status för dessa bränsletyper har systematiskt sammanställts.

Fortsatt genomgång av krav och principer förefaller vara självklar och därmed motiverad.

4.4.2 Resteffekt, bränslekaraktärisering och val av kärnbränsle förinkapsling (sid 53)

Uppnådda resultat: 5 st, 1 med referens; **Program:** 7 st

Resteffektbestämningar är beräkningar liksom bestämning av kärnbränslets innehåll av fissila ämnen. Arbete har pågått och rapporterats men ska fortsätta under kommande period, vilket är väl motiverat och behövs som underlag för inkapslingsoptimeringen.

4.4.3 Kriticitet (sid 54)

Uppnådda resultat: 2 st, 1 med referens; **Program:** 4 st

Metodutveckling pågår för kriticitetsanalys och kommer att fortsätta inom ramen för internationellt samarbete.

4.4.4 Kärnämneskontroll (sid 55)

Uppnådda resultat: 3 st, inga referenser; **Program:** 5 st

Utveckling av metoder för kärnämneskontroll bedrivs inom ramen för internationellt samarbete, vilket fortsätter under nästa period.

4.4.5 Bränsleupplösning, radionuklidspeciering och lösligheter (sid 56)

Uppnådda resultat: 14 st, 12 med referenser; **Program:** 8 st

Förståelse av processerna som leder till upplösning av kärnbränsle i vattenmiljö samt specieringen av uran och radionuklider som kan frigöras är av fundamental och stor betydelse för bedömning av säkerhet och radionuklidmobilisering. Under Uppnådda resultat (14 st) hänvisas till totalt 21 publicerade arbeten från perioden 2022–25 vilket illustrerar satsningen på och betydelsen av frågor kring temat Bränsleupplösning, radionuklidspeciering och lösligheter.

Kunskapsläget är generellt gott men det är ändå fullt motiverat att fortsätta analyserna av speciering, förekomst av löslighetsbegränsande faser, oxidationsprocesser, erfarenheter från lakningsförsök etc. som anges i Program för kommande Fud-period. Fortsatta studier av komplexbildning med förekommande ligander i grundvattenmiljön är välmotiverade, speciellt med beaktande av pH-variationer och närvaron av organiska komplexbildare (naturliga och artificiella), liksom av kolloider (bentonit, högmolekylärt organiskt material, järn och aluminium vid högt pH, silikater vid högt pH mm) för flertalet spårämnen. Studier av plutoniums rörlighet i mark/vattensystem (plutonium från nedfall) visar på en möjlig omfördelningsprocess, där plutonium(IV) kan reduceras till plutonium(III) i syrefri vattenmiljö och i närvaro av reducerande organiska syror (humus), för att sedan bilda humuskomplex som är mobila och i nästa led av transportkedjan oxideras till sannolikt plutonium(V) vid kontakten med syresatt vattenmiljö. Alternativa (möjliga framtida) uranföreningar motiverar nya studier. Här märks urannitrid (UN), som har diskuterats som bränsle till blykylda små modulära reaktorer. Lakning av uranoxid under naturliga betingelser (in situ, ”naturliga analogier”) har bedrivits i liten omfattning och skulle kunna återupptas om lämpliga platser kan identifieras. Uranoxidens låga löslighet i syrefritt grundvatten (reducerande betingelser) har en retarderande funktion, vilket är välkänt och studerat. Möjligheten att grundvattnet kring förvaret kommer i kontakt med luft måste beaktas i utvärderingar av platser och händelser. Exempel finns från Bergslagen (Stripa) hur djupt grundvatten i nedlagda gruvor genom tidigare luftkontakt skapat oxiderande miljöer vilket medfört att uranhalten i vattnet har ökat med en faktor 100 över bakgrundsnivån i ostörd grundvattenmiljö. Urankällan är här oxidmineral som är svårlösliga i syrefri miljö. Sannolikt har SKB en ledande roll inom detta viktiga forskningsområde inom ramen för det internationella samarbetet.

