

Kunskapsläget på kärnavfallsområdet 2022

Samhället, tekniken och etiken

Rapport av Kärnavfallsrådet

Stockholm 2022



STATENS OFFENTLIGA
UTREDNINGAR

SOU 2022:7

SOU och Ds finns på [regeringen.se](https://www.regeringen.se) under Rättsliga dokument.

Layout: Kommittéservice, Regeringskansliet

Omslag: Elanders Sverige AB

Omslagsfoto: Evis Bergenlöv

Tryck: Elanders Sverige AB, Stockholm 2022

ISBN 978-91-525-0326-3 (tryck)

ISBN 978-91-525-0327-0 (pdf)

ISSN 0375-250X

Till statsrådet och chefen för Miljödepartementet

Kärnavfallsrådet (Statens råd för kärnavfallsfrågor) är en tvärvetenskaplig kommitté som har i uppdrag att ge regeringen råd i frågor om använt kärnbränsle, kärnavfall och rivning av kärntekniska anläggningar, (M 1992:A Kärnavfallsrådet. Dir. 2018:18). I februari vartannat år ger Kärnavfallsrådet sin självständiga bedömning av det aktuella läget inom kärnavfallsområdet. Bedömningen presenteras i form av en kunskapslägesrapport. Syftet med rapporten är att uppmärksamma och beskriva frågor som Kärnavfallsrådet anser viktiga och att redogöra för rådets synpunkter i dessa. Kärnavfallsrådet överlämnar härmed till regeringen årets kunskapslägesrapport SOU 2022:7 *Kunskapsläget på kärnavfallsområdet 2022 – Samhället, tekniken och etiken*.

Bakom denna rapport står samtliga ledamöter och sakkunniga i Kärnavfallsrådet. Kärnavfallsrådets vetenskapliga sekreterare Johanna Swedin har varit projektledare för arbetet med kunskapslägesrapporten.

Rapporterna om kunskapsläget på kärnavfallsområdet åren 1998, 2001, 2004, 2007, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 och 2020 finns även tillgängliga i en engelsk version. Rådet kommer att publicera en engelsk översättning av årets rapport under våren 2022.

Stockholm i februari 2022

Carl-Reinhold Bråkenhielm
Kärnavfallsrådets ordförande

Tuija Hilding-Rydevik
Kärnavfallsrådets vice ordförande

Ledamöter

Carl-Reinhold Bråkenhielm (ordförande), professor emeritus i empirisk livsåskådningsforskning, Uppsala universitet

Sophie Grape, docent i fysik med inriktning mot tillämpad kärnfysik, Uppsala universitet

Mats Harms-Ringdahl, professor emeritus i strålningsbiologi, Stockholms universitet

Tuija Hilding-Rydevik (vice ordförande), professor emeritus i miljöbedömning, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala

Thomas Kaiserfeld, professor i idé- och lärdoms historia, Lunds universitet

Mikael Karlsson, docent i miljövetenskap samt lektor i klimatledarskap, Uppsala universitet

Ingmar Persson, professor emeritus i oorganisk och fysikalisk kemi, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala

Linda Soneryd, professor i sociologi, Göteborgs universitet

Sakkunniga

Hannu Hänninen, professor emeritus i maskinteknik, Aalto universitet, Finland

Ingvar Persson, f.d. chefsjurist på Statens kärnkraftinspektion

Kansli

Peter Andersson, kanslichef tom 31 januari 2022

Johanna Swedin, vetenskaplig sekreterare

Evis Bergenlöv, biträdande sekreterare

Innehåll

DEL 1

1	Inledning.....	13
1.1	Om beslutet och behovet av villkor.....	13
1.2	Sociotekniska system, deltagande och etik	14
1.3	Om kapseln och behovet av forskning.....	15
1.4	Kärnavfallsrådets arbete och kärnavfallsområdet.....	16
2	Om regeringsbesluten och Kärnavfallsrådets förslag till villkor	17
2.1	Regeringens villkor i korthet.....	17
2.2	Villkor om stegvis prövning och den fortsatta processen efter beslut	18
2.3	Villkor om pilotfas och helhetsbedömningar.....	20
2.4	Villkor om fortsatt forskning och demonstrationsförvar	21
2.5	Villkor om deltagande, insyn, demokrati	23
2.6	Villkor om informationsbevarande.....	24
2.7	Avslutande kommentarer om rådets framtida roll.....	25

3	Teknik i samhället – sociotekniska perspektiv på slutförvar och säkerhet	29
3.1	Mobiltelefonen – teknisk och social.....	29
3.2	Ett sociotekniskt perspektiv på ett slutförvar för använt kärnbränsle.....	33
3.2.1	Separering och integrering av det tekniska och det sociala	34
3.2.2	Ett medborgerligt förnuft och teknologier för förutsägelse och reflektion	36
3.2.3	Sociotekniska utmaningar och demokratisk styrning.....	37
3.3	Sociotekniska utmaningar, långa tidsperspektiv och det svenska slutförvaret	38
3.3.1	Nya frågeställningar uppstår 20 år senare – exemplet LOT-försöken.....	39
3.3.2	Sekelperspektivet – minst 70 års anläggningstid.....	41
3.3.3	Processen det kommande seklet – vad vet vi?	42
3.3.4	Den långsiktiga säkerheten – 100 000 år.....	48
3.4	Att hålla framtidens utmaningar för slutförvaret närvarande i nuet	51
4	Århuskonventionen och allmänhetens deltagande i beslutsprocesser som rör slutförvaret för använt kärnbränsle	59
4.1	Inledning	59
4.1.1	Bakgrund.....	60
4.2	Århuskonventionen.....	63
4.3	Genomförandet av Århuskonventionen i Sverige	65
4.4	Tillämpningen av Århuskonventionen i samband med utbyggnaden av ett slutförvar för använt kärnbränsle	67

5	Korrosion av metalliskt koppar i syrgasfritt vatten – en vetenskaplig kontrovers i ett historiskt perspektiv	73
5.1	Introduktion.....	73
5.2	Grundläggande kemi.....	75
5.3	Litteraturöversikt – oxidation av metalliskt koppar i rent syrgasfritt vatten	76
5.3.1	Publikationer i sakkunniggranskade vetenskapliga tidskrifter och myndighetsrapporter.....	76
5.3.2	Rapporter från SKB och Posiva.....	85
5.4	Relation mellan rapporterade experiment och slutförvarsförhållanden.....	88
5.5	LOT-försök och prototyptester	89
5.6	Bildning av vätgas i kemiska experiment	90
5.7	Slutsatser av vikt för kopparkorrosionsfrågan utifrån litteraturstudien	91
6	Spårmängder av absorberade ämnen i metallisk koppar och hur de påverkar koppars mekaniska egenskaper	99
6.1	Kopparkapseln och väteupptag i koppar	100
6.1.1	Processer som kan leda till väteupptag.....	100
6.1.2	Experimentella studier av väteupptag i koppar....	101
6.1.3	Experimentella studier av upptag av syre, svavel och hydroxidjoner	103
6.2	Sammanfattning och förslag.....	104
7	Försprödningsmekanismer och gjutjärnsinsatsen	107
7.1	Inledning	107
7.2	Designanalys och tillverkningskrav för gjutjärnsinsatsen.....	108
7.3	Kvalitetskontroll	110

7.4	Temperatur	110
7.5	Hållfasthet.....	111
7.6	Försprödningsmekanismer hos nodulärt gjutjärn.....	112
7.6.1	Inverkan av försprödning på gjutjärnsinsatsens skadetålighet	115
7.7	Slutsatser	116
8	Små modulära reaktorer	121
8.1	Inledning	121
8.1.1	Vad menas med ”små modulära reaktorer”?	121
8.1.2	Användningsområden, fördelar och risker med SMR:er	122
8.1.3	Hur ser utvecklingsbehovet ut?	123
8.2	Historisk bakgrund	124
8.2.1	Små modulära reaktorer i dag.....	125
8.2.2	En överblick av utvecklingen i en rad länder	127
8.3	Översikt av reaktorteknologier och bränslen under utveckling.....	133
8.4	Avfall från SMR:er.....	136
8.4.1	Hur ser behovet av utveckling inom avfallshantering ut?	139
8.5	Slutsats	142
9	Kärnavfallet, ansvaret för kommande generationer och icke-identitetsproblemet	165
9.1	Inledning	165
9.2	Syfte och disposition	167
9.3	Teoretisk bakgrund	167
9.3.1	Etisk teori och metod	168
9.4	Icke-identitetsproblemet	169
9.5	Icke-identitetsproblemet och kärnavfallsfrågan.....	171
9.6	Den personpåverkande principen.....	173

9.7	Den personpåverkande principens betydelse	173
9.8	Tre grundinställningar till den personpåverkande principen	174
9.9	Hur ska man bedöma de olika grundinställningarna till den personpåverkande principen?	175
9.10	Harmans lösning	177
9.11	Etiska slutsatser	179
9.12	Sammanfattning	180

DEL 2

10 Kärnavfallsrådets arbete och kärnavfallsområdet 187

10.1	Kärnavfallsrådets arbete 2020 och 2021	187
10.1.1	Gällande direktiv	187
10.1.2	Publikationer och skrivelser	187
10.1.3	Seminarier och möten	192
10.1.4	Omvärldsbevakning	193
10.2	Kärnavfallsområdet i Sverige 2020–2021	195
10.2.1	Tillståndsprocessen om slutförvar för använt kärnbränsle	195
10.2.2	Tillståndsprocessen om Slutförvar för kortlivat låg- och medelaktivt avfall (SFR)	199
10.2.3	Övrigt	200

Bilagor

Bilaga 1	Kommittédirektiv 1992:72	209
Bilaga 2	Kommittédirektiv 2009:31	213
Bilaga 3	Kommittédirektiv 2018:18	215

DEL 1

1 Inledning

Kärnavfallsrådet (rådet) ger enligt direktivet, sedan år 1992, ut en kunskapslägesrapport (fr.o.m. 2018 ges den ut vartannat år).

Kapitlen i kunskapslägesrapporten 2022 (SOU 2022:7) avser att såväl bredda som fördjupa perspektiven och uppmärksamma behoven av att ställa upp tydliga villkor för den fortsatta processen med utvecklingen av slutförvaret – för säkerhetens och förtroendets skull. Detta är särskilt aktuellt och relevant eftersom regeringen den 27 januari 2022 fattade beslut om att bevilja Svensk Kärnbränslehantering AB:s (SKB:s) ansökan om att få bygga ett slutförvar för använt kärnbränsle. Besluten innehåller ett antal villkor, men fler villkor kommer att ställas i den fortsatta hanteringen av Mark- och miljödomstolen vid Nacka tingsrätt och Strålsäkerhetsmyndigheten (SSM).

Regeringens beslut kom i det absoluta slutskedet av arbetet med denna kunskapslägesrapport. Rådet har därför inte haft besluten som förutsättning i skrivprocessen av kapitlen i rapporten.

1.1 Om beslutet och behovet av villkor

I kapitel 2, *Om regeringsbesluten och Kärnavfallsrådets förslag till villkor*, beskrivs regeringens beslut kortfattat. Rådet ger där även ett antal kommentarer med anledning av regeringens beslut. Rådet framhåller även sina förslag till villkor och reglering, särskilt i relation till de villkor som regeringens beslut innehåller. Rådet betonar i kapitlet bl.a. behovet av transparens, öppenhet och insyn i den fortsatta processen.

1.2 Sociotekniska system, deltagande och etik

I de följande kapitlen 3–4 belyses frågor av betydelse för villkor om deltagande och informationsbevarande. Detta är frågor som ofta uppfattas som liggande utanför det tekniska området. Men all teknik är samtidigt både teknisk och social samt att tekniken påverkas av det specifika historiska och samhälleliga sammanhang den befinner sig i. Kapitel 3, *Teknik i samhället – sociotekniska perspektiv på slutförvar och säkerhet*, beskriver det sociotekniska perspektivet närmare. Kapitlet tar upp vikten av att uppmärksamma de sociotekniska utmaningarna för slutförvaret för använt kärnbränsle som en del av att utveckla säkerheten. Ett exempel på en viktig socioteknisk utmaning är att samhället under lång tid behöver kunna styra projektet ”slutförvar för använt kärnbränsle”. Projektet kan ta upp till ett sekel innan regeringen ska pröva frågan om tillstånd till förslutning. Staten ska därefter ta över ansvaret med kärnämneskontroll, fysiskt skydd, informationsbevarande m.m. Styrningen förutom genom tillsyn och prövning enligt miljöbalken och kärntekniklagen behöver göras på flera sätt. Det behövs insatser när det gäller t.ex. insyn och öppenhet, informationsbevarande, fortsatt riskrelaterad forskning samt ett demonstrationsförvar.

I kapitel 4, *Århuskonventionen och allmänhetens deltagande i beslutsprocesser som rör slutförvaret för använt kärnbränsle*, beskrivs Århuskonventionen som är en internationell överenskommelse och viktig grund när det gäller frågor om deltagande. Århuskonventionen är en FN-konvention, som infördes i Sverige 2005, om bl.a. allmänhetens deltagande i beslutsprocesser som rör miljön och tillgång till överprövning i miljöfrågor. EU har ratificerat konventionen, vilket påverkar Sverige genom att EU-rätten gäller i Sverige. Århuskonventionen fastställer allmänhetens och särskilt miljöorganisationers rätt till information om miljöpåverkande projekt, rätt till deltagande i beslutsprocesser om miljön och rätt till rättslig prövning av miljöfrågor. I kapitlet framhålls betydelsen av Århuskonventionen när det gäller deltagande i den stegvisa prövningen enligt kärntekniklagen.

Kapitel 8, *Små modulära reaktorer (SMR)*, beskriver den pågående teknikutvecklingen i flera länder kring olika typer av system med små modulära reaktorer (SMR). När det gäller de stora reaktorer vi har i dag i Sverige, tog det decennier innan det fanns lag-

stiftning kring hanteringen av kärnavfallet. Rådet vill framhålla att detta inte bör upprepas. Lagstiftning om omhändertagande av avfallet från potentiella SMR:er bör föregå den tekniska utvecklingen. Även SMR:er kommer att generera olika former av kärnavfall som behöver slutförvaras eller omhändertas om de blir verklighet. Det slutförvar för använt kärnbränsle som SKB fått tillåtighet att uppföra ska inte förvara något annat avfall än det som nu produceras i befintliga reaktorer i Sverige. Med andra ord skulle såväl ett nytt slutförvar som ny lagstiftning och ny teknik krävas för att hantera avfallet från eventuella SMR:er.

Kapitel 9, *Kärnavfallet, ansvaret för kommande generationer och icke-identitetsproblemet*, ger en analys av etiska/moraliska teorier om vårt ansvar för framtida generationer. En grundläggande fråga handlar om huruvida vårt ansvar för kommande generationer kan behandlas på samma sätt som vårt ansvar för nu levande människor. Är vi skyldiga att undvika att skada framtida människor på samma sätt som vi är skyldiga att undvika att skada nu levande människor? Och skadar man en person bara om man gör livet sämre för den personen? Mot bakgrund av ett jakande svar på åtminstone den första av dessa två frågor har regeringen beslutat att tillåta byggnaden och driften av ett långsiktigt säkert slutförvar för använt kärnbränsle. Anta att slutförvaret ändå inte blir långsiktigt säkert och att vi skadar människor långt fram i tiden. Har vi då handlat moraliskt fel? Har vi gjort livet sämre för dessa personer än om vi i stället väntat i hundra år? Självklart! svarar nog de flesta, men den engelske filosofen Derek Parfit har en omdiskuterad invändning. Syftet med kapitel 9 är att klarlägga och bemöta denna invändning.

1.3 Om kapseln och behovet av forskning

Denna kunskapslägesrapport innehåller tre kapitel som handlar om fortsatt forskning m.m. kring kapseln, som består av ett kopparhölje och en gjutjärnsinsats.

Kapitel 5, *Korrosion av metalliskt koppar i syrgasfritt vatten – en vetenskaplig kontrovers i ett historiskt perspektiv*, beskriver den vetenskapliga diskussion som inleddes 1986 med att en forskare vid Kungliga Tekniska högskolan (KTH) beskrev att vätgas bildats när kopparmetall förvarats i rent syrgasfritt vatten. Detta resultat

tolkades som att kopparmetall kan korrodera i syrgasfritt vatten vilket gick emot den gängse vetenskapliga uppfattningen och var inledningen på en vetenskaplig kontrovers som fortfarande pågår. I slutändan handlar kontroversen om huruvida koppar är ett lämpligt material som primär barriär för det använda kärnbränslet. I detta kapitel sammanfattar rådet den vetenskapliga litteratur som publicerats gällande denna fråga.

I kapitel 6, *Spårämngder av absorberade ämnen i metallisk koppar och hur de påverkar koppars mekaniska egenskaper*, beskrivs hur mekaniska egenskaper hos koppar påverkas av andra grundämnen som ingår eller kan introduceras vid tillverkningen av kopparkapseln eller som senare kan tränga in i kopparn under slutförvarsförhållanden. Vissa ämnen förbättrar koppars egenskaper som kapselmaterial, medan andra försämrar dem. Även i denna fråga har forskargrupper kommit fram till olika resultat, vilka redovisas i kapitlet. Kärnavfallsrådet ger också förslag till fortsatt forskning om kopparkorrosion och spårämnespåverkan.

De två kapitlen ovan handlar om forskning kring kopparn i kapseln. I kapitel 7, *Försprödningsmekanismer och gjutjärnsinsatsen*, fokuserar rådet på forskningen om egenskaperna hos gjutjärnsinsatsen i kapseln. Under senare år har rådet flera gånger uppmärksammat att forskningen om gjutjärnsinsatsen startade sent och att det finns betydande osäkerheter när det gäller gjutjärnsinsatsen.

Rådet vidhåller att det behövs fler studier kring gjutjärnsinsatsen. Det gäller bl.a. forskning om gjutjärns mekaniska hållfasthet och påverkan av spårämnen och joniserande strålning. Det är också viktigt att klargöra hur samverkan mellan försprödningsmekanismer och gjutjärnets bestående deformation under yttre tryck (krypning) påverkar gjutjärnsinsatsens mekaniska egenskaper.

1.4 Kärnavfallsrådets arbete och kärnavfallsområdet

Slutligen finns kapitel 10, *Kärnavfallsrådets arbete och kärnavfallsområdet*, som utgör **Del 2**. Här finns en beskrivning av Kärnavfallsrådets arbete och vad som hänt på kärnavfallsområdet sedan senaste rapporten, dvs. under åren 2020, 2021 och fram till regeringens beslut den 27 januari 2022.

2 Om regeringsbesluten och Kärnavfallsrådets förslag till villkor

Den 27 januari 2022 fattade regeringen två historiska beslut i kärnavfallsfrågan och gav tillåtlighet enligt Miljöbalken (1998:808) och tillstånd enligt Lagen (1984:3) om kärnteknisk verksamhet (kärntekniklagen) för uppförande och drift av ett slutförvar för använt kärnbränsle. [1, 2] I detta kapitel redogör rådet först i korthet för villkoren i dessa beslut. Rådet skriver därefter om de förslag till villkor som rådet tidigare lyft. Fler villkor kommer att behöva övervägas. Rådet anser också att det är viktigt att ställa konkreta krav för att reglera en långsiktig prövning.

2.1 Regeringens villkor i korthet

Beslutet enligt miljöbalken (MB-beslutet) innebär att regeringen ger tillåtlighet till att en anläggning för slutförvaring av kärnämne och kärnavfall från det svenska kärnkraftsprogrammet uppförs och drivs i Forsmark. Till detta beslut fogar regeringen ett särskilt villkor att:

Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB) ska med Östhammars kommun respektive Oskarshamns kommun, behöriga tillsynsmyndigheter samt de myndigheter och organisationer som kommunerna föreslår, minst en gång per år mötas för att avhandla lokala miljöfrågor utifrån miljöbalkens mål och tillämpningsområde. Inom ramen för dessa möten ska SKB fortlöpande lämna information om sådana förhållanden i verksamheten vid anläggningen för slutförvaring av kärnämne och kärnavfall eller Clink som kan ge upphov till lokal miljöpåverkan eller som är av betydelse för kommunerna. SKB ska svara för kostnader för möteslokaler och liknande. Mötena kan hållas med kommunerna var för sig eller tillsammans. [1a]

I beslutet enligt kärntekniklagen (KTL-beslutet) ger regeringen Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB) tillstånd att i Forsmark, Östhammars kommun, uppföra, inneha och driva en anläggning för slutförvaring av kärnämne och kärnavfall från det svenska kärnkraftsprogrammet. Regeringen förenar detta beslut enligt kärntekniklagen med fem olika tillståndsvillkor:

1. Anläggningen ska uppföras, innehas och drivas i huvudsaklig överensstämmelse med det som anges i ansökningshandlingarna.
2. KBS-3-metoden med vertikal deponering ska tillämpas.
3. Uppförandet av anläggningen får påbörjas först efter att Strålsäkerhetsmyndigheten har godkänt en preliminär säkerhetsredovisning (PSAR).
4. Anläggningen får tas i provdrift först efter att Strålsäkerhetsmyndigheten har godkänt en förnyad säkerhetsredovisning (FSAR).
5. Anläggningen får tas i rutinmässig drift först efter att Strålsäkerhetsmyndigheten har godkänt en kompletterad säkerhetsredovisning (SAR). [2a]

Därtill tillkommer också tillståndsvillkor för Clink. Dessa tillståndsvillkor överensstämmer i stora drag med de villkor som SKB föreslagit. [2b]

2.2 Villkor om stegvis prövning och den fortsatta processen efter beslut

Regeringen skriver i sitt beslut enligt kärntekniklagen att ”verksamheten ska vara föremål för en stegvis prövning” och baseras på en ”referensutformning” såsom den beskrivits i SKB:s ansökan. [2c] Anledningen till det stegvisa förfarandet enligt kärntekniklagen är enligt Strålsäkerhetsmyndigheten (SSM) att SKB söker tillstånd för en ”teoretisk referensutformning av anläggningen snarare än en faktisk och i alla avseenden färdigutvecklad utformning”. [3]

Den stegvisa prövningen beräknas pågå cirka 17 år för uppförande och driftsättning samt provdrift, och rutinmässig drift skulle då kunna påbörjas cirka år 2038. [2d] Den s.k. stegvisa prövningen omfattar alltså bara en del av den minst 70 år långa processen fram tills frågan om tillstånd för förslutning ska prövas.

Regeringen skriver att de tre stegen i den stegvisa prövningen ligger i relativ närtid, trots att "tidsbedömningarna blir osäkra med hänsyn till anläggningsprojektets omfattning". [2d]

En stegvis prövning bygger på internationell praxis och IAEA:s rekommendationer. Stegvis prövning har sedan länge tillämpats av ansvariga tillsynsmyndigheter i Sverige för kärntekniska anläggningar (t.ex. kärnkraftverk). Gemensamt för de befintliga kärntekniska anläggningarna är att stegvis prövning varit möjlig att tillämpa under uppförandet av anläggningen. Myndighetens granskning har kunnat ske genom att med ingenjörsmässiga metoder successivt inspektera och kontrollera uppförandet på plats. Tiden för uppförandet av en anläggning har kunnat ske inom ramen för ett decennium. [4]

Förutsättningarna för att tillämpa en stegvis prövning på ett geologiskt slutförvar för använt kärnbränsle är dock delvis annorlunda än för kärntekniska anläggningar i allmänhet. Det finns till att börja med ingen erfarenhet sedan tidigare att ta vara på, eftersom inget förvar är i drift i världen i dag. (Finland har som enda land i världen börjat uppföra ett slutförvar). Några andra exempel på skillnader är att uppförande och drift sker samtidigt, att det inte går att kontrollera säkerheten i barriärerna, att själva slutförvaret inte kommer att avvecklas, att det ska vara säkert i minst 100 000 år och att slutförvaret är ett ovanligt långt projekt att genomföra. Eftersom det är ett annorlunda projekt än att uppföra, driva och avveckla ett kärnkraftverk, är dagens lagstiftning otillräcklig. Det krävs således en annan reglering än den befintliga eftersom det är en unik process som väntar. [4]

Regeringen anser dock i sitt beslut enligt KTL att det inte är lämpligt att beslutet närmare reglerar hur den stegvisa prövningen ska gå till, förutom genom de tre villkoren om säkerhetsredovisningar som beskrivits ovan. [2e]

Rådet anser att den stegvisa prövningen behöver konkretiseras. [4] SSM kan ställa villkor och reglera prövningen närmare. SSM arbetar för närvarande med att uppdatera föreskrifterna om slutförvar.