Kungl. Vetenskapsakademien har till uppgift att främja vetenskaperna och stärka deras inflytande i samhället.

The Royal Swedish Academy of Sciences has as its aim to promote the sciences and strengthen their influence in society.

4.5 Kapsel för använt kärnbränsle

4.5.1 Processer kopplade till korrosion (sid 59)

Uppnådda resultat: 17 st, alla med referenser; **Program:** 8 st

4.5.2 Processer kopplade till materialegenskaper för kapselmateri

Uppnådda resultat: 14 st, alla med referenser; **Program:** 6 st

Olika processer som leder till kopparkorrosion är huvudtemat, speciellt reaktioner med sulfider, oxidationsprocesser samt hur kopparkorrosion kan förhindras. Även effekter av fosfor på koppars stabilitet har studerats. Intressant är även den förberedande studien som har genomförts avseende naturliga kopparanaloger. Fortsatta studier är självklara under kommande Fud-period, bland annat modelleringar, kvantkemiska beräkningar, krypmekanismer mm.

Satsningen på klarläggande av alla mekanismer och processer som kan påverka kapselmaterialets stabilitet och resistens är betydande vilket demonstreras av det stora antalet uppnådda resultat men även den fortsatta prioriterade satsningen i kommande Program. Under *Uppnådda resultat* (17+14 st) hänvisas till totalt 19+23 publicerade arbeten från perioden 2022–25 vilket illustrerar satsningen på och betydelsen av frågor kring temat Processer kopplade till korrosion och till materialegenskaper för kapselmateri.

Frågor kring kopparkorrosion har framförts som kritik mot SKB-konceptet för slutförvaring under flera år, vilket lett till ett omfattande forskningsprogram sedan 2019. Kunskapsläget kan anses vara gott, men det är klart befogat att fortsatt studier av olika möjliga korrosionsprocesser vilket SKB avser att driva (sulfidkorrosion, spänningskorrosion, mikrobiella processers betydelse, effekter av oxiderande miljö etc.). Likaså är det motiverat att studera effekterna av strålningsinducerad diffusion och korrosion. En allmän reflektion är, att satsningen på klarläggande av möjliga kopparkorrosionsprocesser är ett exempel på kommentaren under Allmänna synpunkter (se ovan): ”Varje ny frågeställning eller problem som uppdragas måste analyseras till dess att full förståelse och kunskap har uppnåtts”

4.5.3 Konstruktion (sid 63)

Uppnådda resultat: 6 st, 1 med referens; **Program:** 5 st

4.5.4 Tillverkning, kontroll och provning

Uppnådda resultat: 16 st, 1 med referens; **Program:** 5 st

Utveckling av kraven för kapsel och ingående komponenter pågår och fortsätter under kommande Fud-period, vilket är rimligt.

4.6 Cementbaserade material

4.6.1 Processer i cementbaserade material...(sid 66)

Uppnådda resultat: 4 st, referenser i alla; **Program:** 4 st

4.6.2 Utformning av betongkonstruktioner och material

Uppnådda resultat: 3 st, 1 med referens; **Program:** 8 st

Cementbaserade material kommer att finnas i alla avfallsförvarssystemen som nu finns och planeras. De olika cementkomponenternas kemiska sammansättning och mekaniska egenskaper har inledningsvis studerats, inklusive hur cementmiljön kan påverka radionuklidens speciering och mobilitet.

Fortsatta studier planeras för kommande Fud-period, speciellt effekter av cement på kapselkorrosionsprocesserna och på radionuklidutlösningen. Cementen skapar ett lokalt pH i vattnet, över 10–10,5 så länge cementen är intakt (initialt över 12 motsvarande porvatten-pH). Karbonatsystemets jämvikt är förskjutet från dominans av vätekarbonat till karbonat. Därmed påverkas specieringen och mobiliteten hos spårmetaller och i förekommande fall radionuklider i den lokala vattenmiljön (hydroxid- såväl som karbonatkomplex, samt vid höga halter organiskt material även humuskomplex).

En viktig fråga är alltså hur cementbaserade material kan initialt påverka 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 vara kunskap som beaktas i performance assessment-analysen av olika tänkbara betingelser, konceptval och relaterade konsekvenser

Kungl. Vetenskapsakademien har till uppgift att främja vetenskaperna och stärka deras inflytande i samhället.

The Royal Swedish Academy of Sciences has as its aim to promote the sciences and strengthen their influence in society.

4.7 Lerbarriärer, pluggar och förslutning

4.7.1 Bentonitmaterialets utveckling efter installation fram till mättnad (sid 68)

Uppnådda resultat: 11 st, alla med referenser; **Program:** 8 st

4.7.2. Bentonitmaterialets utveckling efter vattenmättnad

Uppnådda resultat: 8 st, alla med referenser; **Program:** 7 st

Bentoniten används som barriärmaterial med långsiktig stabilitet men också med egenskaper som kan påverka förvarets integritet och radionuklidernas speciering. Processer som studerats och rapporterats omfattar bentonitens svällning och erosion, lokala påverkan på grundvattnet och därmed på radionuklidernas speciering och rörlighet och barriärfunktionens varaktighet. Studien av naturliga lersystem som kan betraktas som naturliga analogier för bentonit som buffertmaterial i slutförvar är värdefulla och kan sannolikt verifiera slutsatser från laboratorie- och teststudier.

Fortsatta bentonitstudier planeras för kommande Fud-period rörande både mekaniska/fysikaliska egenskaper och kemiska, vilka är välmotiverade och bör prioriteras.

En viktig aspekt är att klarlägga betydelsens av bentoniten som källa för mobila kolloidala partiklar till vattenmiljön. Standardmetoden filtrering genom 0,45 µm filter är ej tillräcklig för avskiljning av suspenderad fas, ej heller 0,22 (eller 0,20) µm filter avskiljer hela den kolloidala fasen.

Betydelsen och omfattningen av pågående och planerade bentonitstudier illustreras av redovisningarna av resultat. Under Uppnådda resultat (11+8 st) hänvisas till totalt 11+10 publicerade arbeten från perioden 2022–25.

4.7.3 Utformning av barriärer samt tillverkning, kontroll och provning (sid 72)

Uppnådda resultat: 5 st, 2 med referenser; **Program:** 3 st

4.7.4 Installation av buffert och återfyllning

Uppnådda resultat: 1 st, inga referenser; **Program:** 4 st

Utformning av barriärer samt kontroll och provning, och i ett senare skede installation och återfyllning av buffert, är självklara aktiviteter som pågår och rapporteras och som ska fortsättas under kommande Fud-period.

4.7.5 Förslutning av borrhål och förvar (sid 73)

Uppnådda resultat: 1 st, inga referenser; **Program:** 3 st

Arbete med metoder för förslutning pågår och ska fortsättas planenligt.

4.8 Berg

4.8.1 Geomekanisk karakterisering och modellering (sid 78)

Uppnådda resultat: 9 st, alla med referenser; **Program:** 5 st

4.8.2 Geometrisk modellering av diskreta spricknätverk

Uppnådda resultat: 7 st, 4 med referenser; **Program:** 4 st

4.8.3 Seismisk påverkan på förvarens säkerhet

Uppnådda resultat: 6 st, 4 med referenser; **Program:** 6 st

En ny förutsättning inför kommande Fud-period är, att fortsatt planering och konstruktion av SFK har godkänts, och karakterisering av berggrunden på föreslagen plats för slutförvaret har påbörjats. Modeller för uppskattning av bergspänning har utvecklats, inklusive för uppkomsten av sprickor speciellt i Forsmark. Särskilt inriktas studierna på sprickbildningsprocesser och modellering av möjliga spricknätverk.

Seismisk påverkan på berget och effekter såsom sprickbildning måste beaktas och analyseras, vilket har påbörjats, bl.a. genom datainsamlingen från det lokala seismiska nätet i Forsmark. Uppnådda resultat (9+7+6 st) hänvisas till totalt 21+6+5 publicerade arbeten från perioden 2022–25.