Rådet har tidigare lyft frågan om den s.k. rutinmässiga driften dvs. det som sker efter den stegvisa prövningen. I sin kunskapslägesrapport 2020 [4] framhåller rådet att uppförande inte är en fas som endast pågår under den stegvisa prövningen fram till rutinmässig drift. Om ett slutförvar för använt kärnbränsle tas i rutinmässig drift är det inte färdigbyggt. Uppförandet (tunneldrivning, borrhning av

deponeringshål) fortsätter parallellt med driften (placering av buffert och kapslar, återfyllning, förslutning av tunnlar) tills alla kapslar är deponerade, vilket tar flera decennier. Under dessa förutsättningar är det svårare att skilja ut vad som utgör den rutinmässiga driften.

Det är också hela tiden viktigt *hur* förvaret uppförs. Säkerhetsredovisningarna som ska uppdateras i processen enligt kärntekniklagen innehåller både *SR-Drift* – Säkerhetsredovisning för drift av slutförvarsanläggningen och *SR-Site* – Redovisning av säkerhet efter förslutning av slutförvaret för använt kärnbränsle.

2.3 Villkor om pilotfas och helhetsbedömningar

Rådet vill med anledning av vad som skrivits ovan framhålla följande förslag till ytterligare villkor för processen, se nedan.

Villkor om en väl underbyggd pilotfas

Rådet har framhållit att det finns oklarheter kring vad som ingår i provdriften och att det är ett exempel på att den ”vedertagna stegvisa prövningen enligt kärntekniklagen” inte är tillräcklig. Det kan behövas införas andra nya moment och faser. Efter beslutet om tillåtlighet/tillstånd anser rådet att villkor behöver fastställas om en väl underbyggd och omfattande pilotfas för att möjliggöra att eventuella brister i slutförvarskonceptet upptäcks tidigt. De kontinuerligt pågående underjordiska verksamheterna (bergarbeten, deponering och återfyllnad/pluggning) sker parallellt. Det är därför viktigt att fasen minst omfattar deponering i två tunnlar för att visa att verksamheterna inte påverkar de tekniska barriärerna eller varandra på ett negativt sätt. Pilotfasen motsvarar inte provdrift, utan föreslås av rådet pågå under en längre tid.[4]

Villkor om helhetsbedömningar

Regeringen framhåller att tillståndshavaren enligt 10 a § kärntekniklagen är skyldig att minst vart tionde år göra en ny systematisk helhetsbedömning av säkerheten och strålskyddet vid en kärnteknisk anläggning. [2f] Helhetsbedömningar behöver dock förtydligas och

anpassas till ett slutförvar för använt kärnbränsle antingen i villkor eller i föreskrifter. Kravet på vad bedömningarna ska innehålla bör regelbundet ses över. Sådana ”kontrollstationer” bör sannolikt göras oftare än vart tionde år. [4]

2.4 Villkor om fortsatt forskning och demonstrationsförvar

Fortsatt forskning och analys av barriärerna och slutförvarsmiljön behövs hela tiden fram till slutlig förslutning av ett slutförvar för använt kärnbränsle, för att förbättra den långsiktiga säkerheten.

Villkor om fortsatt forskning och utveckling

Rådet konstaterar att regeringen i sitt beslut enligt miljöbalken framhåller ett av de villkor [1c] och den uppfattning som rådet i olika sammanhang understrukt, nämligen:

... att det är viktigt att forskningsarbetet fortsätter. Det är mycket lång tid kvar tills förvaret försluts och ny kunskap kommer att nås genom att förvaret anläggs. Även framtida forskningsresultat behöver kunna användas för att säkerheten i förvaret ska bli så hög som möjligt. [1b]

Rådet understryker detta villkor i sitt yttrande [5] och framhåller att:

... fortsatt forskning och analys av barriärer och slutförvarsmiljön behövs hela tiden fram till slutlig förslutning av ett slutförvar för använt kärnbränsle, för att förbättra den långsiktiga säkerheten. Villkor behöver fastställas om att denna forskning genomförs och redovisas i SKB:s Forsknings-, utvecklings- och demonstrationsprogram (Fud-program).

I beslutet enligt miljöbalken noterar regeringen att rådet framhållit Fud-programmets betydelse i den fortsatta processen av stegvis prövning, bland annat forskning som ger ett omfattande och adekvat underlag om gjutjärnsinsatsen. ”Regeringen anser att forskning om bl.a. kopparkapselns robusthet och gjutjärnsinsatsen måste fortsätta att bedrivas.”[1c] Regeringen bedömer dock att denna kunskapsinhämtning redan är säkerställd genom Fud-programmet och den stegvisa prövningen i tillståndet enligt kärntekniklagen. Rådet vill i detta sammanhang understryka att det är av avgörande betydelse att

också forskning om redan (av regeringen) tillståndsgiven verksamhet, ingår i framtida Fud-program.

I KTL-beslutet nämns också de villkor som Kärnavfallsrådet framhållit. Ett av dessa är att SKB gör nya försök för att specifikt studera kopparkorrosion och gjutjärnsinsatsens egenskaper under slutförvarsförhållanden, exempelvis i en demonstrationsanläggning i anslutning till ett slutförvar för använt kärnbränsle.

Regeringen återkommer i sitt KTL-beslut till Fud-processen och framhåller vikten av att denna process fortsätter i samband med den stegvisa prövningen efter beslut:

Utöver den utveckling som sker inom ramen för den stegvisa prövningen konstaterar regeringen att forskning om osäkerheter angående kapseln, slutförvarsmiljön och bergets egenskaper, informations- och kunskapsöverföring även behandlas inom det Fud-program som reaktornnehavarna ska upprätta eller låta upprätta i samråd med varandra vart tredje år enligt 12 § kärntekniklagen. Enligt lagen ska programmet 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 skickas till regeringen eller den myndighet som regeringen bestämmer för att granskas och utvärderas. [2f]

Villkor om demonstrationsförvar

Efter beslutet om tillåtlighet/tillstånd anser rådet att villkor behöver fastställas för övervakning och mätprogram. Ett mätprogram kan verifiera beräkningar och antaganden i säkerhetsanalysen. Det kan också medge ökad transparens. Tillsynsmyndigheten kan inte följa och bedöma säkerhetssystemens uppbyggnad och drift i ett slutförvar på samma sätt som i ett kärnkraftverk, då barriärerna och slutförvarets funktionalitet svårigen kan bedömas. Ett möjligt sätt att följa utvecklingen av barriärsystem kan dock vara att tillämpa någon typ av demonstrationsförvar. Även ur ett internationellt perspektiv kan mätningarna ge viktig ny kunskap om slutförvarsprocesser.

Mark- och miljödomstolens förslag på eventuella prövotider

Kopplat till frågan om att det behövs fortsatt forskning är att Mark- och miljödomstolen vid Nacka tingsrätt (mark- och miljödomstolen) i sitt yttrande till regeringen skriver att en eller flera prövotider¹ kan behövas i strålsäkerhetsfrågor och att detta bör övervägas ytterligare vid en tillståndsprovning. Domstolen skriver att:

Sammantaget kan prövotid vara motiverat i fråga om krav på åtgärder avseende både driften av slutförvaret fram till förslutningen och avseende tiden efter förslutning av slutförvaret. [6a]

När det gäller att det är långt kvar till förslutningen skriver mark- och miljödomstolen vidare att:

Under denna tid kommer det att ske en teknikutveckling. Dessa omständigheter talar för att frågan om närmare krav på förslutningen ska sättas på prövotid enligt miljöbalken. [6a]

(Se även förslag på eventuell prövotid om informationsbevarande nedan).

2.5 Villkor om deltagande, insyn, demokrati

Frågan om deltagande är viktig för varje större sociotekniskt system, inte minst för ett slutförvar för använt kärnbränsle. Ofta förstås deltagande som något som är externt i förhållande till ett tekniskt system. Men deltagande bör snarare förstås som något som aktivt utvecklar det sociotekniska systemet. Genom insyn och granskning av fler aktörer kan nya frågor väckas, kunskaper utvecklas, konflikter uppstå och tilliten till systemet testas. Det är viktiga processer i alla samhällen och i processer som syftar till att skapa goda kunskapsunderlag. Öppenhet är viktigt både för att få förtroende från allmänhet och politiker, och för att bedöma och förbättra slutförvarskonceptet. Ett aktivt deltagande ligger i linje med Århuskonventionen.

I regeringens båda beslut återfinns ett villkor kopplat till deltagande, vilket är villkoret för tillåtligheten enligt miljöbalken när det gäller kommunernas möten med SKB om lokala miljöfrågor (se ovan). Mark- och miljödomstolen har dock 2018, i sitt yttrande till reger-

¹ Mark- och miljödomstolen kan besluta om prövotider ifall den anser att en fråga behöver utredas mera innan villkoren kan fastställas.

ingen över SKB:s ansökan, lyft vikten av att även miljöorganisationer och enskilda får information om och deltagande i miljöprocessen. [6b]

Kärnavfallsrådet har i olika sammanhang framhållit att det är angeläget att deltagande och insyn regleras. Fler aktörer än SKB och SSM bör involveras även i den stegvisa prövningen, helhetsbedömningarna och de fortsatta forskningsprogrammen. Behovet av ett brett deltagande, öppenhet och insyn i en fortsatt process, gäller under hela den långa projekttiden och därefter (informationsbevarande är viktigt under lång tid framöver).

Rådet har föreslagit att regeringen i regleringsbrev eller dylikt uppdrar till någon myndighet att bilda en brett sammansatt grupp med olika aktörer som exempelvis SSM, länsstyrelserna, Naturvårdsverket, berörda kommuner, miljöorganisationer, SKB, riksarkivet och staten. Kärnavfallsrådet eller en liknande organisation kan ha en sammankallande roll. En brett sammansatt grupp bör behandla frågor både enligt miljöbalken och kärntekniklagen (till skillnad från regeringens villkor om SKB:s möten med kommunen om lokal miljöpåverkan enligt miljöbalken). Den här föreslagna gruppen tillsammans med flera aktörer och organisationer kan informera och diskutera projektet ur olika synvinklar för att förbättra deltagande, öppenhet och insyn.

Mer om regeringsbesluten och deltagande finns i kapitel 3, *Tekniken i samhället – sociotekniska perspektiv på slutförvar och säkerhet*, i denna kunskapslägesrapport.

2.6 Villkor om informationsbevarande

Efter beslutet om tillåtlighet/tillstånd anser rådet att villkor behöver fastställas om att SKB utvecklar strategier för informationsbevarande åtgärder. Villkoren behöver utvecklas i god tid i samband med utformning, uppförande och drift av ett slutförvar. [5]

Med anknytning till det sistnämnda villkoret om informationsbevarande framhåller regeringen i sitt KTL-beslut att:

... satt frågan om kunskaps- och informationsöverföring är en viktig del i den fortsatta processen och konstaterar att frågan ingår i Fud-programmet. Mot denna bakgrund bedömer regeringen att frågan inte behöver regleras i tillståndet. [2h]

Rådet anser att det är av särskild betydelse att mark- och miljödomstolen och SSM i sina villkorsformuleringar tar hänsyn till behovet av villkor om informationsbevarande. Mark- och miljödomstolen föreslår i sitt yttrande att överväga provotid om informationsbevarande. (Se fler förslag på provotider ovan). [6a]

2.7 Avslutande kommentarer om rådets framtida roll

Kärnavfallsfrågan är inte enbart en teknisk fråga och rådet har sedan 1992 arbetat tvärvetenskapligt med denna. Rådets huvudsakliga uppgift att utreda, belysa och lämna råd till regeringen i frågor om hantering och slutförvaring av använt kärnbränsle och kärnavfall, samt om avställning och rivning av kärntekniska anläggningar, är lika relevant efter som före beslutet i januari 2022. Dit hör bl.a. följande:

Allmänt granskande roll av KBS-3-konceptet och processerna

Rådet har sedan sin tillkomst haft en allmänt granskande uppgift av KBS-3-konceptet (utöver Fud-processen) och tillhörande processer. Efter regeringens beslut i januari 2022 finns ett fortsatt sådant granskande behov. Denna allmänna granskning är av stor vikt vid fortsatt prövning enligt miljöbalken och kärntekniklagen.

Forskningsprogram

Rådet har i uppdrag att bidra med en självständig granskning av Fud-programmen. Forskning-, utveckling- och demonstrationsarbetet ska fortsätta och rådet kan ges en fortsatt viktig roll i detta arbete och kan bli en betydelsefull del av den kommande stegvisa prövningen (se ovan).

Deltagande

Det är viktigt med en aktör som har mandat att bidra till deltagande, öppenhet och insyn. Inte minst i en kommande stegvis prövning m.m. för slutförvaret för använt kärnbränsle.

Informationsbevarande till kommande generationer

Rådet har engagerat sig i och drivit frågan om behovet av att tidigt utveckla arbetet med informationsbevarande. Forskningen hittills har visat att processer för informationsbevarande behöver spänna över en bred palett av insatser (kulturella, legala, tekniska etc.), dvs. de bör utvecklas ur ett tvärvetenskapligt perspektiv. Rådet kan här spela en viktig roll i detta arbete bl.a. genom sina seminarier och kunskapslägesrapporter.

Långsiktig kompetensförsörjning

Med ett tillstånd till att bygga ett slutförvar för använt kärnbränsle ska SKB gå från en teoretisk referensutformning till att faktiskt bygga och driva slutförvaret som det är planerat. Det är därför mycket viktigt att det långsiktigt finns kompetent personal som kan genomföra projektet. Rådets tidigare undersökningar (se [4]) har visat att det kan komma att råda brist på vissa kompetenser (som troligtvis inte heller kommer att kunna importeras) något som är viktig att förutse då det kräver långsiktig planering.

Omvärldsbevakning

Kärnavfallsrådet bör även fortsättningsvis sammanfatta och beskriva den internationella utvecklingen när det gäller hantering av kärnavfall och använt kärnbränsle. Detta är viktigt eftersom ett slutförvar ska byggas enligt principen ”bästa möjliga teknik”. Det finns fördelar med att ett råd som har ett brett perspektiv följer utvecklingen i andra länder, både när det gäller andra slutförvarskoncept och varianter inom KBS-3-konceptet.

Avveckling och rivning av kärntekniska anläggningar

Detta är enligt gällande direktiv en av rådets uppgifter att bevaka och blir mer och mer aktuell nu när flera reaktorer ska nedmonteras.

Kommande processer – SFL och SFR

Andra delar i slutförvarsprocessen där rådets kompetens fortsatt är av relevans gäller utbyggnad av Slutförvaret för kortlivat radioaktivt avfall (SFR II) och platsvalsprocessen för ett slutförvar för långlivat avfall (SFL).

Referenser

1. Regeringsbeslut. Miljödepartementet. 2022-01-27. Tillåtlighetsprövning enligt 17 kap. miljöbalken av anläggningar i ett sammanhängande system för slutförvaring av använt kärnbränsle. M2018/00217, M2017/02796, M2021/00969.
1a, s. 2.
1b, s. 29.
1c, s. 31.
2. Regeringsbeslut. Miljödepartementet. 2022-01-27. Tillstånd enligt lagen (1984:3) om kärntekniska verksamhet till anläggningar i ett sammanhängande system för slutförvaring av använt kärnbränsle M2018/00221.
2a s. 1 f.
2b, s. 5–7.
2c, s. 16 f.
2d, s. 29.
2e, s. 30.
2f, s. 24.
2g, s. 23.
2h, s. 28.
3. SSM. 2018:06 *Uppförande och drift av slutförvarsanläggningen. Beredning inför regeringens prövning Slutförvaring av använt kärnbränsle*, s. 7. Datum: 2018-01-23. Strålsäkerhetsmyndigheten. Dokumentnr: SSM2011-1135-19.

4. Kärnavfallsrådet. 2020. SOU 2020:9 *Kunskapsläget på kärnavfallsområdet 2020. Steg för steg. Var står vi? Vart går vi?* Stockholm: Norstedts Juridik. Se: Kapitel 3 ”Stegvis prövning och tiden där efter – process och reflektioner” och Kapitel 2 ”Långsiktig kompetensförsörjning inom kärnavfallsområdet i sju europeiska länder med kommersiell kärnkraft”, samt referenser i kapitlet.
5. Kärnavfallsrådet. Yttrande 2020-06-17. *Kärnavfallsrådets yttrande angående Komplettering i regeringens ärenden angående Svensk Kärnbränslehantering AB:s ansökningar om tillstånd till anläggningar i ett sammanhängande system för slutförvaring av använt kärnbränsle och kärnavfall*. Komm2020/00396/M 1992:A.
6. Mark- och miljödomstolen vid Nacka tingsrätt. 2018. Yttrande 2018-01-23. Mål nr M 1333-11. Aktbilaga 842. Stockholm.
6a, s. 553 ff.
6b, s. 195.

3 Teknik i samhället – sociotekniska perspektiv på slutförvar och säkerhet

All teknik utvecklas i ett specifikt historiskt och socialt sammanhang och dess funktion kommer alltid att vara lika beroende av dess materiella komponenter som människors förståelse och användning dvs. det sociala. Ett slutförvar för använt kärnbränsle (slutförvaret) och processerna för planering, utveckling och implementering av KBS-3-konceptet är exempel på hur människor, organisationer, artefakter, infrastruktur, forskning, kultur, normer och regelverk samspelar och samspelar över tid. Slutförvaret utvecklas således som en sammansättning av sociala och tekniska processer. En etablerad definition av teknik är att *teknik är sammansättningar som fungerar*. [1] I detta kapitel förstår vi dessa sammansättningar som sociotekniska kombinationer. [2] Vi använder ett sociotekniskt perspektiv och diskuterar hur detta kan hjälpa oss att på ett bredare sätt förstå de utmaningar som slutförvarsprojektet står inför.

Vi börjar med mobiltelefonin som ett exempel på att all teknik samtidigt är både teknisk och social.

3.1 Mobiltelefonen – teknisk och social

All teknik – från synålen, till biomedicinska tillämpningar och kärnkraftsanläggningar – är samtidigt både teknisk och social. Mobiltelefonen – en teknisk pryl som många av oss använder – kan få tjäna som exempel på vad vi menar med detta.

Teknik är skapat i ett visst syfte, ofta för att lösa ett specifikt problem. Dess spridning och användning är inte alltid överblickbar eller i linje med de initiala idéerna om vad tekniken skulle användas till.

De första mobiltelefonerna var i egentlig mening inga mobiltelefoner utan radiosändare som möjliggjorde trådlös kommunikation på distans, bland annat skapade för militär, räddningstjänst och polis. Den kommersiella mobiltelefon som lanserades under 1980-talet, vägde närmare 10 kilo och affärsmän kunde använda den mellan möten när de satt i bilen. Dess tyngd och höga kostnad begränsade teknikens spridning och samtalen var heller inte av så god kvalitet.

I dag, cirka 40 år senare, är mobiltelefonen något helt annat både tekniskt och socialt sett – liten, lätt, möjlig att köpa för flera användare och den har gått från att vara analog till digital. Mobiltelefonen har dessutom förändrat vårt sociala liv, hur vi kommunicerar och tar del av omvärlden – allt från att läsa morgontidningen, kommunicera med arbetskamrater eller vänner via tal, text eller rörlig bild, till att söka rätt på middagens recept, och hålla koll på både vår sömn och fysiska aktivitet. Det som vanligtvis kallas ”teknologisk innovation”, som mobiltelefonen är ett exempel på, innebär därför också alltid innovation av sociala identiteter och roller, beslutsprocesser och institutioner som utvecklas tillsammans med det nya tekniska objektet.

Tekniska prylar som mobiltelefoner är designade och utvecklade av teknisk expertis. Användare av teknik behöver inte veta hur tekniken fungerar, bara hur den används. Ju mer komplex tekniken är, desto mer beroende blir dock användarna av experter när något går snett. Och teknik kan fela, och inte sällan benämns detta som ”den mänskliga faktorn”. Användarna *förväntar* sig att tekniken fungerar, och när den inte gör det kan det leda till upprördhet och massmedial uppmärksamhet. Vid lanserandet av det amerikanska dator- och hemelektronikföretaget Apples iPhone 4 hände just detta. Det visade sig att när telefonen hölls på ett visst sätt så förlorade den uppkopplingen och fungerade inte alls som en telefon. I bemötandet av kritiken upprepade Steve Jobs, Apples medgrundare och chefsvisionär, budskapet att ”vi är inte perfekta” och att ingenjörerna på Apple arbetade för fullt med att förutse och lösa problem *innan* de uppstod, och för att hantera sällsynta misstag som detta. Han backade upp sina påståenden med information om hur mycket arbete som lades ner på detta, och hur många tester som gjordes av den aktuella antennens funktion. [3] Även om Steve Jobs uttalanden är ett erkännande av teknikens brister, så framförs också en stark tro på experternas arbete att åtgärda och förbättra.

En mer komplex berättelse om mobiltelefonens historik finns också. Gemensamma standarder för mobil telekommunikation har utvecklats, och har möjliggjort långt fler funktioner än de vi använder i våra vanliga mobiltelefoner. För att kunna anta dessa gemensamma standarder (3G, 4G och 5G) – har beslut fattats av internationella, europeiska och nationella organ. När den 3:e generationens mobiltelefoni etablerades i slutet av 1990-talet, hade det föregåtts av EU-beslut att anta den nya tekniska standarden och i Sverige fattade regeringen beslutet att 90 procent av den svenska befolkningen skulle få täckning. Detta beslut av regeringen ledde i sin tur till att många master behövde byggas, lokala protester uppstod, och helt nya sociala frågor, bortom det tekniska, kom upp på agendan. Kommuner och engagerade medborgare undrade: Vad ska vi med den här tekniken till? Vilken nytta har den för oss? Finns det risker? Vad händer med det lokala självbestämmandet?

Att produktionen av mobiltelefoner leder till mängder av farligt avfall har uppmärksammats i media och att de metaller som används utvinns i länder där det både förekommer barnarbete och kränkning av mänskliga rättigheter. Hur nytta och risker med tekniken fördelas över tidsliga och geografiska gränser är inte lätt att överblicka. Ofta förstås negativa konsekvenser som ”oavsiktliga konsekvenser”, ett språkbruk som kopplar designen och utvecklingen av tekniken till en ”skapare” med vissa intentioner. Men teknikens bra och dåliga sidor behöver inte förstås som en del av utvecklarens intentioner överhuvudtaget. Det kan vara en följd av att vi lever i en globaliserad värld, där beslut och handlingar är spridda på många aktörer, där regelverk och skydd för arbetares hälsa och miljö skiljer sig åt mellan länder, och där effekterna av våra handlingar är mer utspridda över tid och rum.

Det kan också finnas grundläggande ovissheter om teknikens konsekvenser för människor och miljö (för en förklaring av olika typer av ovisshet, se Kärnavfallsrådets kunskapslägesrapport 2018. [4] Mobilmasterna och mobiltelefonerna genererar icke-joniserande strålning, på samma sätt som en mikrovågsugn och diskussioner har funnits huruvida detta kan skada oss. Det skulle vara farligt om det innebar att vi hettades upp när vi pratade i telefonen (som mat i mikrovågsugnen). Strålning som kommer från mobiltelefonin har dock så låg effekt att värmen som alstras inte har någon påvisbar skadeverkan. Frågan är dock om mobilmasternas elektromagnetiska fält kan ha *andra* effekter än uppvärmningseffekter. Vad gäller 3G och 4G teknikerna finns

stora epidemiologiska studier som har studerat eventuella negativa hälsoeffekter. Resultaten har utvärderats i flera metastudier utan att negativa hälsoeffekter kunnat kopplas till denna exponering. Effekter av en viss typ av exponering är ofta svårt att studera – i dagens samhälle exponeras vi för olika saker (genom inom- och utomhusmiljö och via maten) och våra livsstilar kan vara olika (vilka har klar koppling till vår hälsa).

Vid sidan av miljö- och hälsokonsekvenser, så finns också en rad sociala konsekvenser av vårt flippande, googlande och ständiga närbarhet genom våra mobiltelefoner. De stora förändringar som mobiltelefonen har haft på våra sociala beteenden – från att det i dag ses som fullt normalt att prata rakt ut i luften när man promenerar ensam, till barns ökade utsatthet på grund av nätmobbing – var svåra att förutse för 30 år sedan. Nya problem som uppstår kräver nya lösningar i form av samhällsliga regelverk och beslut (t.ex. förbud mot mobiltelefoner i skolan) och nya tekniska komponenter (t.ex. trådlösa hörlurar och säkerhetsfilter).

Mobiltelefonen är således en sammansättning av gemensamma tekniska standarder, fysiska komponenter som kretskort och lysdioder, metaller, basstationer i form av master, politiska beslut, avvägningar om nytta och risk, regelverk och investeringar, telefonoperatörer och användare. Mobiltelefonen är en pryl som inte fungerar för sig själv som isolerad artefakt, utan måste vara sammansatt med alla dessa nätverk av ting, människor, organisationer, standarder, och infrastrukturer.