Fortsatt geomekanisk karakterisering och modellering planeras för kommande Fud-period, vilket måste ses som en självklar och prioriterad aktivitet. Rapporterade studier av seismisk aktivitet i andra regioner ska studeras för att bedöma om observationer även är applicerbara för Forsmark när det gäller modellering av sekundära rörelser vid ett jordskalv.

Kungl. Vetenskapsakademien har till uppgift att främja vetenskaperna och stärka deras inflytande i samhället.

The Royal Swedish Academy of Sciences has as its aim to promote the sciences and strengthen their influence in society.

4.8.4 Hydrogeologi (sid 78)

Uppnådda resultat: 11 st, 10 med referenser; **Program:** 5 st

4.8.5 Transport av lösta ämnen

Uppnådda resultat: 7 st, 6 med referenser; **Program:** 11 st

4.8.6 Hydrogeokemi

Uppnådda resultat: 7 st, 4 med referenser; **Program:** 4 st

Berget måste ses som den viktigaste barriären. Vandringen av lösta ämnen i grundvattnet via spricksystemen styrs av den lokala/regionala hydrogeologin och hydrogeokemin samt berggrundens sammansättning som är avgörande för adsorptionsprocesser som kan styra fördelningen av lösta ämnen mellan fast fas (berget) och vatten (grundvattnet). Kunskapsläget är generellt gott, men kompletterande studier rapporteras. Hydrogeologisk och hydrogeokemisk modellering pågår utgående för de lokala/regionala förhållandena inom Forsmark-området, liksom modellering av transportförloppet för lösta ämnen från kärnavfallsförvaret.

Uppnådda resultat (11+7+7 st) hänvisas till totalt 15+10+4 publicerade arbeten från perioden 2022–25.

Studier av den lokala hydrogeologin och modellering av hydrogeologiska processer fortsätter självklart under kommande Fud-period, liksom ansatser att modellera flöden av lösta radionuklider under de aktuella geokemiska och geologiska betingelserna i den regionala berggrunden. Processer som måste beaktas är sorption på mineraler 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.

Sammanfattningsvis kan konstateras, 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. Kunskapsläget rörande effekter av oorganiska såväl som organiska komplexbildare på radionuklidens löslighet och mobilitet i förvarsmiljön är generellt god. Ett flertal omfattande studier har gjort av bl.a. cellulosa nedbrytningsprodukter (ISA) vid högt pH (cementmiljö) liksom av organiska tillsatsmedel som kan förekomma i SFR- såväl som SFL-miljöerna. SKB befinner sig i forskningsfronten inom dessa områden.

4.9 Ytekosystem

4.9.1 Upptagsvägar och upptagsmekanismer för radionuklider hos olika organismer (sid 83)

Uppnådda resultat: 8 st, alla med referenser; **Program:** 2 st

4.9.2 Temporal och spatial heterogenitet i landskapet

Uppnådda resultat: 6 st, alla med referenser; **Program:** 2 st

4.9.3 Transport- och ackumulationsprocesser

Uppnådda resultat: 6 st, alla med referenser; **Program:** 2 st

4.9.4 Radiologiska och kemiska egenskaper hos betydelsefulla ämnen

Uppnådda resultat: 2 st, 1 med referens; **Program:** 2 st

Forskningsprogram för ytekosystem syftar till att skapa underlag för beräkningar av potentiell radioaktiv dos till människa och miljö, vilket kan vara underlag till miljökonsekvensbedömningar, miljöövervakning och för analysen av säkerheten i anläggningar i drift.

Mätningar av upptag i mark och växter rapporteras liksom spridningsprocesser i ytekosystem, inklusive ytvatten. Upptag kan vara genom biologiska processer men även definieras som abiotisk kemisk adsorption på biologiska organiska fasta faser, t.ex. humusämnen.

I säkerhetsanalyserna har potentiella utsläppsområden identifierats. Av speciellt intresse har varit utströmningsområdet från SFR.

Uppnådda resultat (8+6+6 +2 st) hänvisas till totalt 20+11+8+1 publicerade arbeten från perioden 2022–25.