3.2 Ett sociotekniskt perspektiv på ett slutförvar för använt kärnbränsle

För att kunna diskutera ett slutförvar för använt kärnbränsle ur ett sociotekniskt perspektiv tar vi först upp några begrepp och forskningsresultat från forskningsfältet STS – Science and Technology Studies. STS är ett forskningsfält vars *huvudfokus* är att studera vetenskapens och teknikens roll i samhället. STS-forskningen rymmer många perspektiv, men en gemensam nämnare inom fältet är att utvecklingen, spridningen och användningen av vetenskap och teknik ses som intimt inbegripna/integrerade i samhällsprocesser.

Forskning om vetenskapens och teknikens roll i samhället – hur vetenskap och teknik blir till, sprids, tillämpas och ifrågasätts, och förändras – finns inom flera forskningsfält, såsom kunskaps-sociologi, forskning om professioner, organisationsforskning, forskning om samhällsstyrning och studier av sociala rörelser (t.ex. frivilligrörelser inom miljö och jämställdhet).

Forskarna Hess och Sovacool [5] ger en översikt av STS-forskningen och dess relevans för energifrågan. De tar bl.a. upp följande begrepp som utvecklats sedan fältets etablerande under 1980-talet [5a]:

Sociotekniska system är sammansättningar av människor, artefakter, infrastruktur, forskning, kultur, normer och regelverk, och naturliga resurser. Slutförvarets utveckling och process är ett tydligt exempel på ett sådant system och det utvecklar vi nedan. Forskning om sociotekniska system sätter de tekniska artefakterna – prylarna som t.ex. mobiltelefonen – i en kontext och ställer frågor om dess uppkomst och utveckling, produktion, resurser och infrastruktur, nytta och risk, användare och spridning, regelverk och beslutsfattare.

Tolkningsflexibilitet innebär att vetenskaplig kunskap och teknik formas genom sociala processer som innebär förhandlingar över dessas betydelser och mening. Vad vetenskap och teknik får för betydelse kan alltså variera mellan olika grupper, samt över tid. Det är inte ovanligt med vetenskapsbaserade kontroverser, där forskare finns som aktörer på båda sidorna, och där vetenskapliga argument utgör en viktig ingrediens. Under en pågående kontrovers öppnas tolkningsflexibiliteten, men den kan också stängas, vilket innebär att tolknings-

flexibiliteten begränsas. Att vetenskap och teknik ges olika meningar vi senare här flera exempel på i relation till slutförvar.

Artefakternas politik belyser att tekniska artefakter återspeglar samhällsliga värden och idéer om användaren. Ett exempel är synen på om det använda kärnbränslet ska vara återtagbart eller inte. Det handlar bl.a. om hur vi ska se på det, som en resurs eller ett avfall, och om vi tror att framtida generationer kan behöva reparera förvaret.

Distribuerat aktörskap eller tingens agens är ett begrepp som utvecklats inom aktör-nätverksteorin (hädanefter ANT). Att tingen har agens ska inte förstås som att saker är fullgoda aktörer som människor eller organisationer med intentioner, mål och intressen. Men ting kan få saker att hända och människor kan delegera uppgifter till tekniken; ett exempel är automatiska dörröppnare. Ett annat exempel är att vi delegerar förvaring av det använda kärnbränslet till KBS-3-metoden.

De frågor som behandlas i övriga kapitel i föreliggande kunskapslägesrapport 2022 kan också ses ur ett sociotekniskt perspektiv. Sociotekniska system är sammansättningar av människor, artefakter, infrastruktur, och regelverk. Århuskonventionen (kapitel 4) är en del av det internationella regelverk som stödjer allmänhetens och miljöorganisationers deltagande, och kan därmed bidra till en förändring av sammansättningen av aktörer. Etikfrågan som behandlas i kapitel 9 relaterar till de värden vi medvetet och omedvetet bygger våra tekniska beslut på, i detta fallet ansvaret för kommande generationer. Synen på möjligheterna och riskerna med små modulära reaktorer (SMR) är ett exempel på att all teknik utvecklas i ett specifikt historiskt och socialt sammanhang, se kapitel 8. Kapitel 5, 6 och 7 som handlar om tolkningar av forskningsläget och vetenskapliga kontroverser är ytterligare exempel på tolkningsflexibilitet. Detta innebär, som vi nämnt ovan, att vetenskaplig kunskap och teknik formas genom sociala processer som innebär förhandlingar över kunskapens betydelse och mening.

3.2.1 Separering och integrering av det tekniska och det sociala

ANT-studier, som vi nämnde ovan, intresserar sig för relationen mellan det tekniska och det sociala. En av förgrundsfigurerna inom ANT-studier, Bruno Latour [6] hävdar – trots dessa existerande

sammansättningar av teknik och det sociala – att det finns en stark tendens i det moderna samhället att separera dem. Latour förklarar denna tendens med det moderna samhällets höga grad av specialisering. Det har utvecklats professioner och institutioner som specialiserats på ”det ena” (naturvetenskap, medicin, teknik) eller ”det andra” (juridik, samhällsvetenskap, psykologi). Dessa specialiserade fält är uppdelade inom universiteten på olika fakulteter, och inom kommuner och industrin så befinner sig experter inom antingen tekniska avdelningar och miljökontor eller inom avdelningar för personal och kommunikation. Specialiseringen och uppdelningen gör att professioner utvecklar språk, perspektiv, angreppssätt och gemenskaper som gör det svårare att kommunicera över och mellan dessa gränser. Men Latour hävdar att trots denna tendens till separering, så är det i praktiken nästintill omöjligt att skilja på det tekniska och det sociala i praktiken. I praktiken är därför det sociala och det tekniska integrerat, men det kan ske på olika sätt.

I en studie som jämför processer för slutförvaring av kärnavfall i fyra länder – Belgien, Slovenien, Storbritannien och Sverige – identifieras fyra olika varianter av sociotekniska kombinationer som alla prioriterar det tekniska framför det sociala. [2a]

1. Sociala aspekter döljs. Tekniska experter kan fatta beslut som innebär sociala prioriteringar och värderingar, men utan att göra detta synligt och transparent för andra. Det innebär att projektet presenteras som *mer tekniskt* än vad det egentligen är, eftersom de sociala aspekterna döljs och bäddas in i experternas beslut.
2. Sociala aspekter underordnas. Sociala aspekter kan adderas i ett sent skede, efter att ett välutvecklat tekniskt projekt redan finns på plats. Det får till följd att tekniska lösningar som är utvecklade av experter, ges prioritet, och potentiella bidrag från ”samhällsaktörer” blir underordnade.
3. Processer separeras. Deltagarprocesser är ofta särkopplade från beslutsprocesser. Exempel ges från Belgien och Slovenien, där partnerskap etablerades. Men i båda länderna blev dessa ganska kortlivade. Under tiden för platsundersökningarna hade Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB) täta kontakter och diskussioner med Östhammar och Oskarshamn. Men SKB:s beslut att välja Östhammar, var särkopplat från de många samråd som förevarit med de två kommunerna.

Integrering som döljer separering. Långtgående försök till integrering finns i Belgien och Slovenien, bland annat exempel på att involvera medborgare mer i säkerhetsfrågor och övervakningsprogram, men där den beslutsfattande aktören bevakat gamla gränser och ignorerat det man kommit fram till i partnerskapen. Eftersom dialogen och samarbetena ändå skett, kan processen *presenteras* som en integrerad process, trots att den är separerad i praktiken.

3.2.2 Ett medborgerligt förnuft och teknologier för förutsägelse och reflektion

Som det framgår ovan genom STS-forskningen är teknik inte isolerade artefakter tillverkade av experter – utan komplexa sammansättningar. Därför kan inte experter ensamma hantera dem, utan det finns behov av offentlig insyn och granskning. Sheila Jasanoff [7] har i sin forskning belyst hur teknik är komplexa sammansättningar av naturresurser som behövs för dess tillverkning, lagstiftning och regelverk, samt bedömningar av nytta och risk. Jasanoff har också särskilt intresserat sig för relationen mellan expertis och demokrati. Hon menar att vi behöver samhällsliga strukturer som ser till att viktiga expertkunskaper tas tillvara, men inte ses som en gång för alla givna.

Att ta tillvara vetenskaplig kunskap och teknikutveckling och *samtidigt* behålla en ödmjukhet inför att den senaste kunskapen eller utvecklingen inte är den enda och slutgiltiga lösningen är ett konststycke som inte en enskild expertmyndighet eller beslutsfattare kan hantera. Det är en attityd till vetenskap och teknik som bara kan utvecklas *mellan* beslutsfattare och medborgare, det Jasanoff kallar *civic epistemologies* och som på svenska kan översättas med ett medborgerligt förnuft. Även i de fall där hanteringen av en fråga till stor del överläts till experter, vilket många miljö- och hälsofrågor gör, så är det endast de människor som lever och verkar i ett samhälle och som berörs av konsekvenserna av experternas beslut, som kan bedöma hur hanteringen fungerar. Problemuppfattningar förändras över tid och i relation till experternas initiala problemställning eller angreppsätt. Teknikens funktion, risker och nytta kan omvärderas när sammansättningarna förändras – det kan tillkomma något, ett annat klimat till exempel, en ny vetenskaplig upptäckt, eller ett nytt regelverk. Om de här komplexa sammansättningarna förändras (vilket de gör eftersom samhället inte är ett kontrollerat och isolerat labora-

torium eller ett pryddigt ingenjörsbord) så är det sannolikt att de nya problemställningarna som uppstår inte är inom den ursprungliga utvecklarens expertisområde – andra kompetenser kan bli viktiga i omvärderingen av teknikens nytta och risker. Stora tekniska system hanteras ofta genom teknologier för förutsägelse och kontroll. Forskaren Jasanoff [8] argumenterar för att dessa behöver kompletteras med teknologier för eftertanke, det vill säga angreppssätt som kan ge bättre förutsättningar för reflektion och möjlighet att även värdera det okända och osäkra.

3.2.3 Sociotekniska utmaningar och demokratisk styrning

Kopplat till teknologier för eftertanke är frågan om demokratiskt beslutsfattande och transparenta processer i slutförvarsprocesser. Syftet med EU-projektet *International Socio-Technical Challenges for implementing geological disposal* (InSOTEC) var bl.a. att identifiera sociotekniska utmaningar när det gäller slutförvaring av använt kärnbränsle. I projektets slutrapport framförs att behovet av långsiktig styrning av implementeringen av ett geologiskt slutförvar utgör en av de stora sociotekniska utmaningarna, och att detta diskuteras ganska lite. Men hur är det möjligt att etablera styrningsprocesser som möjliggör demokratiskt beslutsfattande och transparenta processer över flera generationer? Forskarna i InSOTEC beskriver några observationer och insikter i relation till långsiktig styrning av ett geologiskt slutförvar [9]:

- Ett stegvist beslutsfattande behövs och det är viktigt att tekniska frågor diskuteras offentligt i alla steg. Ett brett deltagande bör även inkludera dem med avvikande åsikter och gälla i alla faser av en planerings- och implementeringsprocess.
- Konflikter kan vara konstruktiva genom att framhäva potentiella svagheter i en föreslagen teknik, som kan behöva anpassas och förbättras. Deltagande handlar inte bara om att skapa förtroende, utan kan även bidra till utvecklingen av tekniken.
- Den komplexa sociotekniska frågan om att genomföra geologisk slutförvaring behöver interdisciplinära/tvärvetenskapliga perspektiv. Det behövs flera perspektiv som inte bara är parallella utan som också samspelar. Det är viktigt att få med olika värderingar och förståelser.

Vi kan inte förutse alla problem och förändringar som kan uppstå över den tid det tar att uppföra ett slutförvar. Därför krävs flexibilitet och vilja samt förmåga att utveckla tekniken för att undvika inläsning. Bland annat bör forskningsprogram fortsätta under hela implementeringen och de bör vara tvärvetenskapliga och öppna för insyn från samhället.

3.3 Sociotekniska utmaningar, långa tidsperspektiv och det svenska slutförvaret

Det svenska slutförvaret för använt kärnbränsle är ett mycket tydligt exempel på ett sociotekniskt system. Historiskt kan vi t.ex. se den tolkningsflexibilitet som funnits dvs. hur synen på avfallet och ansvaret för att ta hand om det i Sverige har omvärderats. För att lösa de mer akuta problemen förekom det vid ett par tillfällen under 1950- och 1960-talen att radioaktivt avfall dumpades i Östersjön, Göteborgs skärgård och Atlanten. [10a] Det dröjde sedan närmare 30 år av kärntekniskt utvecklingsarbete innan kraven på hanteringen av kärnkraftens avfall och slutförvaring av det använda kärnbränslet återspeglades i politik och lagstiftning.

Politiska (artefakternas politik) och samhällseliga förändringar har sedan drivit på teknisk utveckling och forskning (se mer detaljerade beskrivningar av processerna i t.ex. [11, 12]).

Regelverkets historiska förändringar har påverkat hanteringen av det använda kärnbränslet och den kunskap som måste tas fram. MKB-lagstiftningen och miljöbalken [13] började gälla 1998 när processen att hitta en metod och plats för ett slutförvar för använt kärnbränsle redan inletts. Den nya lagen införde nya samhällseliga värden som måste tas hänsyn till, till exempel att flera alternativ till metoder för slutförvaring ska tas fram och högre krav på att involvera berörda grupper och en intresserad allmänhet. Detta kan jämföras med kärntekniklagen [14] från 1984, som fokuserar på strålsäkerhet och framför allt innebär utbyten av information mellan utövaren av kärnteknisk verksamhet och experter vid granskande myndigheter.

Nedanstående avsnitt ger exempel på några aktuella sociotekniska utmaningar i relation till slutförvaret för använt kärnbränsle.

3.3.1 Nya frågeställningar uppstår 20 år senare – exemplet LOT-försöken

KBS-3-metoden innebär att det finns tre barriärer som ska samverka med syftet att innesluta det använda kärnbränslet dvs. kopparkapseln, bentonitleran och berget. I Äspölaboratoriet som är SKB:s unika forskningsanläggning (det finns endast några få liknande i världen), 500 meter ner under marken, genomförs bland annat experiment för att under realistiska förhållanden studera hur till exempel bentonitleran samverkar med berget. Ett av SKB:s experiment som fått mycket uppmärksamhet är det så kallade Long Term Test of Buffer Material (LOT), se ruta nedan.¹

LOT-försöken är ett aktuellt exempel på tolkningsflexibilitet och behovet av öppenhet inför att de initiala problemställningarna och frågorna kan ändras. LOT-försöken har diskuterats mycket, inte minst i samband med regeringens tillåtlighetsprövning.

Om LOT-försöken:

Uppställningarna i LOT-försöken består av sju paket som installerades mellan 1996 och 1999. Paketerna består av 4 m långa kopparrör med elektriska värmare omgivna av bentonitlera i borrhål på cirka 450 m djup i berget på Äspö. Kopparrör (kuponger) bäddades in i bentonitleran i närheten av de centrala kopparrören (vid något förhöjd temperatur).

LOT var ett bentonitförsök och frågan om kopparkorrosion under slutförvarsförhållanden var inte central vid försöksplaneringen. SKB pekar i sin rapport på svagheter med LOT-försöket när det gäller koppar. [15, 16] Vid det första upptaget efter 1 år så kontrollerades inte koppar, Cu, alls. Vid det andra upptaget efter 6 år gjordes lite analyser av Cu, men någon rapport där resultaten redovisades kom först några år senare. Vid tredje upptaget av två paket som gjordes 2019 efter 20 år har däremot flera analyser på Cu gjorts. Av försöken återstår det att ta upp ett sista paket. Läs mer om försöken, se referens [17].

Miljöorganisationer har fört fram i diskussionen att det är möjligt att ta reda på om koppar är ett lämpligt inkapslingsmaterial. De anser

¹ Se även kapitel 5, avsnitt 5.5. om LOT-försöken.

det möjligt att i de två 20-åriga försökspaketerna ta fram detaljerade resultat angående kopparkorrosion från de mest korroderade ytorna, och de menar att SKB inte velat publicera dessa resultat. [18]

LOT-försöken och diskussionerna 20 år efter att försöken initierades visar att det inte är givet vilka frågor som kommer att vara relevanta eller vilka aktörer som ställer dem. Kopparkorrosionsfrågan var inte i fokus i LOT-försöken för tjugo år sedan, och vi vet inte vilka frågor och tekniker som kommer att ifrågasättas framöver. Diskussionerna kring LOT-försöken visar också att bedömningar av vetenskap och teknik även handlar om tillit som ständigt måste underhållas (jfr civic epistemologies). Även i de fall där hanteringen av en fråga till stor del överläts till experter, så är det endast andra som kan bedöma hur hanteringen fungerar. Miljöorganisationerna har uttryckt en brist på tillit och till och med misstanke om att det finns något att dölja, när resultaten av LOT-försöken inte redovisas offentligt.

Rådet har i ett yttrande till regeringen [16] lyft att det är viktigt att SKB redogör för hur det nu pågående försöket S3, som är en del av LOT-försöken, ska avslutas, analyseras och redovisas.

Kärnavfallsrådet har föreslagit att regeringen ställer som villkor i samband med dess beslut om tillåtlighet för driften av ett slutförvar för använt kärnbränsle, att SKB gör nya försök för att specifikt studera kopparkorrosionen under slutförvarsförhållanden. Dessa försök bör göras med den typ av koppar som avses att användas i slutförvaret. Försöken kan exempelvis utföras i en demonstrationsanläggning i anslutning till ett slutförvar för använt kärnbränsle. I regeringens beslut från 27 januari 2022, fastslogs att: ”forskning om bl.a. kopparkapselns robusthet och gjutjärnsinsatsen måste fortsätta att bedrivas” [37a] Inget särskilt villkor formulerades, i stället hänvisades till att SKB i kommande Fud-program och den stegvisa prövningen behöver redovisa de kvarvarande resultaten från LOT-försöken, göra nya säkerhetsanalyser och även bedriva ytterligare forskning om kopparkorrosion. Samtidigt är det tydligt i beslutet att den fortsatta forskningen ”syftar främst till att optimera KBS-3-metoden”. [37b]

3.3.2 Sekelperspektivet – minst 70 års anläggningstid

Exemplet med LOT-försöket visar att de frågeställningar som är i fokus kan förändras under bara 20 år. Nu när regeringen gett klar-tecken för uppförande och drift av slutförvaret enligt miljöbalken och kärntekniklagen väntar minst 70 år (enligt SKB:s planering) av forskning, testning, byggande och drift innan förvaret är klart och kan förslutas. Innan förslutning måste dock tillståndshavaren för slutförvaret ansöka om ett nytt tillstånd från regeringen. [38a] Där-efter ska staten ta över ansvaret (för bl.a. kärnämneskontroll och fysiskt skydd) och projektet kommer sannolikt att ta mer än ett sekel att utföra.

I sitt yttrande till regeringen 2018 tar Mark- och miljödomstolen vid Nacka tingsrätt (mark- och miljödomstolen) upp ett tidsper-spektiv på 70 år (den tid som SKB anser behövs), som de kallar an-läggningstiden och som ”parterna inte ägnat så mycket uppmärksam-het”. [19a]

Kärnavfallsrådet har särskilt pekat på behovet av att ge sekelperspektivet noggrann uppmärksamhet. Rådet noterade t.ex. i sitt ytt-rande över SKB:s forskningsprogram Fud 2019 [20,21] (Fud står för forskning, utveckling och demonstration) att programmet saknade en diskussion om flexibilitet och bästa möjliga teknik. Det fanns ingen redovisning över hur SKB planerar att följa upp forskning och ta till sig forskningsresultat från internationell forskning under den tid det tar att bygga, driva förvaret och försluta förvaret – minst 70 år. [21a] Rådet har också lyft sekelperspektivet i andra samman-hang, inte minst att det finns flera utmaningar med verksamhets-utövarens (SKB) organisation, det krävs kompetensförsörjning och att finansieringen behöver vara tillräcklig. Dessutom anser rådet att SKB bör forska om hur oförutsägbara samhällsförändringar som ekonomiska, politiska och sociala omvärldsförändringar kan påverka slutförvarsprojektet. (Se exempelvis [10, 21, 22, 23]). Att ha bered-skap för överraskningar, förändringar som är oväntade, är viktigt eftersom alla prognoser och planer för framtiden av nödvändighet är felbara.

Mark- och miljödomstolen anser dessutom att: ”Det bör övervä-gas om den långa tiden för att bygga slutförvaret gör det motiverat att ställa särskilda krav på verksamheten”, till exempel genom ett

”kontrollprogram som särskilt beaktar den långa byggnadstiden”.
[19b]

Mark- och miljödomstolen och Strålsäkerhetsmyndigheten (SSM) har viktiga roller i den fortsatta processen genom att kunna ställa villkor. Domstolen kan också bedöma om det behövs provotid för en fråga, dvs. om den behöver utredas mer innan villkoren kan fastställas.

3.3.3 Processen det kommande seklet – vad vet vi?

Om vi blickar tillbaka hundra år kan vi se att mycket har hänt. Det är därför ganska sannolikt att det kommer att hända saker – nya forskningsresultat, utvecklad teknik, ett förändrat klimat, eller ny lagstiftning – som innebär omförhandlingar av betydelsen och meningen hos tidigare bedömningar av vetenskap och teknik. Sekelperspektivet påminner oss om att det är viktigt att erkänna att vetenskapens och teknikens roll inte är en gång för alla given utan att det finns en *tolkningsflexibilitet*. Det är därför logiskt och klokt att även fortsatta planerings- och forskningsprocesser tar hänsyn till att sådana förändringar också kommer att ske.

Frågor

I nuläget finns det många frågor kring hur den fortsatta processen ser ut. En fråga är vilka aktörer som ska ges insyn. Detta är en fråga om vilka samhällsliga och demokratiska värden vi vill att en eventuellt fortsatt process baserad på KBS-3-metoden ska innehålla. I hur stor utsträckning litar vi på att experter kan hantera den kommande processen och i hur stor utsträckning behövs offentlig insyn? Och vilken utvecklings- och forskningsprocess gör att vi känner oss trygga med att delegera förvaret av det använda kärnbränslet till KBS-3-metoden? Hur kan en process för de kommande 70 åren, nu efter ett regeringens beslut om tillåtlighet och tillstånd, bygga in en ödmjukhet inför att kommande ny teknisk kunskap eller utveckling ställer hela eller delar av KBS-3 metoden på ända? Är det av vikt att ha en bredd av kompetenser i den kommande processen, utöver teknik och naturvetenskap som t.ex. etik, beslutsfattande och riskhantering?

Regleringen är i dag inte helt tydlig när det gäller hur den fortsatta processen ser ut efter beslutet om tillstånd och tillåtlighet för ansökningarna om slutförvaring av det använda kärnbränslet. Det gäller exempelvis vad som ingår i en stegvis prövning enligt kärntekniklagen. [24]

Vi vet dock att det återstår dels konkretiseringar, dels ytterligare villkor för det fortsatta praktiska arbetet för SKB med forskning, planering, uppförande, drift och förslutning. Återstående villkor ska ställas utifrån två olika lagar – av mark- och miljödomstolen enligt miljöbalken och av SSM enligt kärntekniklagen. I sitt beslut 2022 om tillåtlighet enligt miljöbalken bedömde regeringen att de villkorsförslag som formulerats (av SKB och i mark- och miljödomstolens yttrande), kan hanteras av mark- och miljödomstolen i den fortsatta tillståndsprocessen. [37a]

Hur processen med villkor enligt lagarna ser ut:

Miljöbalken

- Regeringen prövar om tillåtlighet och kan då besluta om särskilda villkor för att tillgodose allmänna intressen (tillåtlig-hetsvillkor) 17 kap. 7 § MB.
- Mark- och miljödomstolen ger tillstånd och förenar tillståndet med villkor.

Kärntekniklagen

- Regeringen beslutar om tillstånd och villkor för tillståndet.
- Strålsäkerhetsmyndigheten beslutar om eventuella ytterligare villkor enligt kärntekniklagen respektive strålskyddslagen, samt prövar enligt regeringens tillståndsvillkor.

Nedan tar vi närmare upp några frågor om den fortsatta processen utifrån sekelperspektivet och i relation till deltagande och fortsatta forskningsprogram.

Deltagande

Frågan om deltagande är viktig för varje sociotekniskt system. Ofta förstås deltagande som något som är externt i förhållande till ett tekniskt system, det som vi ovan beskrivit som separering mellan det tekniska och det sociala. Men deltagande bör snarare förstås som något som aktivt utvecklar det sociotekniska systemet. Genom insyn och granskning av fler aktörer kan nya frågor väckas, konflikter kan uppstå och tilliten till systemet kan testas. Det är viktiga processer i demokratiska samhällen, men också i processer som syftar till att skapa goda kunskapsunderlag.

Det är helt klart att SKB, som utförare och SSM, som granskande myndighet, kommer att ha tydliga roller. Processen är därför delvis transparent eftersom myndigheters handlingar är offentliga. Men transparensen är också begränsad, delvis på grund av att SKB är ett företag. SKB har dessutom ambitionen att sälja sin kompetens genom SKB International till andra länder som vill ha stöd i sitt arbete kring slutförvaring. Det kan också vara svårt att få inblick i hur interaktionen mellan SKB och SSM ser ut och vilka avvägningar som görs under processens gång. Det finns en risk att sociala dimensioner döljs och att processen framställs som mer teknisk än den är, om det inte finns öppna forum där det finns krav på att formulera tekniska detaljer på ett lättillgängligt sätt och utifrån en tydlig kontext (t.ex. avvägningar mellan sociala värden, lagkrav eller hur forskningsresurser ska användas).

Nedan beskrivs vad som framgått om deltagande fram till och med regeringens beslut 2022 i de två juridiskt separata processerna enligt miljöbalken och enligt kärntekniklagen.

Miljöbalken deltagande

SKB har haft konkreta men begränsade förslag på villkor [26] hur deltagande av olika aktörer kan ingå i den fortsatta processen enligt miljöbalken:

- Ett villkorsförslag från SKB är att SKB under tillståndstiden, minst en gång per år, ska träffa Östhammars och Oskarshamns kommun och behöriga tillsynsmyndigheter, samt myndigheter och organi-

sationer som kommunen kan föreslå. De ska då avhandla lokala miljöfrågor utifrån miljöbalken.

- Ett annat villkorsförslag från SKB är att SKB under tiden fram till förslutning av slutförvaret ska göra omvärldsbevakning som redovisas minst vart femte år till regeringen, Östhammars kommun och berörda tillsynsmyndigheter. Omvärldsbevakningen ska enligt SKB:s förslag fokusera på informationsbevarande och övervakning av slutförvaret.

Mark- och miljödomstolen lyfter fram vikten av ett brett deltagande, i sitt yttrande till regeringen 2018:

... miljöorganisationers och enskildas deltagande i målet har varit viktigt för att belysa frågan om tillåtlighet på ett allsidigt sätt. Vid den fortsatta prövningen behövs en diskussion om hur miljöorganisationer och enskilda kan ges en möjlighet till fortsatt information om och deltagande i miljöprocessen. [19b]

I regeringens beslut enligt miljöbalken, från januari 2022, anser regeringen att god kommunikation och insyn från Östhammars och Oskarhamns kommuner är väsentlig, men att det räcker med SKB:s första villkorsförslag ovan.²

Efter regeringens beslut har mark- och miljödomstolen möjlighet att formulera ytterligare krav/villkor enligt miljöbalken.

Kärntekniklagen deltagande

Det finns i dag ingen tydlig reglering av deltagande enligt kärntekniklagen, vilket förslaget i betänkandet om en ny kärntekniklag visar. Där står det att utredningen bedömer att den stegvisa prövningens skeden behöver förenas med bestämmelser som medger insyn och möjlighet till påverkan.

... det bör finnas en tydligare kravbild mot vilken prövningen ska ske samt hur samråd med allmänhet och övriga intressenter ska utformas. [27]

SKB har inte haft några förslag på villkor för deltagande enligt kärntekniklagen.

² Se även kapitel 2.

I regeringens beslut om deltagande enligt miljöbalken, som beskrivits ovan, ska SKB lämna information om lokala frågor (t.ex. grundvattensänkning och skyddade arter) till Östhammars och Oskarshamns kommun. Men i beslutet enligt kärntekniklagen menar regeringen att det allmänna intresset och Östhammars kommuns önskan om att vara en aktiv part i den stegvisa prövningen inte behöver regleras i tillståndet enligt kärntekniklagen. I stället tar Strålsäkerhetsmyndigheten på sig att säkerställa att Östhammars kommuns ”insyn kan genomföras på ett tillfredsställande sätt”. [38b]

SSM behöver således förtydliga hur insyn och deltagande i den fortsatta processen enligt kärntekniklagen ska gå till i bl.a. för stegvisa prövningar med uppdaterade säkerhetsredovisningar och i helhetsbedömningar³ därefter

Finansiering av deltagande

Det är inte bara reglering för deltagande som behöver ses över, utan även frågor som rör finansieringen av deltagande för olika aktörer. Rådet har lyft att finansieringen bör ses över i syfte att möjliggöra för kommuner och miljöorganisationer att delta i processen både när det gäller miljöbalken och kärntekniklagen även om en verksamhet får tillstånd. [28] En utredning tillsattes 2021 med målet att se över möjligheten till en långsiktig finansiering av kommuners och ideella organisationers medverkan i frågor om prövning av ett slutförvar för använt kärnbränsle och radioaktivt avfall, samt för övrigt arbete med att följa kärnavfallsfrågan. [29]

Brett deltagande i den fortsatta processen efterfrågas

Efter att regeringen 27 januari 2022, gett tillstånd återstår fortfarande viktig utveckling och forskning som del av den fortsatta processen för slutförvaret. Dessutom behövs insyn i arbetet med implementeringen av förvaret. Rådet anser därför att det finns all anledning att fortsätta med insyn och öppenhet för att åstadkomma bra kvalitet på underlag och beslut. Århuskonventionen betonar att människors

³ I kärntekniklagen finns i dag krav på helhetsbedömningar som specificeras i förordningar och föreskrifter. Minst vart tionde år ska tillståndshavaren göra en samlad analys och helhetsbedömning av anläggningens säkerhet och strålskydd. Se mer [24].

kunskap och expertis kan bidra till att förbättra kvaliteten på miljöbeslut.

Flera aktörer har pekat på vikten av ett brett fortsatt deltagande även efter ett tillstånd (se t. ex. ovan mark- och miljödomstolen och Kärntekniklagsutredningen). Den internationella gruppen från *Organisationen för ekonomiskt samarbete och utveckling* (OECD)/Nuclear energy agency (NEA) som granskade SKB:s säkerhetsanalys, SR-Site, skrev också om deltagande, och menade att SKB bör hålla berörda kommuner, och nationella intressegrupper, involverade, under alla stadier av projektet. [25a]

Det finns heller ännu inte ekonomiska resurser säkrade för andra aktörers deltagande och det finns heller inga självklara fora för ett brett deltagande. Det är dock positivt att arbetet med Fud-programmen fortsätter med möjlighet till insyn enligt den hittillsvarande modellen.

Rådet anser att det behövs ett bredare och mer aktivt deltagande och har föreslagit att det genom regleringsbrev eller dylikt bör bildas en brett sammansatt grupp som får i uppgift att behandla frågor både enligt miljöbalken och kärntekniklagen. [30, 31]

Rådet har också lyft att det bör regleras att berörda ska involveras i den stegvisa prövningen, helhetsbedömningar och Fud-program.

Forskningsprogram

Vart tredje år redovisar SKB sina planer för fortsatt forskning och teknikutveckling i ett särskilt Forskningsprogram (Fud). Fud-programmen har tagits fram av SKB sedan 1986 och har under alla år granskats av berörda aktörer och godkänts av regeringen. Denna formella process av granskning och svar har hållit frågor levande och skapar en demokratisk process som har säkerheten i SKB:s slutförvar i fokus.

Kärnavfallsrådet framhåller att: ”Forskning och utveckling är en pågående process, som inte endast ger ny kunskap, utan också ger upphov till nya frågor. Tidigare vedertagen kunskap omprövas och nya tekniska lösningar utvecklas.” Vidare påpekar rådet att principen om bästa möjliga teknik är grundläggande i miljöbalken och ett begrepp som också är inriktat på framtiden. [21b]

Kärnavfallsrådet har under flera år lyft att det är viktigt att forskning, utveckling och demonstrationsprogram i enlighet med kärntekniklagen fortsätter för ett slutförvar för använt kärnbränsle även efter tillstånd. SKB skriver i ett yttrande 2021 att Kärnavfallsrådets önskan vid behov kan tillgodoses genom ett regeringsvillkor (enligt miljöbalken) som kopplar till relevant forskning inom ramen för Fud-processen. [32] I regeringsbeslutet från 2022 slås fast att fortsatt forskning behövs, men inga särskilda villkor om detta formulerades eftersom en stegvis prövning väntar och då Fud-processen förväntas fortskrida även efter beslutet om tillåtlighet enligt miljöbalken och tillstånd enligt kärntekniklagen.

Kärnavfallsrådet har i yttrandet över Fud 2019 även starkt lyft fram betydelsen av öppenhet, insyn och allsidighet i SKB:s forskning eftersom det ytterst bidrar till slutförvarets långsiktiga säkerhet. Olika remissinstansers synpunkter och svar från SKB bidrar till att förbättra SKB:s forsknings- och utvecklingsarbete. Remissinstanserna från olika samhällssektorer kan lyfta perspektiv och frågor som är viktiga för projektens genomförande, och inte minst uppmärksamma frågor av bredare samhällsrelevans. [21c]

Deltagande och insyn bidrar dessutom till en dokumentation för framtiden – som visar vilka kritiska frågor som lyfts av olika samhällsaktörer. Det skapar ett samhälleligt minne av betydelse för framtida generationer när det gäller det radioaktiva avfallet.

Den breda insyn och deltagande som Fud-processen hittills tillåtit, behövs alltså även i framtiden.

3.3.4 Den långsiktiga säkerheten – 100 000 år

Det beslut som fattats 2022 av regeringen är att tillåta uppförande och drift av det förslag till teknisk lösning som SKB utvecklat, dvs. KBS-3-metoden. I vågskålen för beslutet fanns många frågor och perspektiv av såväl teknisk som social natur.

Det är ett beslut under osäkerhet med tanke på att det finns en grundläggande ovisshet om framtiden då tekniken behöver innesluta det radioaktiva avfallet. Ett förvar ska vara ”säkert” i upp till en miljon år, och minst under 100 000 år vilket är den tid det tar innan avfallet motsvarar strålningsnivåerna i det naturliga uranmalm som använts för att tillverka bränslet.

En viktig fråga för framtida säkerhet och samhällen är det samhälleliga minnet. Hur kan den tekniska informationen och kunskapen om slutförvaret som är utvecklad i vår tid, ”färdas” genom tiden för att vara förståelig för människor och samhällen i framtiden? En framtid som med stor sannolikhet har förändrats när det gäller språk, kultur, teknik, vetenskaplig kunskap, regler och styrning. Detta är en fråga där såväl tekniska (t.ex. tidskapslar) som sociala lösningar diskuteras (återkommande event, monument etc.).

En stor fråga för den långsiktiga säkerheten är de s.k. säkerhetsanalyserna som SKB genomför. Det går inte att veta på grundval av tidigare erfarenheter att ett slutförvar kan isolera avfallet från mänskliga och miljö under så lång tid, och det går inte att kontrollera i efterhand. I stället görs olika säkerhetsanalyser för att bedöma säkerheten. I en säkerhetsanalys görs av nödvändighet en hel del teoretiska antaganden (om miljöändelser, mänskliga intrång m.fl.) och den bygger på modeller som är förenklingar av verkligheten. Säkerhetsanalyserna ingår i säkerhetsredovisningar som ska uppdateras och godkännas av SSM inför uppförande, provdrift och rutinmässig drift i en s.k. stegvis provning enligt kärntekniklagen.

Ett sätt att följa upp sociotekniska antagandena som gjorts i en säkerhetsanalys är att använda övervakningsprogram när ett slutförvar byggs och drivs, åtminstone fram till slutlig förslutning av ett förvar. Ett övervakningsprogram kan vara utformat så att information om pågående processer i berget samlas in, till exempel dess mekaniska och termiska beteende, eller att hydrologi, observeras, samt att de tekniska barriärerna studeras, såsom bentonitleran och kopparkapslarna. Övervakningsprogram utarbetas i ett flertal länder, bland annat i Frankrike och Finland (Läs mer på [33]). Dessutom, på begäran av det franska parlamentet, har Andra, den myndighet i Frankrike som har till uppdrag att hantera slutförvar för det använda högaktiva avfallet, utvecklat ett slutförvarsprojekt som innebär att avfallet är återtagbart. [34] SKB planerade inte för övervakning i sin ansökan från 2011, men företaget har under tillståndsprocessens gång ändrat inställning. I SKB:s Fud-program 2019 finns ett eget avsnitt om övervakning där det beskrivs att övervakningen kommer att bidra till att verifiera SKB:s förståelse för förvarets utveckling, stödja antaganden gjorda i analysen av säkerhet efter förslutning samt att identifiera eventuella tidigare okända processer och händelser. [20a]

Däremot beskrivs inte hur olika intressenter kan involveras i utformningen av ett övervakningsprogram.

Den internationella gruppen från OECD/NEA lyfter i sin granskning att SKB bör utarbeta ett omfattande test- och övervakningsprogram för att bekräfta att det föreslagna förvaret fungerar som planerat. Gruppen anser att programmet bör fortsätta till slutlig förslutning och att det är en fråga om tillsynsmyndighetens och allmänhetens förtroende. Dessutom anser gruppen att SKB behöver visa att företaget är tillräckligt öppet för att samla in nya data nere på förvarsdjup, även om sådana uppgifter skulle kunna motsäga befintliga modeller och resultat från de tester som gjorts hittills från ytan under många år. [25b] Regeringen ställer inga villkor om övervakningsprogram i sitt beslut från 2022, men sådana villkor kan formuleras av mark- och miljödomstolen och av SSM.

Sociotekniska utmaningar i det långa tidsperspektivet

Hur kan vi förstå sociotekniska utmaningar i relation till det långa tidsperspektivet? Jasanoff [8a] beskriver att på områden där det finns stora osäkerheter har olika metoder för förutsägelser utformats, till exempel riskbedömningar. SKB:s riskanalyser och antaganden om "värsta tänkbara scenarios" kan räknas in i det som Jasanoff kallar för teknologier för förutsägelser. Enligt Jasanoff finns tre betydande begränsningar med dessa metoder: 1) de fokuserar på det kända på bekostnad av det okända och visar inte alltid den osäkerhet och tvekyldighet som finns. 2) de kan vara svåra för icke-expertter att förstå och därför också svåra att kritisera och öppet debattera, och 3) de kan inte uppmärksamma utmaningar som uppstår utanför deras egna ramar (t.ex. andra parametrar och variabler än de som är inkluderade i modellerna). Jasanoff menar att det också behövs teknologier för eftertanke som erkänner att antaganden kan vara felaktiga, och som är mer öppna för att omvärdera de frågor som ställs och vilken kunskap som därmed behöver inkluderas. Jasanoffs begrepp kring teknologier för eftertanke går inte att summera i en enkel metod, utan innebär snarare en insikt om komplexiteten i sociotekniska system, behovet av öppenhet och beredskap att ändra de initiala antagandena och en vilja att kontinuerligt inkludera mer kunskap som eventuellt kan ställa det vi håller för sant på ända. Övervakningsprogrammen kan

vara en del av ett sådant system som är flexibelt, erkänner socio-teknisk komplexitet och som är öppet för att de initiala antagandena kan behöva revideras eller till och med kullkastas.

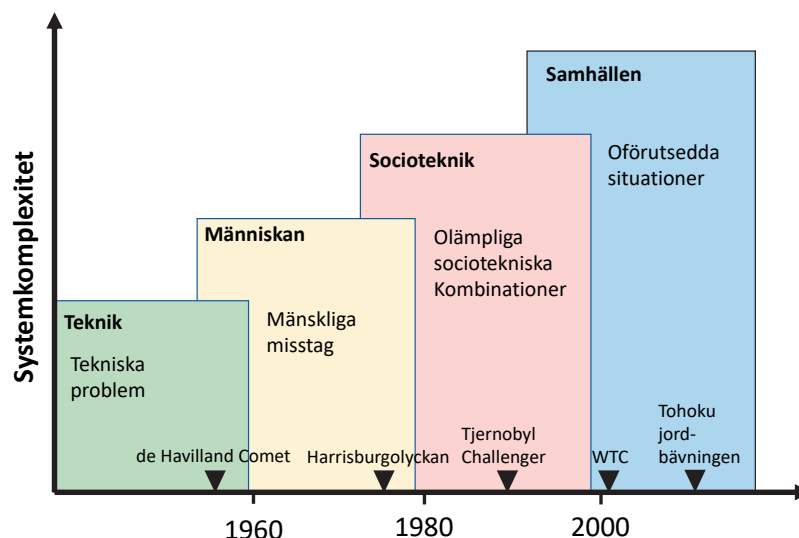
3.4 Att hålla framtidens utmaningar för slutförvaret närvarande i nuet

Sociotekniska perspektiv är av praktisk betydelse

All teknik utvecklas i ett specifikt historiskt och socialt sammanhang och ett slutförvar är inte en isolerad artefakt tillverkad av experter – utan bygger på komplexa sammansättningar av ting, människor, organisationer, standarder, och infrastrukturer (ett sociotekniskt system). Oavsett hur långa tidsperspektiv det rör sig om – 20, 100 eller 100 000 år – så kommer det att finnas sociotekniska utmaningar för slutförvaret. Forskning inom STS har tydligt visat detta. Även forskning som utvärderat olyckor har visat att det är de sociala delarna av tekniska system i kombination med de tekniska som varit orsaken i flera fall. Det gäller t.ex. i relation till Fukushima Daichii-olyckan. [35]

Som en insikt om att komplexa sociotekniska system har fallerat och att oväntade olyckor uppstått så finns en diskussion om hur risker tagits hand om historiskt och vad som behövs i framtiden. Historiskt ses en utveckling från att se tekniska misslyckanden som just tekniska, dvs. när systemen inte var så komplicerade (se figur 3.1). I takt med systemens ökade komplexitet har även den mänskliga faktorn setts som en orsak. Sedan konstaterades även att dåligt fungerande sociotekniska samspel kunde orsaka olyckor (t.ex. Chernobyl-olyckan) och tanken om säkerhetskultur introducerades. I dag diskuteras hur ingenjörer och tekniska system kan skapas som kan återhämta sig från oväntade händelser som t.ex. terroristattacker och jordbävningar. Vi behöver i dag nya synsätt på socio-tekniska system som hanterar risker inom och bortom det sociotekniska systemet. [36]

Figur 3.1 Förändringar i synen på vad som orsakar olyckor och fel i komplexa sociotekniska system



Anm: Figuren är fritt omgjord efter [36a].

De sociotekniska perspektiven är därför av stor praktisk betydelse och behöver medvetet uppmärksammas i den fortsatta slutförvarsprocessen.

Det sociotekniska ur ett svenskt perspektiv – slutsatser

Det är viktigt att i det fortsatta arbetet uppmärksamma komplexiteten i ett sociotekniskt system och att slutförvarsprojektet inte presenteras som mer tekniskt än vad det egentligen är. Fler perspektiv och en medvetenhet om att det handlar om ett komplext sociotekniskt projekt innebär att strategierna för att hantera utmaningarna blir mer adekvata.

- Den senaste kunskapen eller utvecklingen är sällan den enda och slutgiltiga lösningen. Problemuppfattningar förändras över tid och det är viktigt att ha beredskap för att ändra de initiala antagandena. Det kan också finnas grundläggande ovissheter. Därför är forskningsprogram viktiga under hela tiden fram till slutlig förslutning.

- Rådet har vid flera tillfällen i sina yttranden understrukt slutförvarsprocessens karaktär av att inte endast vara forskningsberoende utan också ha karaktären av ett långsiktigt projekt, dvs. med ”ett sekel av utmaningar.” Detta medför att särskild vikt måste fästas vid den vetenskapliga forskningsprocessens dynamiska och svåröversägliga karaktär. Ett sätt att följa upp sociotekniska antagandena som gjorts i en säkerhetsanalys är att använda övervakningsprogram åtminstone under den tid ett slutförvar byggs.
- Hur styrning av de fortsatta processerna kommer att se ut efter regeringens beslut i januari 2022, med vilken insyn och med vilken möjlighet till brett deltagande, behöver klargöras. Det är nödvändigt att skapa förutsättningar för långsiktiga styrningsprocesser som möjliggör demokratiskt beslutsfattande och transparenta processer över flera generationer.
- Det är viktigt att behålla transparens och flexibilitet genom hela projektet. Öppna processer med insyn så att information om vilka avvägningar som gjorts finns kvar kan också ses som ett sätt att ta ansvar för framtida generationer. Frågan om informationsbevarande blir därmed beroende av ett ständigt underhåll, snarare än en slutgiltig lösning som vi kan tänka ut här och i dag.

Referenser

1. Rip, A., & Kemp, R. (1998). “Technological change.”, s. 330 I S. Rayner, & E. L. Malone (Red.). *Human choice and climate change: Vol. II, Resources and Technology* (s. 327–399). Battelle Press.
2. Bergmans, Anne, Sundqvist, Göran, Kos, Drago & Simmons, Peter (2015) “The Participatory Turn in Radioactive Waste Management: Deliberation and the Social-Technical Divide”. *Journal of Risk Research* 18(3): 347–363.
2a, se s. 351.
3. Jasanoff, Sheila. 2016. *The Ethics of Invention. Technology and the Human Future*, s. 22 f. W. W. Norton & Company: New York & London.

4. Kärnavfallsrådet. 2018. SOU 2018:8 *Kunskapsläget på kärnavfallsområdet 2018. Beslut under osäkerhet*, s. 17 ff. Stockholm: Norstedts Juridik.
5. Hess, D.J. & Sovacool, B.K. 2020. "Sociotechnical matters: Reviewing and integrating science and technology studies with energy social science." *Energy Research & Social Science* 65(2020)101462. 5a, se s. 3.
6. Latour, Bruno. 1993. *We Have Never Been Modern*, Cambridge: Harvard University Press.
7. Jasanoff, Sheila. 2004. "Ordering Knowledge, Ordering Society", kapitel i Jasanoff (red.) *States of Knowledge: The Co-Production of Science and Social Order*. London: Routledge, s. 13–45.
8. Jasanoff, Sheila. 2003. "Technologies of Humility: Citizen Participation in Governing Science". *Minerva* vol. 41, s. 223–244.
9. Kallenbach-Herbert, Beate, Brohmann, Bettina, Simmons, Peter, Bergmans, Anne, Barthe, Yannick, and Martell, Meritxell. 2014. "Addressing the Long-Term Management of High-level and Long-lived Nuclear Wastes as a Socio-Technical Problem": Tillgänglig på InSOTEC:s webbplats: <https://sites.google.com/a/insotec.eu/insotec/home> (hämtad 2022-02-02).
10. Kärnavfallsrådet. 2017. SOU 2017:8 *Kunskapsläget på kärnavfallsområdet 2017. Kärnavfallet – en fråga i ständig förändring*. Wolters Kluwers. 10a, se s. 35 ff.
11. Söderberg, O., 2010. *Utvecklingen av KBS-3-metoden. Genomgång av forskningsprogram, säkerhetsanalyser, myndighetsgranskningar samt SKB:s internationella forskningssamarbete*. SKB, R-10-40. Stockholm.
12. Kaiserfeld, T. and Kaijser, A., 2020. "Changing the system culture: Mobilizing social sciences in the Swedish nuclear waste system." *Nuclear Technology*. DOI: <https://doi.org/10.1080/00295450.2020.1832815>.
13. Miljöbalken (1998:808).
14. Lagen (1984:3) om kärnteknisk verksamhet.