Analys av upptag i grödor samt lokala förekomster i växt- och jordprover från Forsmarkområdet planeras för kommande Fud-period, liksom kompletterande platsundersökningar som planeras för den kommande Fud-perioden och fortsatta analyser av biologiskt upptag samt biosorptionsprocesser. Studier av bioupptag av radionuklider från de naturliga sönderfallskedjorna planeras även. Det är av vikt att programmen fortsätter, och resultaten kan utnyttjas i andra sammanhang (se avsnitt **Slutsatser**).

Kungl. Vetenskapsakademien har till uppgift att främja vetenskaperna och stärka deras inflytande i samhället.

The Royal Swedish Academy of Sciences has as its aim to promote the sciences and strengthen their influence in society.

Relevant information kan sannolikt också hämtas från pågående och publicerade undersökningar av naturligt förekommande radionuklider i uranförande mark och berggrund (t.ex. alunskifferområden). Det finns även studier av migration och fördelning av radionuklider från nedfall (kärnvapenprov) och olyckor (Tjernobyl m.fl.), inklusive plutonium (i Sverige).

4.10 Klimat och klimatrelaterade processer (sid 86)

Uppnådda resultat: 11 st, alla med referenser; **Program:** Inget planerat

Möjliga effekter på slutförvaren för kärnavfall av förändrat klimat uppskattas med nuvarande klimatutvecklingen som utgångspunkt. Här ska beaktas effekter till följd av permafrostutvecklingen liksom även framtida nedisningar. Prognoserna för klimatets utveckling ska fortlöpande bevakas. (

4.11 Avslutande av fältförsök i Äspölaboratoriet

4.11.1 Genomförda brytningar under den gångna Fud-perioden (sid 88)

4.11.2 Avslut av nya fältförsök

De sista långtidsförsöken i Äspölaboratoriet har avslutats (Prototypförvaret. Minican, Long-term test of buffer materials test, Concrete and Clay, Långtidsutveckling av återfyllnadsmaterial för SFR)

Även fältförsök som har genomförts i Äspölaboratoriet är avslutade.

Publicering av resultaten är ännu ej komplett och återstår alltså.

4.12 Övervakning och undersökningar under uppförande och drift

4.12.1 Övervakningsprogram (sid 90)

4.12.2 Övervakning av barriärer

4.12.3 Internationell utveckling

SKB:s övervakning bedrivs brett och beskrivs i olika övervaknings- och undersökningsprogram. Programmen rör enbart de aktiviteter som företas inför och under uppförande och drift av anläggningen. Flera väldefinierade program finns med olika syften och riktade mot olika objekt.

SKB:s engagemang inom övervakning omfattar ett flertal ämnesområden som utförs ifrån markytan och ifrån bergutrymmen under jord. SKB kommer under Fud-perioden fortsätta följa utvecklingen inom övervakning. Detta sker som

- underlag till potentiell anpassning av SKB:s egen övervakningsmetodik och teknik,
- möjlighet till implementering av ny metodik och teknik,
- ett led i SKB:s kompetenshållning.

4.13 Avveckling

4.14 Bevarande av information och kunskap (sid 91)

Utvecklingsarbetet inför kommande avvecklingar av kärntekniska anläggningar ska under kommande Fud-period inriktas mot bl.a. 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.

En viktig fråga gäller kunskaps- och informationsöverföring samt bevarande av data och information som är en viktig del i den fortsatta stegvisa tillståndprocessen och den utgör en del av Fud-programmet. SKB ska vidare bedriva en strukturerad omvärldsbevakning rörande slutförvaring av använt kärnbränsle, informationsbevarande samt övervakning av slutförvar efter förslutning.

Detaljerade instruktioner finns hur detta ska genomföras.

5 Arbetssätt, kompetens och resurser

5.2 Forskning

5.2.1 Forskningens framtida inriktning (sid 94)

SKB:s forskning och utveckling speglar det övergripande syftet med SKB:s uppdrag och program:

Utveckling, utformning, lokalisering, uppförande och drift av förvar för kärnavfall och använt kärnbränsle för att långsiktigt skydda människor och miljön från radiologiska skadeverkningar.

Detta tycks innebära, att forskningen drivs av

- behovet av att analysera förvarens säkerhet efter förslutning
- krav på utvärderingen av kunskapsunderlaget, både för processer och för data som ingår
- behovet av forskningsinsatser och säkerhetsvärderingar som behövs som stöd till teknikutvecklingen
- behovet av kunskapsbevakning av närliggande områden som kan ha betydelse för programsyftet

Kungl. Vetenskapsakademien har till uppgift att främja vetenskaperna och stärka deras inflytande i samhället.

The Royal Swedish Academy of Sciences has as its aim to promote the sciences and strengthen their influence in society.

Kommentar:

Dessa principer är acceptabla och försvarbara. Dock kan tilläggas att forskningen ska bedrivas på god vetenskaplig nivå och som regel kunna leda till publicering i vetenskapliga tidskrifter (se nedan).

5.2.2 Granskning, öppenhet och insyn (sid 95)

Grundprinciper som gäller är, att

- forskningsresultat ska om möjligt publiceras i öppen litteratur, företrädesvis i vetenskapliga tidskrifter, för att extern granskning ska underlättas

- resultat kan gärna även publiceras i SKB:s rapportserier som är tillgängliga via SKB:s webbplats. Innan de publiceras har rapporterna genomgått intern och/eller extern granskning i enlighet med fastställda rutiner

- data ska gärna vara tillgänglig i öppna databaser

- resultat kan gärna spridas utanför vetenskapsvärlden, exempelvis genom publicering i populärvetenskapliga tidskrifter

Kommentar:

Kravet på öppenhet och insyn har gällt ända sedan starten av forskningsprogrammen under 1970-talet och varit en framgångsrik strategi som underlättat samarbete mellan SKB och utländska organisationer inom samma område samt samarbete med universitet, högskolor och forskningsorganisationer

5.3 Teknikutveckling

5.3.1 Styrning av teknikutveckling (sid 95)

5.3.2 Teknikutvecklingsprocess

Teknikutvecklingen ska säkerställa att de processer, system och utrustningar som behövs för att omhänderta kärnavfallet och det använda kärnbränslet är anpassade för sina syften och finns tillgängliga när anläggningarna ska tas i drift. Strategiska teknikutvecklingsplaner formuleras och till vilka knyts genomförandeplaner som tydliggör och motiverar vilken teknikutveckling som behövs.

Kommentar:

Teknik som utvecklas ska ha ett tydligt syfte, gärna baseras på vetenskaplig grund (vetenskaplig analys och publicering) och därmed ha ett vetenskapligt värde.

Referenser

I listan, totalt 271 referenser, är 234 från 2022–25; totalt 104 är artiklar från internationella vetenskapliga tidskrifter samt 8 är doktorsavhandlingar. Övriga är tekniska rapporter i SKB:s serier och i andra nationella och internationella serier samt myndighets- och konsultrapporter.

Det stora antalet referenser från 2022–25, dvs. perioden för Fud-program 2022, visar på hög forskningsaktivitet, inte minst antalet doktorsavhandlingar. I Fud-program 2022 ges totalt 524 referenser med likartad fördelning mellan olika publiceringskategorier.

Slutsatser och frågor

Kan andra strategier än nuvarande koncept (SKB) för hantering av kärnavfall och använt kärnbränsle bli aktuella i framtiden?