15. SKB TR-20-14. 2020. *Corrosion of copper after 20 years exposure in the bentonite field tests LOT S2 and A3*, s. 12 ff. Stockholm: Svensk Kärnbränslehantering AB.
16. Se ytterligare synpunkter på LOT-försöken i: Kärnavfallsrådet. Yttrande 2021-10-21. *Kärnavfallsrådets svar på Remiss angående kopparkorrosion och gjutjärn när det gäller Ärenden om tillåtlighet enligt miljöbalken och tillstånd enligt lagen om kärnteknisk verksamhet till anläggningar i ett sammanhängande system för slutförvaring av använt kärnbränsle och kärnavfall*. Komm2021/00855/M 1992:A.
17. SKB. Information om LOT-försöket. Tillgänglig på: <https://skb.se/nyheter/langtidsforsok-lyft-efter-20-ar/> (hämtad 2022-02-02).
18. Naturskyddsföreningen m.fl. Yttrande 2021-11-04. *Yttrande från Naturskyddsföreningen, Jordens Vänner och Miljöorganisationernas kärnavfallsgranskning om vikten av att kopparkorrosionsresultat från LOT-försöket utnyttjas maximalt innan ett beslut om tillåtlighet tas i regeringens prövning av kärnbränsleförvarsansökan enligt miljöbalken (M2018-00217/Me) och kärntekniklagen (M2018/00221/Ke)*.
19. Mark- och miljödomstolen vid Nacka tingsrätt. 2018. Yttrande 2018-01-23. Mål nr M 1333-11. Aktbilaga 842. Stockholm. 19a, se s. 187. 19b, se s. 195.
20. SKB. 2019. *Fud-program 2019. Program för forskning, utveckling och demonstration av metoder för hantering och slutförvaring av kärnavfall*. Stockholm: Svensk Kärnbränslehantering AB. 20a, se avsnitt 4.10.
21. Kärnavfallsrådet. 2020. SOU 2020:39 *Kärnavfallsrådets yttrande över SKB:s Fud-program 2019*. Stockholm. Norstedts Juridik 21a, se avsnitt ”Kommentarer til Fud-avsnitt 3.7”. 21b, se s. 52 f. 21c, se s. 10 ff.
22. Kärnavfallsrådet. 2005. SOU 2005:47 *Kärnavfall – barriärerna, biosfären och samhället. KASAM:s yttrande över SKB:s FUD-program 2004*. Kärnavfallsrådet. Stockholm: Fritzes.

23. Kärnavfallsrådet. 2014. SOU 2014:42 *Kärnavfallsrådets yttrande över SKB:s Fud-program 2013*. Kärnavfallsrådet. Stockholm: Fritzes.
24. Kärnavfallsrådet. 2020. SOU 2020:9 *Kunskapsläget på kärnavfallsområdet 2020. Steg för steg. Var står vi? Vart går vi?*, kap. 3. Stockholm: Norstedts Juridik.
25. OECD/NEA. 2012. The Post-Closure Radiological Safety Case for a Spent Fuel Repository in Sweden: An International Peer Review of the SKB License-Application Study of March 2011 (Final Report). Tillgänglig på: www.oecd-nea.org/jcms/pl_19184 (hämtad 2022-02-02). 25a, se s. 38, 109. 25b, se avsnitt 3.8.1 och 4.8.
26. SKB. Yttrande 2019-12-18. YTTRANDE M2018-00217/Me; *Svensk Kärnbränslehantering AB, angående ansökan om tillstånd enligt miljöbalken till anläggningar i ett sammanhängande system för slutförvaring av använt kärnbränsle och kärnavfall. "Bilaga SKB:s förslag till villkor enligt 17 kap. 7 § miljöbalken"*. Se Förslag till villkor 6, 21, 22.
27. Kärntekniklagutredningen. 2019. SOU 2019:16 *Ny kärntekniklag – med förtydligat ansvar*, s. 202. Norstedts Juridik: Stockholm.
28. Kärnavfallsrådet. Yttrande 2020-08-24. Ert Dnr RG 2019/717 *Kärnavfallsrådets remissvar angående Riksgäldens förslag på kärnavfallsavgifter, finansieringsbelopp och kompletteringsbelopp för 2021*, s. 10 f. Komm2020/00471/M 1992:A.
29. Miljödepartementet. 2021-06-22 M2021/01270. Utredning om en långsiktig finansiering för kommuner och ideella miljöorganisationers medverkan i frågor om slutförvar (M 2021:B) och Uppdrag att utreda långsiktig finansiering för kommuners och ideella miljöorganisationers medverkan i frågor om slutförvar.
30. Kärnavfallsrådet. Yttrande 2020-06-17. *Kärnavfallsrådets yttrande angående Komplettering i regeringens ärenden angående Svensk Kärnbränslehantering AB:s ansökningar om tillstånd till anläggningar i ett sammanhängande system för slutförvaring av använt kärnbränsle och kärnavfall*. Komm2020/00396/M 1992:A.

31. Kärnavfallsrådet. Yttrande 2019-09-13. *Kärnavfallsrådets remissvar angående Svensk kärnbränslehantering AB:s kompletterande yttranden, dels i ärendet om tillåtlighetsprövning enligt 17 kap. miljöbalken, dels enligt Lagen (1984:3) om kärnteknisk verksamhet*. Komm2019/00605/M 1992:A.
32. SKB. Yttrande 21-11-10. M2018/00217 och M2018/00221; *Svensk Kärnbränslehantering AB, angående ansökan om tillstånd enligt miljöbalken respektive kärntekniklagen till anläggningar i ett sammanhängande system för slutförvaring av använt kärnbränsle och kärnavfall*; – remiss om gjutjärnsinsats m.m.
33. Modern 2020. Ett EU-projekt om övervakning 2015–2019. The Development and Demonstration of Monitoring Strategies and Technologies for Geological Disposal. Läs mer på: www.modern2020.eu/ (hämtad 2022-02-02).
34. Andra. 2016. "Position Paper on Reversibility": https://international.andra.fr/sites/international/files/2019-03/reversibility_paper.pdf (hämtad 2022-02-02).
35. Matsumoto, M. 2015. "The "Structural Disaster" of the Science-Technology-Society Interface. From a Comparative Perspective with Prewar Accident.", s. 211. In: Ahn; J., Carson, C., Jensen, M., Juraku, K., Nagasaki, S. and Tanaka, S. (Eds.), 2015. *Reflections on the Fukushima Daiichi Nuclear Accident. Toward Social-Scientific Literacy and Engineering Resilience*. Springer Open.
36. Furuta, K., 2015. "Resilience Engineering. A New Horizon om Systems Safety.", s. 435–439. In: Ahn; J., Carson, C., Jensen, M., Juraku, K., Nagasaki, S. and Tanaka, S. (Eds.), 2015. *Reflections on the Fukushima Daiichi Nuclear Accident. Toward Social-Scientific Literacy and Engineering Resilience*. Springer Open. 36a, efter Furuta 2015, s. 436.
37. Regeringsbeslut. Miljödepartementet. 2022-01-27. Tillåtlighetsprövning enligt 17 kap. miljöbalken av anläggningar i ett sammanhängande system för slutförvaring av använt kärnbränsle. M2018/00217, M2017/02796, M2021/00969. 37a, se s. 31. 37b, se s. 30.

38. Regeringsbeslut. Miljödepartementet. 2022-01-27. Tillstånd enligt lagen (1984:3) om kärntekniska verksamhet till anläggningar i ett sammanhängande system för slutförvaring av använt kärnbränsle M2018/00221.
38a, se s 33. 38b, se s. 28.

4 Århuskonventionen och allmänhetens deltagande i beslutsprocesser som rör slutförvaret för använt kärnbränsle

4.1 Inledning

Det föregående kapitlet beskriver att projektet slutförvar för använt kärnbränsle är sociotekniskt och lyfter bland annat fram att deltagande är viktigt i en implementeringsprocess. I detta kapitel beskrivs Århuskonventionen som är en grund när det gäller deltagande i miljörättsliga frågor. Århuskonventionen förhandlades fram inom ramen för FN:s ekonomiska kommission för Europa (UNECE) och trädde i kraft 2001. Det är en ny typ av miljökonvention eftersom den kopplar samman skyddet av mänskliga rättigheter med skyddet av miljön på ett sätt som inte gjorts innan. Konventionen är rättsligt bindande för de nationer som undertecknat den.

Århuskonventionen inriktar sig mot allmänhetens och särskilt miljöorganisationers:

- rätt till information om miljön
- rätt till deltagande i beslutsprocesser om miljön
- rätt att agera rättslig i prövning av miljöfrågor.

Konventionen syftar på förvaltningsbeslut, dvs. ett uttalande från en myndighet, avsett att verka bestämmande för förvaltningsorgan eller enskildas handlande och därigenom vara handlingsdirigerande. Det kan vara fråga om tillstånd att utföra en viss åtgärd eller ett förbud.

Det är således ”utövning av befogenhet att för enskild bestämma om förmån, rättighet, skyldighet, disciplinär bestraffning eller annat jämförbart förhållande” som räknas som myndighetsutövning. [1] Annat som myndigheten ägnar sig åt räknas inte in i myndighetsutövningen, exempelvis avtal eller affärsmässig verksamhet.

Myndighetsutövning kan bestå av både gynnande och betungande beslut. Den enskilde kan inte överklaga ett gynnande beslut, utan endast beslut som formellt sett går den sökande emot (det spelar alltså ingen roll om den enskilde upplever beslutet som betungande: är det formellt sett gynnande kan det inte överklagas, se 22 § förvaltningslagen).

Århuskonventionen ger emellertid miljöorganisationerna, som uppfyller vissa kriterier, en rätt att tala för allmänna intressen, dvs. att överklaga domar och beslut om tillstånd och godkännande av miljöfarliga aktiviteter samt om undantag för skydd av områden. De har också rätt att överklaga beslut om åtgärder som rör myndigheternas tillsyn.

I förarbetena till miljöbalken berörs frågan om allmänna intressen. Där konstateras bland annat att naturen har ett värde i sig, utöver det värde den har som resurs för människan.

Detta kapitel beskriver först översiktligt bakgrunden till konventionen och dess regler. Därefter redovisas implementeringen av konventionens bestämmelser i svensk lag. Slutligen lämnas exempel på hur Århuskonventionen kan komma att tillämpas i samband med utbyggnaden av slutförvaret för använt kärnbränsle.

4.1.1 Bakgrund

Rättsliga procedurfrågor har länge ansetts vara en nationell fråga. Allmänhetens rätt att delta i beslutsprocesser och i samband med att miljöfrågor prövas rättsligt har inte reglerats i någon större utsträckning av internationell rätt. Det har dock funnits ljuspunkter som lett fram till Århuskonventionen, och dessa beskrivs nedan.

Nordiska miljöskyddskonventionen från 1974

Den nordiska miljöskyddskonventionen är ett resultat av FN:s miljökonferens i Stockholm 1972.¹ Det är ett regionalt avtal mellan de nordiska länderna Sverige, Norge, Danmark och Finland (med undantag för Island). Konventionen innehåller bland annat principer om att skador och störningar, som kan ske i någon av de andra staterna, ska behandlas på samma sätt som skador och störningar i den egna staten vid bedömning av om en verksamhet ska få tillstånd m.m. Medborgare, inklusive miljöorganisationer i de berörda staterna, har också rätt att föra talan vid en domstol och inför myndigheterna i ett sådant fall. Syftet är att ta bort de hinder som parternas nationella gränser kan skapa.

Riodeklarationen i Brasilien 1992

Det var först vid FN:s konferens om miljö och utveckling, UNCED, Rio de Janeiro i Brasilien 1992 som frågan om allmänhetens deltagande i granskningen av miljöfrågor fick internationell uppmärksamhet. Mer än 150 stater enades i den s.k. Rio-deklarationen [2] som i deklarationens princip nummer 10 formulerade frågan om allmänhetens deltagande i miljöfrågor på följande sätt:

- Miljöfrågor hanteras bäst med deltagande av alla berörda medborgare.
- På nationell nivå ska varje individ ha tillgång till information om miljön som innehas av offentliga myndigheter, inklusive information om farligt material och aktiviteter i deras samhällen.
- Staterna ska underlätta och uppmuntra allmänhetens medvetenhet och deltagande genom att göra information om miljöfrågor allmänt tillgängliga.
- Allmänheten ska ges tillgång till rättsliga och administrativa hanteringar enligt varje lands lagstiftning, inklusive rättelser och andra åtgärder.

Rio-deklarationen är dock inte ett juridiskt bindande dokument och eftersom stadgan är generellt formulerad lämnar den flera frågor om

¹ Den undertecknades den 19 februari 1974 och trädde i kraft den 5 oktober 1976.

genomförandet obesvarade. Även om Rio-deklarationen inte tydligt reglerar frågan om miljöorganisationers rätt att tala, var den av betydelse eftersom idéer i den presenterades, som senare (via ministerkonferensen i Sofia) skulle ligga till grund för utformningen av Århuskonventionen.

Miljöministerkonferensen i Sofia 1995

År 1995 hölls en konferens med miljöministrar i Sofia, Bulgarien, där de kom överens om flera riktlinjer för att öka allmänhetens inflytande i miljöfrågor. Bestämmelserna i Rio-deklarationen låg till grund för dessa riktlinjer. Ministerkonferensen i Sofia var utgångspunkten för arbetet med att utveckla en ny konvention inom miljöområdet och ministrarna enades om att tiden var mogen för ett rättsligt bindande dokument. Arbetet ledde senare fram till det som kom att kallas Århuskonventionen. [3]

Århuskonventionen 2001

Utifrån riktlinjerna från ministerkonferensen i Sofia började ett trettio-tal länder och en koalition mellan flera internationella och regionala miljöorganisationer att förhandla om Århuskonventionens innehåll och utformning. En konvention om tillgång till information, allmänhetens deltagande i beslutsfattande och tillgång till rättslig prövning i miljöfrågor.

Efter två års förhandlingar presenterades ett resultat och den 25 juni 1998 öppnades Århuskonventionen för undertecknande i den danska staden Århus. Århuskonventionen förhandlades fram inom ramen för FN:s ekonomiska kommission för Europa (UNECE) och är en regional konvention för alla europeiska länder. Det är dock öppet även för USA och Kanada, liksom de tidigare sovjetrepublikerna i Centralasien.

Konventionen undertecknades av EU och 34 stater till och trädde i kraft i oktober 2001. I dag (januari 2022) har konventionen ratificerats av 47 stater och EU. [4]

4.2 Århuskonventionen

En ny typ av miljökonvention

Århuskonventionen utgör en ny typ av miljökonvention eftersom den kopplar samman skyddet av mänskliga rättigheter med skyddet av miljön på ett sätt som inte gjorts tidigare. Konventionen tar upp att en förutsättning för våra grundläggande mänskliga rättigheter är att det finns ett lämpligt miljöskydd. Den framhåller att varje människa har rätt att leva i en hälsosam miljö och att ett större samhällsdeltagande från allmänheten i sin tur skapar en bättre miljö. Målet är att bidra till att skydda nuvarande och framtida generationers rätt till en bra miljö.

EU har implementerat Århuskonventionen genom direktiv 2003/4/EG, om allmänhetens rätt till miljöinformation, samt direktiv 2003/35/EG om allmänhetens deltagande i utarbetning av planer och program och rätten till rättslig prövning. I EU-förordning (1367/2006/EG) stadgas möjligheter för miljöorganisationer att begära omprövning och rättslig prövning av förvaltningsåtgärder och förvaltningsförsummelser inom EU:s institutioner.

Konventionen är rättsligt bindande för alla stater som ratificerat den som part. Varje part har åtagandet att främja principerna i konventionen. Parterna ska också redovisa en nationell rapport, som alltid omfattar en rådgivande och transparent process.

EU har till uppgift att säkerställa efterlevnaden, inte bara inom medlemsstaterna, utan också för dess institutioner som olika slag av myndigheter och organisationer

Konventionens tre pelare

Århuskonventionen bygger på tre olika pelare:

1. *Allmänhetens rätt till information om miljöfrågor*

Tillgång till information innebär att varje medborgare bör ha rätt att få en bred och enkel tillgång till miljöinformation. Offentliga myndigheter måste tillhandahålla all information som krävs och samla in och sprida dem på ett snabbt och öppet sätt. De kan vägra att göra det endast under särskilda situationer, till exempel i frågor som rör nationella försvar.

2. *Allmänhetens rätt att delta i miljöbeslutsprocesser*

Allmänheten måste informeras om alla relevanta projekt och den måste ha chansen att delta under beslutsprocessen och i lagstiftningsprocessen. Beslutsfattare kan dra nytta av människors kunskap och expertis och därigenom förbättra kvaliteten på miljöbeslut samt, inte minst, garantera legitimiteten i beslutet.

3. *Allmänhetens rätt att agera rättsligt i miljöfrågor*

Allmänheten har rätt att inom ramen för gällande rätt yttra sig och i övrigt delta i en tillståndsprocess och överklaga tillståndsbeslut samt tillsynsbeslut. Allmänheten har även rätt att delta i rättsliga eller administrativa regeringsförfaranden om en part bryter mot eller underlåter att följa miljölagstiftningen och konventionens principer.

Olika typer av aktörer

Konventionen gör en åtskillnad mellan ”allmänheten”, ”alla civilsamhällets aktörer” och ”den berörda allmänheten” dvs. de personer eller organisationer som berörs eller är intresserade av miljöbeslut (t.ex. miljöorganisationer). Offentliga myndigheter är adressaterna till konventionen, nämligen regeringar, internationella institutioner och privatiserade organ som har offentligt ansvar eller agerar under kontroll av offentliga organ.

Den privata sektorn, för vilken utlämnande av information beror på frivillig, icke-obligatorisk, praxis, och organisationer som agerar i rättslig eller lagstiftande egenskap, berörs inte av konventionens informationskrav.

Andra viktiga bestämmelser är exempelvis principen om ”icke-diskriminering” (all information måste lämnas utan att hänsyn tas till den sökandes nationalitet eller medborgarskap), konventionens internationella karaktär och betydelsen av att allmänhetens miljöutbildning främjas. [5, 6, 7]

Miljöorganisationernas rätt att tala för allmänna intressen

Århuskonventionen reglerar i artikel 9:1–3 miljöorganisationernas rätt att tala för allmänna intressen.

Miljöorganisationer, som uppfyller vissa kriterier enligt miljöbalken har rätt att inom överklagandeperioden överklaga domar och beslut om tillstånd och godkännande av miljöfarliga aktiviteter samt undantag för skydd av områden. De har också rätt att överklaga beslut om åtgärder som rör myndigheternas tillsyn.

Kriterierna i Sverige enligt 16 kap 13 § miljöbalken är att det rör en ideell förening eller annan juridisk enhet med huvudsyftet att skydda naturvårds- eller miljöskyddsintressen och att den har bedrivit verksamhet i Sverige i minst tre år och har minst 100 medlemmar eller på annat sätt visar att organisationen har stöd från allmänheten.

Miljöorganisationer som uppfyller nationella kriterier föreskrivs en vidsträckt talerätt² för miljöorganisationer avseende alla handlingar och underlåtenheter som myndigheterna begått i olika *tillståndsprocesser*.

Miljöorganisationer har också tillgång till rättslig granskning av myndigheternas beslut och underlåtenhet i olika *tillsynsärenden*. Miljöorganisationerna får även tillgång till rättslig granskning när det gäller myndigheternas rätt att agera direkt mot en verksamhetsutövare genom en civil process. Konventionens artikel 9.3 rör möjligheten för allmänheten, inklusive miljöorganisationer, att bestrida ett privaträttsligt rättsanspråk som en verksamhetsutövare driver, vars riktighet eller oriktighet ska prövas av domstolen.

4.3 Genomförandet av Århuskonventionen i Sverige

Implementeringen i svensk rätt

Århuskonventionen infördes i svensk lag år 2005. [3a] Även om de rättigheter som konventionen ger allmänheten till stor del redan var garanterade i svensk lag då konventionen infördes kompletterades ett visst antal svenska lagar som miljöbalken, väglagen, luftfartslagen och minerallagen. Dock implementerades Århuskonventionen inte i alla relevanta lagar, till exempel inte i skogsvårdslagen (1979:429).

² Talerätt här – att tala inför domstol – dvs. överklaga m.m.

Olika organisationer i Sverige har kritiserat regeringen för att inte ha genomfört Århuskonventionen i sin helhet. Bland annat finns det inga bestämmelser i svensk lagstiftning som ger miljöorganisationer rätt att överklaga tillsynsbeslut eller begära att tillståndsbeslut omprövas. Nedan ges ett exempel på bristande implementering och där ett domslut i högsta instans påverkat rättstillämpningen i Sverige.

Nationell rätt kontra unionsrätt – exemplet Skogsstyrelsens tillståndsbeslut

Det faktum att Århuskonventionen inte särskilt implementerades i skogsvårdslagen ledde till ett fall där en miljöorganisation inte fick rätt att överklaga ett beslut från Skogsstyrelsen om att tillåta avverkning av ett skogsområde som enligt miljöorganisationen var värt att bevara. Beslutet att neka miljöorganisationen rätt att överklaga prövades hela vägen upp till Högsta förvaltningsdomstolen, som drog slutsatsen att Århuskonventionen bör tillämpas. Miljöorganisationen fick då rätt att överklaga Skogsstyrelsens tillståndsbeslut enligt domslutet i Högsta förvaltningsdomstolen. [8]

Det aktuella målet rörde nationella förhållanden, men tangerade också unionsrätt genom avverkningsområdenas läge invid ett Natura 2000-område.³ Enligt en dom i EU-domstolen [9] finns det, när en konventionsbestämmelse kan tillämpas såväl på situationer som omfattas av nationell rätt som på situationer som omfattas av unionsrätten, ett bestämt intresse av att bestämmelsen tolkas på ett enhetligt sätt, oberoende av under vilka omständigheter den ska tillämpas. Den processuella rätten borde i den utsträckning det är möjligt tolkas så att en sådan miljöorganisation som var aktuell i målet ges möjlighet att väcka talan vid domstol mot ett beslut som kan strida mot unionens miljölagstiftning.

Högsta förvaltningsdomstolens dom är således vägledande för rättstillämpningen i andra fall som gäller myndighetsbeslut med stöd av en lagstiftning där Århuskonventionen inte implementerats genom en direkt bestämmelse.

³ Natura 2000 är ett nätverk av skyddade områden i hela EU. I Sverige finns drygt 4 000 Natura 2000-områden.

4.4 Tillämpningen av Århuskonventionen i samband med utbyggnaden av ett slutförvar för använt kärnbränsle

Stegvis prövning av tillståndsvillkor

Regeringen har den 27 januari 2022 beviljat tillstånd enligt kärntekniklagen:

dels att i Östhammars kommun uppföra, inneha och driva en anläggning för slutförvaring av kärnämne och kärnavfall från det svenska kärnkraftsprogrammet,

dels att i anslutning till det befintliga Centrala mellanlagret för använt kärnbränsle, Clab, uppföra en anläggningsdel för inkapsling av kärnämne och kärnavfall benämnd Clink.

Tillstånden har försetts med ett antal villkor som bland annat innebär att:

- *uppförandet* av anläggningen får påbörjas först efter att Strålsäkerhetsmyndigheten har godkänt en preliminär säkerhetsredovisning (PSAR),
- anläggningen får tas i *provdrift* först efter att Strålsäkerhetsmyndigheten har godkänt en förnyad säkerhetsredovisning (FSAR)
- anläggningen får tas i *rutinmässig drift* först efter att Strålsäkerhetsmyndigheten har godkänt en kompletterad säkerhetsredovisning (SAR).

Varje sådan säkerhetsredovisning, som kommer in till Strålsäkerhetsmyndigheten (SSM), ska vara säkerhetsgranskad och prövas av myndigheten samt utmynna i ett beslut som eventuellt innebär att tillståndshavaren kan fortsätta med uppförandet av anläggningen. Den slutgiltiga säkerhetsredovisningen kommer tillståndshavaren att fram när det är dags för en slutlig förslutning av slutförvaret. Denna process, när det gäller slutförvaret, kommer att fortlöpa, enligt Svensk Kärnbränslehantering AB:s (SKB:s) planer, under cirka 70–80 år.

Under denna långa tidsperiod, som det är fråga om, är det rimligt att anta att fortsatt forskning och teknikutveckling kommer att ske, när det t.ex. gäller kopparkapselns integritet och bentonitbuffertens stabiliserande förmåga. De konstruktionslösningar som man vid an-

sökningstillfället tänkt sig, kan komma att behöva förändras under tiden. Problem kan uppkomma under uppförandefasen som leder till att andra lösningar måste tillgripas. Att göra detta slag av prövning av stora kärntekniska anläggningar som sker stegvis rekommenderas också av IAEA.

För att ett tillstånd, som är förknippat med villkor, fortlöpande ska vara giltigt krävs det att tillståndshavaren uppfyller tillståndsvillkoren. Det innebär att successivt kompletterade säkerhetsredovisningar ska uppfylla de krav som framgår av SSM:s föreskrifter (SSMFS 2008:1 och 2008:21). Om SSM finner att kraven enligt föreskrifterna är uppfyllda fattar SSM ett huvudsakligt beslut, som kan innebära att säkerhetsredovisningen kan godtas och anläggningsarbetet fortsätta.

SSM kommer således att fatta ett antal beslut där myndigheten, vid varje tillfälle, har att bedöma den långsiktiga säkerheten när det gäller slutförvaret och fortlöpande pröva om KBS-3-metoden kan bedömas vara godtagbar. Ytterst gäller frågan att långsiktigt skydda människors hälsa och miljön mot skador och andra olägenheter.

SSM beslut är förvaltningsbeslut som kan överklagas

Mycket talar för att besluten rörande de preliminära säkerhetsredovisningarna i en stegvis prövning, som SSM vid varje tillfälle fattar, är förvaltningsbeslut som innebär myndighetsutövning. Ett positivt beslut ger – i detta fall SKB – en rätt att fortsätta med att uppföra en slutförvarsanläggning.

Enligt Hellners & Malmqvists *Förvaltningslagen* [10] ställs det vissa formella krav på en myndighetsåtgärd för att den ska räknas som ett ”beslut”. För att räknas som ett beslut måste åtgärden ha karaktären av ett uttalande som består vid tiden för prövningen av överklagandet. I praxis har det oftast betonats att ett beslut kan överklagas när det har någon form av rättslig verkan, dvs. är bindande för någon och beslutet är verkställbart. Positiv rättskraft talar för att ett beslut anses överklagbart. Även att avslå en framställning från någon som är part är oftast beslut som är överklagbara. Även när ett beslut inte är verkställbart, inte innebär avslag på en parts framställning och inte har positiv rättskraft kan det påverka någons personliga eller ekonomiska situation så att det bör kunna överklagas.

Vem eller vilka har talerätt

Sedan är frågan vem som har rätt att överklaga SSM:s beslut om preliminära säkerhetsredovisningar i samband med utbyggnad av slutförvaret för använt kärnbränsle. SKB såklart och närboende personer. Miljöbalken – 16 kap. 13 § – ger miljöorganisationer rätt att överklaga domar och beslut om tillstånd, godkännande eller dispenser som beslutas enligt balken samt att 5 b § kärntekniklagen anger att bland annat 2 kap. miljöbalken ska tillämpas vid prövning av ärenden. Att SSM vid sin prövning av ärenden enligt kärntekniklagen ska ta hänsyn till vissa av miljöbalkens materiella bestämmelser medför inte utan vidare att de speciella processuella regler som gäller enligt balken för ideella föreningar är tillämpliga på beslut som SSM fattar.

En annan utgångspunkt, när det gäller frågan om vilka som har talerätt, är Århuskonventionens tre grundprinciper – som nämnts ovan – om:

1. allmänhetens rätt att ta del av miljöinformation som finns hos myndigheter,
2. allmänhetens rätt att delta i beslutsprocesser som har inverkan på miljön, och
3. allmänhetens tillgång till rättslig prövning i miljöfrågor.

Slutförvarsanläggningen för använt kärnbränsle i Östhammar berör liksom det ovannämnda rättsfallet med ett beslut från Skogsstyrelsens, om att tillåta avverkning av ett skogsområde ett Natura 2000-område. Detta talar för, med ledning av Högsta förvaltningsdomstolens dom, att en miljöorganisation skulle ha rätt att överklaga SSM:s beslut om preliminära säkerhetsredovisningar.

Referenser

1. Det är ett generellt begrepp som allmänt används inom förvaltningsrätten. Begreppet infördes genom den äldre förvaltningslagen (1971:290). Se prop. 2016/17:180, s. 47 som beskriver detta.
2. FN:s konferens om miljö och utveckling, Riodeklarationen, hölls i Rio de Janeiro, Brasilien från 5 till 30 juni 1992.

3. Århuskonventionen, (Jfr Europaparlamentets och rådets direktiv 2003/4/EG av den 28 januari 2003 om allmänhetens tillgång till miljöinformation och upphävande av rådets direktiv 90/313/EEG (EUT L 41, 14.2.2003 s. 26, Celex 32003L0004).
3a. Århuskonventionen. Prop. 2004/05:65. Tillgänglig på: www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/proposition/arhuskonventionen_GS0365 (hämtad 2022-02-09).
4. Läs mer om "Århuskonventionen – din rätt till miljöinformation" på naturvårdsverkets webbplats: www.naturvardsverket.se/om-miljoarbetet/internationellt-miljoarbete/internationella-miljokonventioner/arhuskonventionen--din-ratt-till-miljoinformation (hämtad 2021-01-11).
5. Mason, M. 2010. "Information disclosure and environmental rights: The Aarhus Convention" (PDF). *Global Environmental Politics*. 10 (3): 10–31. doi:10.1162/glep_a_00012.
6. Rodenhoff, V. 2003. "The Aarhus convention and its implications for the 'Institutions' of the European Community". *Review of European Community and International Environmental Law*, s. 345.
7. Wates, S. 2005. "The Aarhus convention: a driving force for environmental democracy". *Journal for European Environmental and Planning Law*. 2 (1) s. 1–11. samt Margera, E. 2005. "An Update on the Aarhus Convention and its continued global relevance". *Review of European Community and International Law*. 14 (2), s. 138–147.
8. Högsta förvaltningsdomstolen, HFD 2014:8, Mål nr 5962-12.
9. EU-domstolens dom i mål nr C-240/09.
10. Hellner, T. & Malmqvist, B. 2010. *Förvaltningslagen: med kommentarer*. 3 Uppl. Norstedts Juridik AB. Stockholm.

Lagar och föreskrifter

Förvaltningslag (2017:900), (förvaltningslagen).

Lag (1984:3) om kärnteknisk verksamhet, (kärntekniklagen).

Miljöbalk (1998:808), (miljöbalken).

Skogsvårdslag (1979:429), (skogsvårdslagen).

SSMFS 2008:1 Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter och allmänna råd om säkerhet i kärntekniska anläggningar (SSMFS 2008:1).

SSMFS 2008:21 Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter och allmänna råd om säkerhet vid slutförvaring av kärnämne och kärnavfall (SSMFS 2008:21).

Direktiv och EU-förordning

Direktiv 2003/4/EG, om allmänhetens rätt till miljöinformation.

Direktiv 2003/35/EG om allmänhetens deltagande i utarbetning av planer och program och rätten till rättslig prövning.

EU-förordning (1367/2006/EG).

5 Korrosion av metalliskt koppar i syrgasfritt vatten – en vetenskaplig kontrovers i ett historiskt perspektiv

5.1 Introduktion

KBS-3-systemet består av tre barriärer, kopparkapsel med gjutjärnsinsats, bentonitlera och berget. Barriärerna ska tillsammans förhindra spridningen av sönderfallsprodukter från kärnavfallet till biosfären, och kopparkapseln utgör den primära barriären. Det vetenskapliga underlaget för valet av en 50 mm tjock kopparkapsel som den primära barriären i KBS-3-systemet har varit i fokus vad gäller den långsiktiga säkerheten av slutförvaret. Den fråga som hittills dominerat den vetenskapliga debatten är om valet av koppar som kapselmaterial uppfyller säkerhetskraven för kapselns långsiktiga integritet. Det handlar om huruvida koppar kan korrodera under de förhållanden som förväntas i slutförvaret, specifikt om syrgasfritt vatten kan korrodera metallisk koppar. Denna fråga har debatterats livligt under de senaste 35 åren sedan det föreslogs av Hultquist 1986. [1] Ett stort antal experimentella och teoretiska studier inom detta område har publicerats i öppna sakkunniggranskade vetenskapliga tidskrifter, och i tekniska rapporter från Strålsäkerhetsmyndigheten (SSM), Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB) och Posiva, den finska motsvarigheten till SKB, i syfte att påvisa eller förkasta hypotesen om att koppar kan korrodera (oxideras) i rent syrgasfritt vatten. Detta har skapat en vetenskaplig kontrovers som fortfarande pågår, och det har framförts tvivel huruvida koppar är ett lämpligt material som skyddande barriär för de behållare som ska användas

för deponeringen av använt kärnbränsle cirka 500 meter ner i berggrunden.

Kärnavfallsrådet arrangerade i november 2009 en internationell konferens på ämnet kopparkorrosion i rent syrgasfritt vatten med nästan 300 deltagare från alla världens hörn. [2] Ett år senare arrangerade Kärnavfallsrådet ett rundabordssamtal vid MIT, Cambridge, MA, USA, med inbjudna experter. Vid detta möte sammanfattades resultaten av seminariet 2009, och SKB:s planerade experiment om kopparkorrosion diskuterades. Kärnavfallsrådet ordnade i november 2013 ett nytt internationellt symposium ("New insights into the repository's engineered barriers") rörande kopparkorrosion i rent, syrgasfritt vatten. [3] Kärnavfallsrådet organiserade också ett nationellt symposium 2014 med forskare från Kungliga Tekniska högskolan (KTH) och Uppsala universitet som utfört forskning inom området. Syftet var att skapa ett forum för att diskutera den vetenskapliga kontroversen om rent syrgasfritt vatten kan korrodera metallisk koppar eller ej, då dessa forskargrupper kommit fram till olika resultat, se nedan. Symposiet resulterade varken i någon samsyn mellan forskarna, eller till ökade möjligheter att finna ett gemensamt synsätt.

I detta kapitel har vi sammanställt de vetenskapliga publikationer som behandlar den eventuella korrosionen av koppar i rent syrgasfritt vatten. Resultaten presenteras i kronologisk ordning för att ge läsaren möjlighet att följa hur den vetenskapliga diskussionen utvecklats och kontroversen uppstått. Publikationerna har vidare delats upp i sakkunniggranskade vetenskapliga tidskrifter och i tekniska rapporter från SSM och företag som har i uppdrag att slutförvara använt kärnbränsle, SKB och Posiva. Däremot har konferensbidrag som inte sakkunnighetsgranskats inte tagits med. Vi ger också en mycket kort vetenskaplig bakgrund i syfte att ge läsaren en insikt i de etablerade kemiska och fysikalisk-kemiska lagar som ger de grundvetenskapliga förutsättningarna för den vetenskapliga kontroversen som pågår. I appendix 1¹ finns en något mer utförlig beskrivning av de kemiska reaktioner som ligger till grund för korrosion av metaller, och hur metalloxydernas ytor påverkas i närvaro av vatten.

¹ Appendix 1: "Redoxreaktioner (elektronöverföringsreaktioner) och metalloxydernas kemi i vatten."

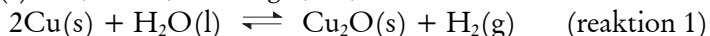
5.2 Grundläggande kemi

Korrosion av metaller är en reduktion-oxidationsreaktion (redoxreaktion) där elektroner överförs från en kemisk förening till en annan. Det innebär att en förening avger elektroner (reduktionsmedel) och kommer att oxideras, och den andra föreningen tar upp elektroner (oxidationsmedel) och kommer att reduceras. Redoxreaktioner är exempel på kemisk jämvikt, vilket betyder att det finns en balans mellan reaktanter och produkter som bestäms av fysikaliska konstanter som beskriver de ingående föreningarnas benägenhet att reagera med varandra. En kemisk jämvikt beskrivs på följande sätt:



där R1 och R2 är de reagerande föreningarna, P1 och P2 är de produkter som bildas och dubbelpilarna, \rightleftharpoons , visar att det är kemisk jämvikt (den slutliga fördelningen av reaktanter och produkter i en kemisk reaktion). En kemisk jämvikt kan antingen vara förskjuten åt höger, då det vid jämvikt finns mer av produkterna än av reaktanterna (reaktion har ägt rum), eller förskjuten åt vänster, då det vid jämvikt finns mer kvar av reaktanterna än det finns bildade produkter (lite eller ingenting har hänt). Det som bestämmer om en redoxjämvikt är förskjuten åt höger eller vänster är fysikaliska konstanter, standard elektropotentialer, som beskriver hur benägna olika kemiska föreningar är att oxideras eller reduceras. Metalliskt järn är ett exempel på en förening som ganska lätt oxideras (ganska starkt reduktionsmedel), medan det är mycket svårt att oxidera metalliskt guld (mycket svagt reduktionsmedel). Likaledes reduceras syrgas lätt (starkt oxidationsmedel) medan det är svårt att reducera väteatomerna i vatten till vätgas (svagt oxidationsmedel). Järn korroderar (rostar) lätt av luftens syrgas, medan guld inte oxideras i luft. Metallisk koppar oxideras av luftens syre till främst koppar(I)oxid. Det betyder att metallisk koppar i kontakt med luft bildar ett mörkt ytskikt av koppar(I)oxid som är några tiondels millimeter tjockt. Ytterligare oxidation av koppar i närvaro av vatten och ämnen lösta i vattnet leder till bildandet av blåa eller blågröna koppar(II)föreningar; koppar har ärgats.

Den reaktion som diskuteras i detta kapitel är reaktionen mellan metallisk koppar, Cu, och rent syrgasfritt vatten, H₂O, för att bilda koppar(I)oxid, Cu₂O, och vätgas, H₂,



där (s) anger att föreningen är i fast fas, (l) anger vätska och (g) gasfas.

Enligt standardelektrodpotentialerna för de ingående föreningarna, som är mycket välbestämda, är denna redoxjämvikt kraftigt förskjuten åt vänster, dvs. det förväntas att endast extremt små mängder koppar(I)oxid och vätgas bildas innan reaktionen nått kemisk jämvikt, och reaktionen avstannar, för detaljer se appendix 1.

5.3 Litteraturoversikt – oxidation av metalliskt koppar i rent syrgasfritt vatten

I detta avsnitt redogör vi i kronologisk ordning för den publicering som gjorts angående frågan om kopparkorrosion i rent syrgasfritt vatten. Redovisningen görs separat för publikationer i vetenskapliga tidskrifter och tekniska rapporter från SSM, och i tekniska rapporter publicerade av SKB och Posiva.

5.3.1 Publikationer i sakkunniggranskade vetenskapliga tidskrifter och myndighetsrapporter

Den första artikeln som rapporterade att metallisk koppar korroderar (oxideras) i rent syrgasfritt vatten publicerades 1986 av Hultquist. [1] Korrosionen observerades indirekt genom att det bildades vätgas. Experimentet utfördes vid förhöjd temperatur, 50 och 80 °C, och natriumklorid (keloksalt) var tillsatt som elektrolyt. Det antogs att metallisk koppar oxiderades till koppar(I)oxid med vatten enligt reaktionen $2 \text{Cu}(s) + \text{H}_2\text{O}(l) \rightleftharpoons \text{Cu}_2\text{O}(s) + \text{H}_2(g)$.

Ett år senare publicerade en annan forskargrupp, Simpson och Schenk, en liknande studie i destillerat vatten vid 25 °C, [4] med syftet att jämföra resultaten med de som Hultquist rapporterat. Deras slutsats var att koppar inte korroderar under de betingelser som de använt. [4] Hultquist och medarbetare svarade på Simpson och Schenks arbete genom att försöka finna skillnader i de experimentella uppställningarna som skulle kunna förklara de olika observationerna. [5] I denna publikation framför Hultquist et al. en hypotes att koppar och vatten reagerade på kopparytan och att vattenmolekylen uppdelades i väteatomer, H·, och hydroxylradikaler, OH·, där de senare reagerade med koppar för att bilda CuOH· och Cu₂OH· radikalkomplex (en radikal är en kemisk enhet med en oparad elektron som gör den särskilt reaktiv den oparade elektronen markeras med

en punkt efter kemiska formeln). Ett argument som framfördes var att CuOH^+ - och Cu_2OH^+ -joner detekterats på kopparytor som exponerats för vatten med SIMS (secondary ion mass spectroscopy). Det är emellertid viktigt att poängtera att CuOH^+ - och Cu_2OH^+ -joner är kemiskt sett andra partiklar än $\text{CuOH}\cdot$ och $\text{Cu}_2\text{OH}\cdot$ och har därför andra kemiska egenskaper.

Eriksen et al. publicerade 1989 en ny studie med syftet att jämföra deras nya mätningar med de resultat som Hultquist publicerade 1986, men nu i rent vatten. [6] De kunde inte detektera någon vätgasbildning i dessa nya experiment som pågick i 61 dagar. Den enda korrosionsprodukten som kunde påvisas var koppar(I)oxid, som troligen bildats av syrerester i experimentets början. De argumenterade också utifrån kända termodynamiska data att syrgasfritt vatten inte kan oxidera metallisk koppar.

Möller rapporterade om en studie där koppartrådar förvarats i rent syrgasfritt vatten under två år i provrör som förslutits med palladium- och platinafolier [7] (palladium släpper igenom vätgas men inte platina). Kopparytorna uppvisade lika stor grad av oxidation i samtliga prov, och denna oxidation hade sannolikt orsakats av små mängder syre vid experimentets start. Dessa observationer motsäger de som Hultquist rapporterade.

Beverkog och Puigdomenech rapporterade 1997 reviderade stabilitetsdiagram (Pourbaix diagram) för koppar i temperaturområdet 25–300 °C och pH-området 0–14 i en översiktsartikel. [8] Koppar(I)oxid, $\text{Cu}_2\text{O}(s)$, och koppar(II)oxid, $\text{CuO}(s)$, förutsågs vara stabila upp till 200 °C, men vid 300 °C är endast $\text{CuO}(s)$ stabil. Det kan noteras att fast koppar(I)hydroxid, $\text{CuOH}(s)$, inte fanns med i sammanställningen på grund av brist på data.

Szakálos, Hultquist och Wikmark rapporterade 2007 nya, mer noggrant utförda mätningar, på korrosion av metallisk koppar i rent syrgasfritt vatten. [9] De rapporterade att vätgas bildas i ett system som endast innehåller metallisk koppar och rent syrgasfritt vatten vid 20 °C i en glasbehållare, hermetiskt slutet med ett palladiummembran. I detta experiment detekterades vätgas under ett långt experiment, 10 500 timmar (1,20 år). Vätgasbildningshastigheten bestämdes till $0,37 \text{ ng timme}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ under de första 7 000 timmarna och därefter minskade vätgasbildningshastigheten något. I ett annat experiment användes två rostfria stålbehållare som var separerade med ett palladiummembran vilket endast tillåter att vätgas kan pas-

sera från den ena till den andra behållaren. Vattnet fanns i en glas-behållare för att inte komma i kontakt med det rostfria stålet. I detta experiment tog det 1200 timmar att pumpa bort all syrgas som fanns i behållarna från början. Därefter höjdes temperaturen till 62 °C, och betydande mängder vätgas kunde detekteras. Temperaturen höjdes kortvarigt till 73 och 85 °C efter 2 100 respektive 2 275 timmar. Vid varje temperaturhöjning kunde en tydlig ökning av vätgasbildningen detekteras. Det observerade vätgasstrycket vid 73 °C var ungefär 2 000 gånger högre än det förväntade grundtrycket beräknat från standard elektropotentialerna, $5 \cdot 10^{-7}$ bar. En SIMS-studie gjordes också av kopparytorna som exponerats för tre olika typer av miljöer: rent syrgasfritt vatten, syreinhållande vatten samt torr syrgas. Resultaten visade att Cu_2O var den enda föreningen som bildades på kopparytorna i torr syrgas, medan en blandning av kopparoxider och -hydroxider med ett O:H-förhållande nära 1 bildades i närvaro av vatten. [9] Det föreslogs att det bildas en korrosionsprodukt med formeln H_xCuO_y där värdena på x och y är nära ett (1). Detta skulle kunna beskrivas som att det finns en väteinhållande kopparoxid på kopparmetallytan. [9] Författarna drar slutsatsen att den initiala formen av väte är atomär i följande reaktion $\text{Cu}(s) + y\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_x\text{CuO}_y + (2y-x)\text{H}_{\text{ads}}$, där väteatomerna är adsorberade (svagt bundna) till kopparytan, vilket beskrivs med H_{ads} . En del av det atomära vätet reagerar med sig självt för att bilda vätgas, $\text{H}_2(\text{g})$, och den resterande delen penetrerar in i kopparmetallen. [9] Om vätgasen tas bort från systemet kan processen fortsätta. [9] För att sammanfatta, så föreslår Hultquist et al. att vatten katalytiskt delas upp i atomärt väte, H^\cdot , och en hydroxylradikal, OH^\cdot , där den senare omedelbart reagerar med metallisk koppar för att bilda H_xCuO_y ; hydroxylradikalen är känd för att vara mycket reaktiv.

I en kommentar till studien av Szakálos, Hultquist och Wikmark, framhåller Johansson att oxidationen av metallisk koppar inte är termodynamiskt tillåten, och att korrosionsprodukten H_xCuO_y är okänd inom vetenskapen. [10] Johansson finner det anmärkningsvärt att H_xCuO_y skulle vara mer stabil än de kända kopparoxiderna, och att det krävs starkt experimentellt stöd för att påvisa dess stabilitet. [10] Johansson ifrågasätter vidare noggrannheten i experimenten rapporterade av Szalákos et al. och för fram alternativa förklaringar till vätgasbildningen. I ett svar till Johansson vidhåller Szalákos et al. att deras experiment utförts på ett korrekt sätt, och att

Johanssons föreslagna alternativa förklaringar till vätgasproduktionen inte stämmer. [11]

Rosborg och Werme rapporterar de första resultaten från långtidsexperiment med kopparbehållare som placerats i den svenska berggrunden, under förhållanden som liknar de i ett slutförvar av använt kärnbränsle, de s.k. LOT-(Long-term test of buffer materials) försöken och prototyptesterna. [12] Detaljer om dessa försök beskrivs nedan.

Hultquist et al. står fast vid de resultat och slutsatser som presenterats tidigare [1,5,9,11] genom att använda ”first principles”-simuleringar avseende vätgasutvecklingen där de hävdar att:

- a) Det finns en vätgasutveckling i reaktionen mellan koppar och flytande vatten vid rumstemperatur, vilket är ett bevis för att vatten korroderar koppar. Denna vätgasutveckling sker vid ett tryck som vida överstiger vätgastrycket i luft.
- b) Tidigare experimentella resultat förordade bildning av hydroxid, och de utförda simuleringarna avseende koppars stabilitet är i överensstämmelse med våra nuvarande experimentella resultat vilket innefattar katalytiska egenskaper hos kopparhydroxid.
- c) I motsats till den vedertagna uppfattningen, rent syrgasfritt vatten korroderar verkligen koppar.
- d) Genom att sammanfatta exponeringar av koppar till flytande vatten under mycket olika tidsrymder, med och utan tillgång till syrgas, ger en realistisk extrapolering att det krävs mer än 1 meter tjocka kopparbehållare för att de ska hålla under 100 000 år vid rumstemperatur. [13]

För att ytterligare expandera tidsskalan har kopparmynt från regalskeppet Vasa undersökts. [13] Det har visats i andra studier att vattnet på 33 meters djup i Stockholms hamn var mättat med vätesulfid under en del av tiden regalskeppet Vasa låg på sjöbotten. [14] Vätesulfid är en förening som korroderar koppar. [15]

Werme och Korzhavyi framhåller i sitt svar på denna publikation att Hultquist et al. har använt hydroxylradikaler, $\text{OH}\cdot$, i stället för vatten innehållande låga koncentrationer av hydroxidjoner, OH^- , vilket resulterar i en betydande skillnad i resultaten från beräkningarna. [16] Genom att använda hydroxylradikalen, ett extremt starkt

oxidationsmedel som kan oxidera både koppar och guld, är resultaten från beräkningarna irrelevanta eftersom koncentrationen av hydroxylradikaler i vatten är försumbart liten. Nya beräkningar som presenterades i arbetet visar att kopparföreningar som innehåller koppar, syre och väte är alla mindre stabila än koppar(I)oxid och ska därför inte kunna bildas. [16]

I ett svar till kommentarerna från Werme och Korzhavyi, förtydligar Hultquist et al. att de använt hydroxylradikalen bunden till en kopparyta i sina beräkningar. De står också fast vid att CuOH-föreningen (skriven som H_xCuO_y av Hultquist et al.) är närvarande i systemet och att den är stabil. [17] De medger dock att korrosionen av kopparmynten från regalskeppet Vasa kan ha orsakats av svavel-föreningar men bibehåller sin uppfattning att "vatten kan korrodera koppar".

Bojinov et al. rapporterade en studie av korrosion av koppar i rent syrgasfritt vatten där en rad olika elektrokemiska metoder använts. [18] Författarna drog följande slutsatser från studien:

- a) Det bildas ett kopparoxidlager på kopparmetallytan under förbehandlingen i närvaro av små mängder syrgas. Detta oxidskikt kunde avlägsnas med hjälp av elektrokemisk behandling.
- b) Ingen mätbar ökning av kopparkoncentrationen i vattenlösningen kunde detekteras som funktion av den tid metallisk koppar befunnits i vattnet. Det kan därför understrykas att det under de givna experimentförhållandena inte har påvisats någon pågående korrosion.
- c) Beräkningar baserade på den föreslagna hastighetsmodellen leder till slutsatsen att vid vilopotential har huvuddelen av den koppar(I)förening som kan bildas på ytan (skrivs som CuOH) skett genom reduktion av koppar(II)föreningar i vattenlösningen. Bildningen av koppar(I)föreningar på kopparytan är därför inte relaterad till korrosion av metallisk koppar under de förhållanden som använts i experimenten.