Redan under 1970–80-talet diskuterades informellt om den valda strategin för slutförvaring av använt kärnbränsle verkligen skulle ses som hållbar och genomföras i framtiden, före nästa sekelskifte. Förutsättningar och samhällsförändringar har skett under de senaste årtiondena vilka kan medföra att det valda slutförvaringskonceptet av kärnavfall och använt kärnbränsle helt eller delvis måste omprövas. Exempel:

- Förnyad satsning på kärnkraftsutbyggnad i Sverige och i några europeiska länder
- Nya reaktortyper, bl.a. småskaliga modulära reaktorer (SMR), även nya kärnbränslen
- Upparbetning av utbränt kärnbränsle; utvinning av metaller, inte bara uran utan möjligen även andra metaller beroende på valet av process
- Nedbrytning (transmutation) av långlivade nuklider i använt kärnbränsle och kärnavfall (aktinider såväl som fissionsprodukter); därmed skulle erforderliga avfallsförvaringstider kunna minska från nivån 100 000 år till långt under 1000 år
- Utvinning av uran i Sverige, där alunskiffer är en potentiell råvara för både uran och kritiska metaller. Dock under förutsättning att en hållbar teknik utvecklas och testas, en teknik som i stora delar liknar den teknik som krävs vid upparbetning av kärnbränsle; separation av flera metaller i låga halter. Utvinning av kritiska metaller samt uran i Sverige kan bli ett önskemål eller ett framtida krav från EU, vilket antyds i aktuella rapporter rörande säker europeisk energiförsörjning.

Kungl. Vetenskapsakademien har till uppgift att främja vetenskaperna och stärka deras inflytande i samhället.

The Royal Swedish Academy of Sciences has as its aim to promote the sciences and strengthen their influence in society.

Finns andra områden där forskning och utveckling behövs för att lösa problem som är snarlika kärnavfallsfrågan?

Utvinning av kritiska metaller och uran ur alunskiffer kan komma att tillåtas 2026

(uranutvinningsförbudet upphävs) och då bör krav och villkor ställas avseende

– en hållbar teknik måste utvecklas för utlösning och separation av kanske ett 10-tal metaller från den fasta alunskiffern. Detta kan ske genom en processkedja där flera steg har hydrokemisk bas. Detta är snarlikt de processer som används vid upparbetning av kärnbränsle

– en strategi för efterbehandling och troligen konditionering av skifferrester efter metallutvinningen måste utformas för att spridning av metaller till miljön (inklusive uran med dotterprodukter) ska kunna kontrolleras och begränsas

Fråga: Är det dags för ett skifferprogram snarlikt SKB:s kärnavfallsprogram för vilket ett företag eller en myndighet (SSM, SGU?) får ett huvudansvar?

Slutkommentar och summering, SKB Fud-program 2025

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. Programmet vilar på en omfattande dokumentation som redovisas i Fud-program 2025 (såväl som i Fud-program 2022). Noteras kan dock, att ingenting nämns om alternativa strategier för hanteringen av kärnavfall och använt kärnbränsle utöver slutförvaring, men andra alternativ är oförenliga med gällande politiska beslut och ligger utanför uppdraget till SKB. Ej heller berörs säkerhetsfrågor såsom risker för sabotage och krigsaktiviteter, vilket kan ses som en ny realitet i Sveriges närområde.

En fråga som är relevant *men utanför SKB:s uppdrag och ansvarsområde* är den framtida kärnbränsleförsörjningen som skulle kunna baseras på uranutvinning i Sverige. Tidigare har bedömts att Sverige har kanske Europas största urantillgångar, dock huvudsakligen i mineral och berg med låga halter. Framtida utvinning av svenskt uran, förutsatt att förbudet mot uranutvinning upphävs 2026 vilket föreslås, kan möjligen tillstyrkas och starta.

Framtida upparbetning av använt kärnbränsle för utvinning av uran med flera element kan inte uteslutas, ej heller transmutation av långlivade radionuklider i använt kärnbränsle och långlivat kärnavfall. Upparbetning och/eller transmutation skulle radikalt ändra förutsättningar och villkor för hanteringen av både potentiella råvaror och avfallet inom kärnbränslecykeln.

Beslut i detta ärende har fattats av ständige sekreteraren efter förberedande arbete av Bert Allard ledamot av KVA:s klass för geovetenskaper och av Kommittén för miljö och energi samt Svenska Nationalkommittén för strålskyddsforskning.

Stockholm 17 december 2025



Hans Ellegren
Ständig sekreterare