Hultquist et al. rapporterade en ny studie där de använt samma metoder som i tidigare studier. [19] Utöver tidigare rapporterade resultat finner Hultquist et al. att vätegaskoncentrationen har ett svagt beroende av hydroxidjonkoncentrationen, dvs. pH-värdet i vattenlösningen, och att korrosionsprocessen beror på vätemängden i kopparprovet.

Johansson et al. rapporterade i en beräkningsstudie “On the formation of hydrogen gas on copper in anoxic water”, [20] att deras resultat visar att vattenmolekylen kan delas till en väteatom och en hydroxylradikal, där den senare binder till en kopparatom i ytan. Väteatomerna reagerar med varandra för att bilda vätemolekyler som kan lämna kopparytan som vätgas. Denna reaktion kan fortgå till dess att ett monolager av hydroxylgrupper täcker metallytan. Det tar längre tid för vätgas att lämna kopparytan i vattenlösning än i gasfas, och det tar längre tid för vätgas att lämna kopparytan i vattenlösning än det tar för en vattenmolekyl att delas upp på kopparytan. Ett monolager av hydroxylgrupper på en kopparyta motsvarar att det bildas 2,4 ng vätgas/cm² kopparyta. Därefter förutsätts att kopparkorrosionsprocessen avstannar.

Becker och Hermansson gjorde om de experiment som Hultquist et al. tidigare redovisat för att fastslå eller förkasta hypotesen om att rent syrgasfritt vatten kan korrodera metallisk koppar. [21] De kunde konstatera att mängden vätgas som bildades var mindre än väntat, jämfört med de mängder metallföreningar (Cu, Mn, Fe, Co, Ni, Ag, Zn etc.) som fanns i vattenlösningen. De drog slutsatsen att koppar korroderar i rent syrgasfritt vatten. Författarna skriver att deras vätgasanalyser endast kan användas kvalitativt, och att vätgasmängderna var under detektionsgränsen för den använda metoden och därmed osäkra.

King och Lilja publicerade 2011 en översiktsartikel för att sammanfatta och utvärdera de rapporterade resultaten vad avser korrosion av koppar i rent syrgasfritt vatten. [22] De understryker att de resultat som Hultquist och medarbetare redovisat [1, 5, 9, 11, 13, 17, 19] inte har kunnat reproduceras av några andra forskare. De hävdar vidare att även om resultaten som Hultquist et al. redovisat skulle vara riktiga, så skulle påverkan på kopparbehållarna i ett slutförvar vara begränsat. [22] Åkermark et al. kritiserar King och Lilja i ett svar till denna översiktsartikel för att de inte tagit hänsyn till felaktigheter i de experiment som visat motsatta resultat till de som Hultquist et al. redovisat. [23] Åkermark et al. tog också upp LOT-försöken som visat mycket större korrosionshastigheter än vad som förväntats. I ett svar till Åkermark et al. beskriver King et al. LOT-försöken i större detalj än i den ursprungliga publikationen och konstaterar att korrosionshastigheten är i storleksordningen 0,15 µm/år, och att den huvudsakliga korrosionsprodukten är koppar(I)oxid, Cu₂O, och malakit, Cu₂(OH)₂CO₃, och

att påtaglig diffusion av kopparföreningar ut i den omgivande bentonitleran konstaterats, med en beräknad korrosionshastighet på 3 µm/år. [24] Detta är i överensstämmelse med den förväntade kopparkorrosionen under förhållanden med tillgång till syre. Syret förutsattes komma från porvatten i bentonitleran. De bibehåller sin uppfattning att:

... de observationer som Hultquist et al. har gjort är intressanta, men eftersom ingen experimentellt verifierad korrosionsmekanism, kopplad till vätgasbildningen, presenterats finns det inte tillräckliga bevis för att ta med ett sådant förhållande i modellerna för den tid kopparbehållarna i ett slutförvar uppfyller sin funktion. [24]

King, Lilja and Vähänen publicerade 2013 en översiktsartikel ”Progress in the understanding of the long-term corrosion behaviour of copper canisters” utan att rapportera några nya studier eller resultat. [25] Deras slutsats är att metallisk koppar inte korroderar i rent syrgasfritt vatten.

Betova, Bojinov och Lilja rapporterade samma år en ny elektrokemisk studie av koppar i syrgasfritt neutralt vatten innehållande en boratbuffert för att stabilisera pH-värdet (7,3) och för att upprätthålla en definierad jonstyrka. [26] De kom fram till samma slutsatser som i sin tidigare studie, [18] där de föreslog att kopparytan täcks av tre typer av adsorberade föreningar, vatten, hydroxylgrupper och koppar(I)hydroxid; den senare föreningen kan vara en intermediär struktur till koppar(I)oxid; ($2 \text{CuOH}(s) \rightarrow \text{Cu}_2\text{O}(s) + \text{H}_2\text{O}$).

Hultquist et al. rapporterade ett långtidsexperiment, ~19 000 timmar, där koppar förvarats i syrgasfritt destillerat vatten, och där vätgastrycket i behållaren mättes. [27] De kopparföreningar som bildats på kopparytan bestämdes *ex-situ* med svepelektronmikroskopi (SEM), röntgenfotoelektron-spektroskopi (XPS) och SIMS. XPS indikerade en korrosionsprodukt som innehåller både oxid och hydroxid, och SIMS visade att syre huvudsakligen förekommer i de yttre 0.3 µm av ytan, medan väte har penetrerat djupare in i kopparmaterialet långt under korrosionsprodukterna.

Boman et al. redovisade en sex månaders studie av kopparkorrosion i rent syrgasfritt vatten med målsättningen att reproducera Hultquist et al.’s resultat, och att använda så rena kemikalier som möjligt och känsliga analysmetoder som XPS, Augerelektron-spektroskopi (AES), högupplösande atomabsorptionsspektrofotometri

(ICP-MS) och röntgenfluorescens-spektroskopi (XRF). [28] Den enda förening som kunde detekteras på kopparytorna var extremt små mängder koppar(I)oxid (mindre än ett monolager). Endast mycket små mängder koppar kunde detekteras i vattnet (4,5 µg), och på glasväggarna i de använda kärlen (mindre än 0,02 nm). Den bildade gasen var till 99 procent vätgas. Den mängd vätgas som detekterats var betydligt större än den mängd kopparföreningar som bildats under försökets gång. Den mängd vätgas som detekterats var vidare oberoende av om metalliskt koppar förvarats i vattnet eller ej. Hypotetiskt föreslogs att den vätgas som detekterats kom från det rostfria stålet i experimentuppsättningen.

Cleveland et al. rapporterade från simulerade modellstudier att i frånvaro av vätgas korroderar koppar i avjoniserat vatten med mycket låg syrgaskoncentration, i storleksordningen 1 ppb (miljarddelar), med i storleksordningen 1 nm/dag, och att korrosionshastigheten ökar med ökad koncentration av syrgas och koppar(I)joner. [29] De framförde att den korrosionshastighet de uppmätt inte medför några konsekvenser för de flesta tekniska tillämpningar, men tillräckligt för funktionen hos koppar i tillämpningar på nanostrukturnivå. [29] Denna studie kritiserades i en kommentar från Spahiu och Puigdomenech som ansåg att den observerade korrosionen kan härledas till spårmängder syrgas i försöket. [30] I ett svar till denna kommentar anser Cleveland et al. att kritiken i vissa avseende varit riktig, men de står fast vid de grundläggande slutsatserna de drog i originalartikeln. [31]

Hultquist rapporterade en studie där vattenånga var i kontakt med kopparytor vid 120, 180 och 500 °C. [32] Valet av temperaturintervall gjordes med anledning av att vid 250 °C gasas vätgas ut ur metallisk koppar. Hultquist drog slutsatsen att kopparvätebindningar bryts vid cirka 250 °C, och att exponering av syragasfri vattenånga vid 120 °C ger en synlig reaktionsprodukt och upptag av syre i kopparn. [32]

Innehållet i den SSM-rapport Hultquist et al. publicerade, [27] publicerades senare också i *Corrosion Science*. [33] Hedin et al. svarade på denna publikation där de ifrågasatte: a/ tillförlitligheten i de rapporterade experimenten, b/ slutsatserna avseende kontinuerliga bulkreaktioner från ytreaktioner och c/ författarnas föreslagna modell för korrosion. [34] I ett svar till Hedin et al. avvisar Hultquist

de ifrågasättanden som gjorts. [35] I ett slutligt svar från Hedin et al. hävdar de att kritiken i det ursprungliga svaret kvarstår. [36]

Betova, Bojinov och Lilja rapporterade i två uppföljande elektrochemiska studier, där olika metoder användes, orsaken och mekanismen bakom vätgasbildningen i rent syrgasfritt kopparvattensystem. [37, 38] De hävdar att vätgasutveckling från koppar är en katalytisk ytreaktion som inte är direkt relaterad till någon korrosionsprocess av metallisk koppar. Detta motiveras med att ingen bestående ökning av koncentrationen av lösliga kopparföreningar sker, och ingen kontinuerlig vätgasbildning inträffar. De har också funnit, som tidigare, [18, 26] att bildningen av koppar(I)föreningar som innehåller väte och syre kommer från reduktion av lösliga koppar(II)joner och oxidation av metallisk koppar.

Studien av Boman et al som diskuterats ovan, [28] förlängdes till totalt 29 månader. [39] I denna fortsatta och kompletterande studie vidhåller författarna Ottosson et al. slutsatserna från den första studien. Ett viktigt ställningstagande är:

Detektionen av vätgas (från ett korresponderande reaktionssteg) och mätningen av dess tryck borde vara vetenskapligt tveksamt för att framhålla att koppar korroderar märkbart i vatten när andra källor för vätgasbildning finns närvarande; specifikt, rostfritt stål och komponenterna som använts i tryckmätarna.

Szakálos et al. ifrågasatte om kontrollen av syrgas och vätgas i studien varit tillräckligt noggrann, och att förbehandlingen av kopparproverna kan allvarligt ha påverkat resultaten. [40] I ett svar till Szakálos et al. bibehåller Ottosson et al. sin uppfattning att deras mätningar utförts på ett riktigt sätt, och att skillnaderna i deras olika syn på problemet är ett missförstånd. [41]

Hedin et al. publicerade en annan studie [42] med syftet att försöka reproducera studierna som rapporterats av Hultquist et al., [11, 15, 19, 27, 33] och då använda så rena kemikalier och instrumentuppsättningar som möjligt för att kritiskt utvärdera rapporterade experiment och resultat. De nya experimenten från Hedin et al. visar:

- a) ingen vätgasutveckling utanför bakgrunds nivåerna kunde observeras då koppar placerats i rent syrgasfritt vatten i ett glassystem, för en rad olika kopparkvalitéer och ytbehandlingar. Det enda exemplet på en kontinuerlig vätgasutveckling var på grund av utgasning av en särskild kopparkvalité.
- b) Ingen vätgasutveckling utöver bakgrunds nivåerna kunde observeras från koppar i rent syrgasfritt vatten.

Författarna drar slutsatsen att resultaten från deras studie:

... ger inget stöd för att det förekommer någon bestående korrosion av koppar i rent syrgasfritt vatten som är större än känsligheten för de experimentella metoder som använts.

He et al. rapporterade att kopparpotentialen och korrosionshastigheterna i syrgasfritt vatten är mycket känsliga för restkoncentrationer av syrgas i vattenlösning. Korrosionshastigheterna är i storleksordningen submikrometer till mikrometer per år beroende på koncentrationen av syrgas. [43] Korrosionsprodukten var huvudsakligen koppar(I)oxid. Mindre mängder vätgas detekterades från autoklaven som användes som testcell. De kunde emellertid inte korreleras till kopparkorrosion på grund av korrosion av autoklavmaterialet.

Senior et al. observerade en initial vätgasavgång hos kopparprover i rent vatten, som avstannade efter cirka 70 dagar. [44] Kopparproverna rengjordes kemiskt i början av experimentet, men de var inte skyddade från luft.

5.3.2 Rapporter från SKB och Posiva

Den första SKB-rapporten om kopparkorrosion i djupa geologiska slutförvar publicerades 2001. [45] I rapporten beskrivs termodynamiken för kopparkorrosion i torr och fuktig luft och under de förhållanden som förväntas råda i ett slutförvar före och efter vattenmättnad av bentonitbufferten mycket detaljerat. Denna beskrivning inkluderar påverkan av vätesulfid och höga kloridkoncentrationer. Kopparbehållarnas yta kommer vid tiden för deponering i slutförvaret att vara täckta av ett homogent skikt av koppar(I)oxid som är mindre än 1 mm tjockt. På denna yta kommer också andra oxidationsprodukter som

basiska koppar(II)salter som t.ex. $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$ att finnas. Beroende på den mängd syre som kommer att finnas i deponeringshålen från början, kan det förväntas att ytterligare 0.3 mm koppar(I)oxid kommer att bildas innan all syrgas är förbrukad. En uppdaterad version av denna SKB-rapport publicerades 2010. [46] I en separat rapport "Critical review of the literature on the corrosion of copper by water" utvärderades de resultat som Hultquist och medarbetare har rapporterat. Rapporten var kritisk till resultaten, som också jämfördes med arbeten från andra forskargrupper som försökt, men inte lyckats, reproducera dessa resultat. [47]

I ett nytt försök att upprepa experimenten som Hultquist et al. rapporterat, fick VTT Technical Research Center of Finland i uppdrag av SKB att göra en sådan studie vilken redovisades 2013. [48] Kopparfolier placerades i syrgasfritt avjonat vatten i Erlenmeyerkolvar i en handskbox med inert atmosfär. Fyra korrosionsexperiment startades (Cu1, Cu2, Cu3, Cu4) liksom ett antal referensexperiment i luft. Experimenten avslutades efter tre och ett halvt år. Cu1 och Cu2 hade gastäta förseglingar medan Cu3 och Cu4 förslöts med palladiumfolie som tillåter transport av vätgas. Provkärlen förvarades under experimentets gång i en sluten rostfri stålbehållare för att skydda proven från spårmängder syrgas i den inerta atmosfären och från ljus. Det kunde inte observeras några synliga förändringar av kopparytorna i något av proven i handskboxen. Cu3 provet avslutades efter 746 dagar, drygt två år. Analys av palladiummembranet visade på förekomst av vätgas. Den uppmätta mängden $7.2 \cdot 10^{-5}$ mol H_2 motsvarar ett Cu_2O -skikt med tjockleken 200 nm. Det var inte i överensstämmelse med den med SIMS uppmätta tjockleken 6 ± 1 nm. Cu3 provet uppvisade en viktminskning vilket indikerar att vatten avdunstat genom epoxyförslutningen ut till stålbehållaren. Om så var fallet, kan en förklaring till den observerade vätgasen vara syregasfri korrosion av stållytan. En motsvarande viktminskning kunde inte observeras i parallellprovet Cu4. Referensprovet som förvarats i luft uppvisade synliga tecken på korrosionsprodukter.

I en parallellstudie vid Uppsala universitet som utförts på uppdrag av SKB gjordes också försök att upprepa resultat som publicerats av Hultquist et al., och resultaten publicerades som SKB-rapporter 2013 (svenska) och 2014 (engelska). [49] Resultaten från denna studie finns också publicerade i den vetenskapliga tidskriften *Corrosion Science* 2017,[39] vilka har diskuterats närmre ovan. I en

uppföljande studie där ytterligare försiktighetsåtgärder vidtagits vad gäller försöksdesign rapporterades 2016,[50] och i *Corrosion Science* 2018,[41] vilket även beskrivits i ovanstående text.

I en studie utförd av Microbial Analysis Sweden AB, Göteborg, mättes vätgasutvecklingen i omsorgsfullt förslutna provrör innehållande olika kopparkvalitéer i rent syrgasfritt vatten som pH-justerats och i vatten som innehöll koksalt (natriumklorid), och där kopparytorna tvättats och behandlats på olika sätt. [51] Vätgas- och syrgaskoncentrationerna i gasfasen i provrören analyserades med gaskromatografi. Experimenten pågick i 1,0–2,3 år. Den allmänna slutsatsen var att den vätgasmängd som kunde detekteras var oberoende av om koppar förvarats i vatten eller ej, och att vätgasutvecklingen inte kunde relateras till kopparkorrosion. [51] Denna studie fortsatte och ytterligare resultat rapporterades 2019 med samma slutsatser som tidigare. [52]

I en teknisk rapport från 2019 skriver SKB:

Avseende kopparkorrosion i rent syrgasfritt vatten kan följande slutsats dras. Det finns ingen anledning att anta att denna form av korrosion sker i sådan omfattning att den överskrider den som kan förutses från etablerade termodynamiska data. Slutsatsen är baserad på en noggrann utvärdering av tillgängliga vetenskapliga bevis i frågan. En ytterligare slutsats är att data från några få forskare som hävdar att en betydligt mer omfattande korrosion än vad som kan förutses från termodynamiska data, skulle orsaka en korrosion på ca. en millimeter under 1 miljon år vilket är väl inom marginalerna för säkerhetsanalysen. Grundat på i första hand den första av dessa slutsatser, kopparkorrosion i rent syrgasfritt vatten kommer fortsättningsvis inte att beaktas i denna rapport då etablerade termodynamiska data förutser korrosionsdjup under slutförvarförhållanden som är fullständigt försumbara under den tidsperiod som ska bedömas. [53]

I en teknisk rapport från Posiva redovisas flera långtidsexperiment, där det längsta pågick i sex år, på möjlig kopparkorrosion i rent syrgasfritt vatten kunde vätgas detekteras i vissa experiment, men ingen kopparkorrosion kunde detekteras. [54] Mycket tunna skikt av koppar(I)oxid visade sig lösas upp med tiden, vilket visats med XPS-ytanalyser och kemisk analys av vattenlösningen. För olika kopparkvalitéer uppmättes olika nivåer av vätgasavgång. För Cu-OFP, den kopparkvalité som planeras att användas i kapslarna i slutförvaret, kunde vätgasavgång detekteras medan så inte var fallet för 6N-Cu. Detta betyder att vissa kopparkvalitéer innehåller väte och att avgången av vätgas är mycket långsam.

5.4 Relation mellan rapporterade experiment och slutförvarsförhållanden

Experimenten som refereras ovan är utförda i bågare eller autoklav med kopparfolier eller koppartrådar omgivna av förhållandevis mycket vatten. Tunna folier eller trådar har hög kvot mellan yta och massa. Omgivande vatten kan kontinuerligt transportera bort eventuella korrosionsprodukter och bildad gas från ytan. I förvaret, under ideala förhållanden, är kopparkapslarna omgivna av vattenmättad bentonit och har därmed kontakt med en begränsad mängd grundvatten, och flödet mellan kopparytan och grundvatten är mycket begränsat. Kapslarna har en låg kvot mellan yta och massa. Omgivande grundvatten är i huvudsak bundet i bentoniten och eventuella korrosionsprodukter och gas kan endast långsamt transporteras bort genom diffusion. Detta förhållande gäller dock inte om bentoniten eroderat och grundvatten är i direkt kontakt med kopparkapseln. Då ökar risken för korrosion med sulfidföreningar, och flödet av grundvatten fram till kopparkapseln och halten av sulfidföreningar kommer att bestämma kopparkorrosionen.

Sulfidkorrosion av koppar är den mest relevanta processen för bildning av vätgas under slutförvarsförhållanden. [55] På grund av den begränsade tillgången av sulfidjoner vid kapselytan förväntas endast låga halter av väte bildas. Därför är den maximala mängden av väte från sulfidkorrosion eller radiolys som kan tränga in i kopparkapseln också begränsad. Hur väte och andra spårämnen i metallisk koppar påverkar dess mekaniska egenskaper beskrivs i kapitel 6 i denna kunskapslägesrapport.

Ett slutförvar är inte ett öppet system varifrån bildad vätgas fritt kan avlägsnas då diffusion av vätgas genom vattenmättad bentonit är mycket långsam, <1 nm/år. Under de förhållanden som förväntas råda i ett slutförvar kommer bildad vätgas snabbt uppnå sitt jämviktstryck vid kopparkapselytan och då är förutsättningarna för att reaktion (1) ska ske starkt begränsade. Detta leder till mycket låga korrosionshastigheter enligt reaktion (1) då endast små mängder av vätgas och koppar(I)-joner kan ackumuleras i systemet innan reaktionen avstannar. Processen kontrolleras av såväl att jämvikten för reaktion (1), är kraftigt förskjuten åt vänster, se ovan, som de låga diffusionshastigheterna av vätgas och koppar(I)-joner under slutförvarsförhållandena. För bedömning av kopparkorrosion i slutförvars-

miljö är därför korrosionshastigheten av koppar i rent syrgasfritt vatten mer av ett vetenskapligt intresse än av praktisk betydelse, eftersom kopparkapslarna kommer att utsättas för grundvatten som innehåller upplösta mineraler och inte rent vatten. [53, 56] Detta innebär att det är andra korrosionsprocesser i slutförvarsmiljön än den som beskrivs av reaktion (1) som kommer att dominera såsom sulfidkorrosion, strålningsinducerad korrosion och spänningskorrosion [53, 56], vilka kommer att vara viktigast för bedömningen av kopparkapselns långsiktiga integritet. Kopparkapslarna kommer att exponeras för en kemiskt reducerande sulfidmiljö, och kopparkorrosion kommer att bero på tillgången av sulfidjoner på kapselytan som blir täckt av en sulfidfilm, snarare än av en oxid- eller hydroxidfilm.

5.5 LOT-försök och prototyptester

SKB startade 1996–1999 sju långtidsexperiment för att i första hand studera de fysikalisk-kemiska och mekaniska egenskaperna hos bentonitbufferten under slutförvarsförhållanden, LOT. [57] Ett annat syfte var att studera kopparkorrosion genom analyser av kopparröret och kopparbleck (kuponger) som förts in i bentonitleran. Eftersom kopparrören som används i LOT-försöken inte innehåller kärnavfall installerades värmelement så att den förväntade temperaturen i slutförvaret erhöles. Det gjordes två serier LOT-försök: A-serien (A0, A1, A2, A3) med en temperatur som överstiger den förväntade i slutförvaret, cirka 120 °C, och S-serien (S1, S2 och S3) med den temperatur som förväntas i slutförvaret, cirka 90 °C. Experimenten A0, A1 och S1 avslutades efter ett år, A2 efter sex år, och A3 och S2 avslutades efter 20 år 2019. Det återstående försöket S3 planeras att avslutas och analyseras 2023. Eftersom LOT-experimenten inte är upplagda för koppar-korrosionsstudier på detaljnivå gjordes inte någon karakterisering av kopparn före starten av experimenten och slutsatserna som kan dras vad gäller korrosionsprocesser är därför begränsade.

Det översiktliga resultatet av kopparkorrosionen i LOT-försöken ger ingen tydlig information om kopparkorrosionen inträffat tidigt under försökens gång eller om korrosionen är fortgående. Den rapporterade kopparkorrosionen uppvisar en oklar bild och några slutsatser om korrosionen som funktionen av tid kan inte dras. [57]

Däremot framgår det tydligt att korrosionen av koppar ökar kraftigt med ökande temperatur,[57] och följaktligen finns det mera korrosionsprodukter i A-försöken än i S-försöken.

Utöver LOT-försöken har SKB även gjort försök med fullskaliga kopparkapslar men utan kärnbränsle eller uppvärmning under förhållanden som ska ha varit representativa för slutförvaret, en försöksserie kallad ”Prototyp”. [58] Kopparkapslarna förvarades under dessa förhållanden under sju år. SKB rapporterar lokala korrosionsangrepp som var 3–5 μm djupa, och de kopparföreningar som detekterats var koppar(I)oxid, Cu_2O , och malakit, $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$.

5.6 Bildning av vätgas i kemiska experiment

I många av de experiment där korrosionen av metallisk koppar studerats har bildningen av vätgas använts som bevis för att koppar korroderat. En central kemisk regel är lagen om bibehållen massa som säger att vikten hos reaktanterna och produkterna måste vara desamma. För att visa att vätgasbildningen verkligen kommer från en reaktion där koppar korroderar måste vikten av den bildade vätgasen korreleras med den vikt som kopparens oxidationsprodukter har. Det finns ett antal möjliga förklaringar till vätgasbildningen under de experimentella betingelser som rapporterats. Vattenmolekyler kan splittras på koppar och kopparoxidytor vilket kan ge upphov till vätgasbildning utan att koppar korroderar. Vätgasbildning kan också äga rum genom korrosion av metall i andra delar av experimentuppsättningen, och på grund av avgasning av tidigare upptaget väte då temperaturen höjs eller trycket minskar. En minskning av vätgasbildningen med tiden i ett experiment kan vara en indikation på att det kan vara en alternativ reaktion till en fortgående korrosion av koppar. Det är därför mycket viktigt att säkerställa att experimentuppsättningen eller kopparprovet själv inte avger vätgas. Det är också viktigt att använda ett antal olika analytiska metoder för att om möjligt bestämma koncentrationen av de kemiska föreningar som bildas eller förbrukas, och att lagen om bibehållen massa är uppfylld.

5.7 Slutsatser av vikt för kopparkorrosionsfrågan utifrån litteraturstudien

I frågan om huruvida rent syrgasfritt vatten kan oxidera (korrodera) ren metallisk koppar, kan följande slutsatser dras från de vetenskapliga belägg som publicerats och beskrivits ovan:

- Kända termodynamiska data visar att jämvikten för reaktionen $2 \text{Cu}(s) + \text{H}_2\text{O}(l) \rightleftharpoons \text{Cu}_2\text{O}(s) + \text{H}_2(g)$ är kraftigt förskjuten åt vänster och att endast extremt små mängder koppar (I) oxid och vätgas kan bildas innan kemisk jämvikt inträtt och reaktionen avstannar.
- Hultquist och medarbetare drar slutsatsen i en rad undersökningar att rent syrgasfritt vatten kan oxidera ren metallisk koppar. Detta sker genom att det bildas en fast förening på kopparytan, H_xCuO_y . Denna måste vara betydligt mer termodynamiskt stabil än koppar(I)oxid, Cu_2O , för att reaktionen mellan koppar och syrgasfritt vatten ska vara termodynamiskt tillåten, (se diagram 3 i appendix 1). Den fasta föreningen H_xCuO_y har dock ännu så länge inte karakteriserats med kemisk analys eller fysikalisk-kemiska metoder, och dess existens har ifrågasatts. Föreningen $\text{Cu}(\text{OH})_2(s)$ är däremot välkänd och karakteriserad, men den är mindre stabil än koppar(I)oxid. Detta är skälet till att den huvudsakliga förening man finner när koppar oxideras i luft är koppar(I)oxid. Teoretiska beräkningar har visat att föreningen CuOH är instabil och sönderfaller enligt följande reaktion $2 \text{CuOH}(s) \rightarrow \text{Cu}_2\text{O} \cdot \text{H}_2\text{O}(s) \rightarrow \text{Cu}_2\text{O}(s) + \text{H}_2\text{O}(l)$. [59]
- Ett antal försök har gjorts för att upprepa de studier Hultquist och medarbetare har redovisat, där särskilt experimentförhållandena och kemikaliernas renhet har kontrollerats noga. Resultaten av dessa försök har inte kunnat verifiera de resultat Hultquist och medarbetare redovisat, se redovisningen ovan.
- Hultquist och medarbetare har inte visat att den vätgas som bildats i deras experiment korrelerar med den massa de bildade kopparkorrosionsprodukterna borde ha.
- Trots dessa slutsatser visar litteraturgenomgången att kontroversen fortfarande pågår.

Regeringens beslut

Efter att sammanställningen av detta kapitel slutförts har regeringen fattat beslut om tillåtlighet för uppförandet av ett slutförvar för använt kärnbränsle. Regeringen skriver i sitt beslut [60] att:

... SKB på ett tillfredsställande sätt har kompletterat ärendet med de uppgifter i fråga om osäkerheter om kapselns skyddsförmåga på lång sikt som mark- och miljödomstolen efterfrågar i sitt yttrande till regeringen.

Regeringen bedömer att verksamheten ”uppfyller miljöbalkens krav på bästa möjliga teknik”. Regeringen skriver samtidigt att den vill ”vara tydlig med att forskningen om väsentliga frågor, bl.a. koppar-kapselns hållbarhet, inte kommer att avstanna” och pekar på att SKB inom ramen för dels kommande Fud-program, dels den stegvisa prövningen kommer ”att behöva redovisa de kvarvarande resultaten från LOT-försöken, göra nya säkerhetsanalyser och även bedriva ytterligare forskning om kopparkorrosion

Referenser

1. Hultquist, G. “Hydrogen evolution in corrosion of copper in pure water.” *Corros. Sci.* 1986, 26, 173–177.
2. Kärnavfallsrådet. 2009. *Mechanisms of Copper Corrosion in Aqueous Environments*, Swedish National Council for Nuclear Waste, report 2009:4e. Tillgänglig på www.karnavfallsradet.se/search/content/Mechanisms%20of%20Copper%20Corrosion%20in%20Aqueous%20Environments (hämtad 2022-02-01).
3. Kärnavfallsrådet. 2014. *New insights into the repository’s engineered barriers*, Swedish National Council for Nuclear Waste report 2014:1e. Tillgänglig på: www.karnavfallsradet.se/search/content/New%20insights%20into%20the%20repository%E2%80%99s%20engineered%20barriers (hämtad 2022-02-01).
4. Simpson, J. P.; Schenk, R. ”Hydrogen evolution from corrosion of pure copper.” *Corros. Sci.* 1987, 27, 1365–1370.

5. Hultquist, G.; Chuah, G. K.; Tan, K. L. "Comments on hydrogen evolution from the corrosion of pure copper." *Corros. Sci.* 1989, 29, 1371–1377.
6. Eriksen, T.; Ndalamba, P.; Grenthe, I. "On the corrosion of copper in pure water." *Corros. Sci.* 1989, 29, 1241–1250.
7. Möller, K. 1995. *Kopparkorrosion i rent syrefritt vatten*. SKI Rapport 95:72, (in Swedish).
8. Beverskog, B.; Puigdomenech, I. "Revised Pourbaix diagrams for copper at 25 to 300 °C". *J. Electrochem. Soc.* 1997, 144, 3476–3483.
9. Szakalos, P.; Hultquist, G.; Wikmark, G. "Corrosion of copper by water, passivation, and anodic films." *Electrochem. Solid-State Lett.* 2007, 10, C63–C67.
10. Johansson, L.-G. Comment on "Corrosion of copper by water". *Electrochem. Solid-State Lett.*, 2008, 11, S1–S1.
11. Szakalos, P.; Hultquist, G.; Wikmark, G. Response to the comment on "Corrosion of copper by water" [Electrochem. Solid-State Lett., 10, C63, (2007)]. *Electrochem. Solid-State Lett.* 2008, 11, S2–S2.
12. Rosborg, B.; Werme, L. "The Swedish nuclear waste program and the long-term corrosion behaviour of copper." *J. Nucl. Mater.* 2008, 379, 142–153.
13. Hultquist, G.; Szakalos, P.; Graham, M. J.; Belonoshko, A. B.; Sproule, G. I.; Gråsjö, L.; Dorogokupets, P.; Danilov, B.; Astrup, T.; Wikmark, G.; Chauh, G.-K.; Eriksson, J.-C.; Rosengren, A. "Water Corrodes Copper." *Catal. Lett.* 2009, 132, 311–316.
14. Sandström, M.; Jalilehvand, F.; Persson, I.; Gelius, U.; Frank, P.; Hall-Roth, I. "Deterioration of the seventeenth century warship Vasa by internal formation of sulphuric acid." *Nature* 2001, 415, 893–987, and references therein.
15. Tran, T. T. M.; Fiaud, C.; Sutter, E. M. M.; Villanova, A. "The atmospheric corrosion of copper by hydrogen sulphide in underground conditions." *Corros. Sci.* 2003, 45, 2787–2802.

16. Werme, L. O.; Korzhavyi, P. A. Comment on Hultquist et al. "Water Corrodes Copper". *Catal. Lett.* 2009, 135, 165–166.
17. Hultquist, G.; Szakalos, P.; Graham, M. J.; Belonoshko, A. B.; Rosengren, A. Reply to Lars O. Werme et al. "Comments on 'Water Corrodes Copper'" *Catal. Lett.* 2010., 135, 167–168.
18. Bojinov, M.; Betova, I.; Lilja, C. "A mechanism of interaction of copper with a deoxygenated neutral aqueous solution." *Corros. Sci.* 2010, 52, 2917–2927.
19. Hultquist, G.; Graham, M. J.; Szakalos, P.; Sproule, G. I.; Rosengren, A.; Gråsjö, L. "Hydrogen gas production during corrosion of copper by water." *Corros. Sci.* 2011, 53, 310–319.
20. Johansson, A. J.; Lilja, C.; Brinck, T. "On the formation of hydrogen gas on copper in anoxic water." *J. Chem. Phys.* 2011, 135, 084709.
21. Becker, R.; Hermansson, H.-P. 2011 *Evolution of hydrogen by copper in ultrapure water without dissolved oxygen*. Report from Swedish Radiation Safety Authority. SSM Report 2011:34.
22. King, F.; Lilja, C. "Scientific basis for corrosion of copper in water and implications for canister lifetimes." *Corros. Eng. Sci. Technol.* 2011, 46, 153–158.
23. Åkermark, T. Some scientific considerations on the article: "Scientific basis for corrosion of copper in water and implications for canister lifetimes." Published by King and Lilja. *Corros. Eng. Sci. Technol.* 2013, 48, 475–476.
24. King, F.; Johansson, A. J.; Lilja, C. Reply to Some scientific considerations on the article: "Scientific basis for corrosion of copper in water and implications for canister lifetimes" published by F. King & C. Lilja *Corros. Eng. Sci. Technol.* 2013, 48, 477–479.
25. King, F.; Lilja, C.; Vähänen, M. "Progress in the understanding of the long-term corrosion behaviour of copper canisters." *J. Nucl. Mater.* 2013, 438, 228–237.
26. Betova, I.; Bojinov, M.; Lilja, C. "Long-Term Interaction of Copper with a Deoxygenated Neutral Aqueous Solution." *J. Electrochem. Soc.* 2013, 160, C49–C58.

27. Hultquist, G.; Graham, G. J.; Kodra, O.; Moisa, S.; Liu, R.; Bexell, U.; Smialek, J. L. 2013 *Corrosion of copper in distilled water without molecular oxygen and the detection of produced hydrogen*. SSM Research Report 2013:07. Tillgänglig på: www.stralsakerhetsmyndigheten.se/contentassets/70967b190f57464fad1a741eb88a2b41/201307-corrosion-of-copper-in-distilled-water-without-molecular-oxygen-and-the-detection-of-produced-hydrogen (hämtad 2022-02-01).
28. Boman, M.; Berger, R.; Andersson, Y.; Hahlin, M.; Björefors, F.; Gustafsson, T.; Ottosson, M. "Corrosion of copper in water free from molecular oxygen." *Corros. Eng. Sci. Technol.* 2014, 49, 431–434.
29. Cleveland, C.; Moghaddam, S.; Orazem, M. E. "Nanometer-Scale Corrosion of Copper in De-Aerated Deionized Water." *J. Electrochem. Soc.* 2014, 161, C107-C114.
30. Spahiu, K.; Puigdomenech, I. Comment on "Nanometer-scale corrosion of copper in de-aerated deionized water" [J. Electrochem. Soc. 161, C107 (2014)]. *J. Electrochem. Soc.* 2016, 163, Y3-Y4.
31. Cleveland, C.; Orazem, M. E.; Moghaddam, S. Response to Comment on "Nanometer-scale corrosion of copper in de-aerated deionized water" [J. Electrochem. Soc. 161, C107 (2014)]. *J. Electrochem. Soc.* 2016, 163, Y5–Y11.
32. Hultquist, G. "Why copper may be able to corrode in pure water." *Corros. Sci.* 2015, 93, 327–329.
33. Hultquist, G.; Graham, M. J.; Kodra, O.; Moisa, S.; Liu, R.; Bexell, U.; Smialek, J. L. "Corrosion of copper in distilled water without O₂ and the detection of produced hydrogen." *Corros. Sci.* 2015, 95, 162–167.
34. Hedin, A.; Johansson, A. J.; Werme, L. Comment on "Corrosion of copper in distilled water without O₂ and the detection of produced hydrogen". *Corros. Sci.* 2016, 106, 303–305.
35. Hultquist, G.; Graham, M. J.; Smialek, J. L.; Kodra, O. Response to comment by A. Hedin et al. on "Corrosion of copper in distilled water without oxygen and the detection of produced hydrogen". *Corros. Sci.* 2016., 106, 306–307.

36. Hedin, A.; Johansson, A. J.; Werme, L. A further comment on "Corrosion of copper in distilled water without O₂ and the detection of produced hydrogen". *Corros. Sci.* 2016, 108, 215–216.
37. Lilja, C.; Betova, I.; Bojinov, M. "Electrochemical methods to study hydrogen production during interaction of copper with deoxygenated aqueous solution." *Electrochim. Acta* 2016, 202, 333–344.
38. Betova, I.; Bojinov, M.; Lilja, C. "Hydrogen generation during interaction of oxide covered copper with deoxygenated aqueous solution." *Electrochim. Acta* 2018, 274, 143–151.
39. Ottosson, M.; Boman, M.; Berastegui, P.; Andersson, Y.; Hahlin, M.; Korvela, M.; Berger, R. "Copper in ultrapure water, a scientific issue under debate." *Corros. Sci.* 2017, 122, 53–60.
40. Szakalos, P.; Åkermark, T.; Leygraf, C. Comments on the paper "Copper in ultrapure water, a scientific issue under debate" by M. Ottosson, M. Boman, P. Berastegui, Y. Andersson, M. Hahlin, M. Korvela, and R. Berger. *Corros. Sci.* 2018, 142, 305–307.
41. Ottosson, M.; Boman, M.; Berastegui, P.; Andersson, Y.; Hahlin, M.; Korvela, M.; Berger, R. Response to the comments by P. Szakalos, T. Åkermark and C. Leygraf on the paper "Copper in ultrapure water, a scientific issue under debate". *Corros. Sci.* 2018, 142, 308–311.
42. Hedin, A.; Johansson, A. J.; Lilja, C.; Boman, M.; Berastegui, P.; Berger, R.; Ottosson, M. "Corrosion of copper in pure O₂-free water?" *Corros. Sci.* 2018, 137, 1–12.
43. He, X.; Ahn, T.; Gwo, J.-P. "Corrosion of Copper as a Nuclear Waste Container Material in Simulated Anoxic Granitic Groundwater." *Corrosion* 2018, 74, 158–168.
44. Senior, N. A.; Newman, R. C.; Artymowicz, D.; Binns, W. J.; Keech, P. G.; Hall, D. S. "Communication-A Method to Measure Extremely Low Corrosion Rates of Copper Metal in Anoxic Aqueous Media." *J. Electrochem. Soc.* 2019, 166, C3015–C3017.

45. King, F.; Ahonen, L.; Taxén, C.; Vuorinen, U.; Werme, L. 2001. *Copper corrosion under expected conditions in a deep geological repository*. SKB Technical report TR-01-23.
46. King F.; Lilja, C.; Pedersen, K.; Pitkänen, P.; Vähänen, M. 2010. An update of the state-of-the-art report on the corrosion of copper under expected conditions in a deep geologic repository. SKB Technical Report TR-10-67.
47. King F. 2010. Critical review of the literature on the corrosion of copper by water. SKB Technical Report TR-10-69.
48. Ollila, K. March 2019. *Copper corrosion experiments in pure water under anoxic conditions*. Posiva working report 2018–2019, 60 pages; preliminary report: Ollila, K. Copper corrosion experiments in pure water under anoxic conditions. SKB report TR-13-34, 2013, 47 pages, available at: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/44/098/44098716.pdf (hämtad 2022-02-01).
49. Boman, M.; Ottosson, M.; Berger, R.; Andersson, Y.; Hahlin, M.; Björefors, F.; Gustafsson, T. 2013. *Koppars korrosion i ultrarent vatten*. SKB teknisk rapport R-13-31 (Swedish), *Corrosion of copper in ultrapure water*; 2014. SKB Technical Report TR-14-07 (English).
50. Ottosson, M.; Boman, M.; Berastegui, P.; Andersson, Y.; Hahlin, M.; Korvela, M.; Berger, R. 2016. *Corrosion of copper in ultrapure water*. SKB Technical Report TR-16-01.
51. Johansson, J.; Blom, A.; Chukharkina, A.; Pedersen, A. 2015. *Study of H₂ gas emission in sealed compartments containing copper immersed in O₂-free water*. SKB Technical Report TR-15-03,
52. Morsing Johansson, J.; Pedersen, K. 2019 “Continued measurements of stored samples from previous studies of hydrogen gas evolution in sealed compartments containing copper in oxygen-free water.” SKB document 1707895.
53. Hedin, A.; Johansson, J.; Lilja, C.; Sellin, P.; Kalinowski, B.; Björck, M.; Puigdomenech, I.; King, F.; Sandström, R.; Ektröm, P.-A. 2019. *Supplementary information on canister integrity issues*. SKB Technical Report TR-19-15.

54. Ollila, K. March 2019. *Copper corrosion experiments in pure water anoxic conditions*. Posiva working report 2018-19, Posiva Oy, Finland, 70 pages.
55. Forsström, A.; Becker, R.; Hänninen, H.; Yagodzinsky, Y.; Heikkilä, M. "Sulphide-induced stress corrosion cracking and hydrogen absorption of copper in deoxygenated water at 90°C." *Mater. Corros.* 2021, 72, 317–332.
56. Strålsäkerhetsmyndigheten. 2018. "Svar på begäran om synpunkter på inlagor rörande kopparkorrosion." Diariern. SSM2011-1135-27.
57. Johansson, A. J.; Svensson, D.; Gordon, A.; Pahverk, H.; Karlsson, O.; Brask, J.; Lundholm, M.; Malmström, D.; Gustavsson, F. 2021. *Corrosion of copper after 20 years of exposure in bentonite field tests LOT S2 and A3*. SKB Technical Report TR-20-14, and references therein.
58. Taxén, C.; Lundholm, M.; Persson, D.; Jakobsson, D.; Sedlakova, M.; Randelius, M.; Karlsson, O.; Rydgren, P. 2012 *Analyser av koppar från prototypkapsel 5 och 6*, SKB Rapport P-12-22, Tillgänglig på: www.skb.com/publication/2585939/P-12-22.pdf (hämtad 2022-02-01).
59. Soroka, I. L.; Shchukarev, A.; Jonsson, M.; Tarakina, N. V.; Korzhavyi, P. A. "Cuprous hydroxide in solid form: does it exist?" *Dalton Trans.* 2013, 42, 9585–9594.
60. Regeringsbeslut Miljödepartementet 2022-01-27. Tillåtlighetsprövning enligt 17 kap. miljöbalken av anläggningar i ett sammanhängande system för slutförvaring av använt kärnbränsle M2018/00217, M2017/02796, M2021/00969, s. 29.

Appendix 1

"Redoxreaktioner (elektronöverföringsreaktioner) och metalloxidytors kemi i vatten." Finns tillgänglig på Kärnavfallsrådets webbplats under "Rapporter" på: www.karnavfallsradet.se/publikationer (hämtad 2022-02-02).

6 Spårmängder av absorberade ämnen i metallisk koppar och hur de påverkar koppars mekaniska egenskaper

Metallers mekaniska egenskaper är starkt beroende av om de är rena eller uppblandade med andra grundämnen. Ett välkänt exempel är stål (gjutjärn) som förutom järn innehåller kol (grafit) och metaller som krom, nickel, vanadin och molybden. Beroende på sammansättningen får stålet olika mekaniska egenskaper och därmed olika tekniska tillämpningar. När en metall förenas med ett annat ämne störs den mycket välordnade atomstrukturen i den rena metallen, men det är svårt att förutse hur de mekaniska egenskaperna förändras. Koppar som tillförs mycket små halter fosfor har till exempel bättre mekaniska egenskaper än ren koppar, och är därför bättre att använda i kapslarna för slutförvaring av använt kärnbränsle. Om koppar däremot innehåller syre och väte försämras dess mekaniska egenskaper.

I kapitel 5 behandlas frågan om eventuell korrosion av koppar i rent syrgasfritt vatten, i relation till kopparkapseln i KBS-3-konceptet för ett slutförvar för använt kärnbränsle. Detta kapitel redovisar kunskapsläget för hur olika – mycket låga – halter av väte, syre, svavel och hydroxidjoner i koppar kan förväntas påverka kopparkapselns mekaniska egenskaper och därmed säkerheten under de förhållanden som förväntas råda i ett slutförvar (slutförvarsförhållanden). Kapitlet avslutas med att Kärnavfallsrådet ger förslag gällande behovet av fortsatt forskning inom området.

6.1 Kopparkapseln och väteupptag i koppar

För att säkerställa att kopparkapseln uppfyller kraven på mekaniska egenskaper har gränsvärden fastställts för hur stor andelen väte och syre får vara i kopparn. Dessa anges i miljondelar (ppm) av vikten och är för väte 0,6 ppm och för syre 5,0 ppm. [1] Lösligheten för väte i koppar är starkt beroende av temperatur och tryck. Vid normalt atmosfärstryck (1 atm) och rumstemperatur är lösligheten vid kemisk jämvikt 0,0001 ppm. Väte är vid dessa förhållanden alltså nästan olösligt i koppar, men vid 1 000 °C är lösligheten 1,2 ppm. [2] Lösligheten för gaser som vätgas och syrgas är också direkt beroende av koncentrationen (trycket) av gasen i fråga.¹ På grund av olika korrosionsprocesser kommer vätgas att vara i kontakt med kopparkapseln i slutförvaret. Under slutförvarsförhållanden kommer däremot syrgashalten i kontakt med kopparkapseln att vara mycket låg, och därför sker inget upptag av syre.

6.1.1 Processer som kan leda till väteupptag

Olika processer kan tänkas medföra väteupptag i kopparkapseln, till exempel korrosion, radiolys och bestrålning. Vid korrosion och elektrokemisk väteladdning är det svårt att bestämma det rådande vätgasstrycket. [3] För att kvantifiera väteupptagning från korrosion måste man experimentellt mäta vätehalten i metallen. Under slutförvarsförhållanden där både vätgasstryck och katodisk strömtäthet är låga beräknas förekomsten av molekylärt eller atomärt väte i kopparytan att vara liten.

Vid elektrokemisk väteladdning kan så höga vätehalter uppstå att vätgasbubblor bildas i koppar, till exempel i oxidpartiklar eller i kopparmaterial. Vätgasbubblor kan uppstå och växa när väte ackumuleras, och det inre gasstrycket i dessa väteporer kan öka till ett kritiskt värde (vid ungefär 1 000 gånger normalt atmosfärstryck, 1 000 atm). [4, 5] Då överskrids koppars s.k. sträckspänning och en plastisk bestående deformation kan bildas omkring porerna. Vid elektrokemisk väteladdning kan en ytlig bildning av vätebubblor ske men djupare inträngning av väte, genom spridning (diffusion) av atomärt väte,

¹ Detta beskrivs av Sieverts lag: $c = k p^{1/2}$, där c_{H_2} är atomkoncentrationen av väte (H_2) upplöst i metallen, p är partialtrycket (i atm) och k är en för systemet specifik konstant som är temperaturberoende.

sker endast mycket långsamt. Väteinträngning (vätepenetration) kan inte förväntas nå så långt att det påverkar koppars egenskaper under slutförvarsförhållanden.

En mekanism för sprickbildning är att det bildas hålrum på atomär nivå i kopparmetallen, där väteatomer från långsam sulfidkorrosion² kan ta plats. Detta kallas väteinducerad spänningskorrosion och den uppkommer genom att vätet ger lokal påverkan på atomär nivå i gränssytor i materialet (korngränser) och i sprickspetsar. På grund av den begränsade tillgången på vätesulfid och vätesulfidjoner vid kopparkapselns yta förväntas dock endast låga halter av vätgas bildas. Den maximala mängden vätgas från sådan sulfidkorrosion³ är begränsad. Därför är sannolikheten liten att vätgas leder till uppkomst av sprickor eller påverkar kapselns mekaniska egenskaper.

Korrosionsprocesser på gränssytor och i sprickspetsar sker enbart lokalt, med enbart lokal tillförsel av väte. Någon generell väteförspredning av kopparkapseln kan därför inte förväntas och kan därför inte antas påverka kapselns integritet. Generellt är vätehalten i kopparkapseln i balans.⁴

6.1.2 Experimentella studier av väteupptag i koppar

Avsnittet ovan beskriver de teoretiska samt kemiska och fysikaliska grunderna för väteupptag i koppar under slutförvarsförhållanden. Den följande texten diskuterar ett antal studier som lett fram till olika syn på betydelsen av väteupptag i kopparkapseln, och upptagets eventuella inverkan på kapselns långsiktiga säkerhetsfunktion.

En studie som undersökte väteupptaget under optimala förhållanden använde koppar i både grund- och svetsmaterial. [6] Efter exponering under 10 dagar vid 250° C och 1000 atm tryck visades att svetsmaterialet (FSW, Friction Stir Welding, svetsat i luft) innehöll oxidpartiklar och absorberade mer väte (upp till 4 vikts-ppm) än grundmaterialet (mindre än 0,6 vikts-ppm). Ett sådant väteupptag i grundmaterialet påverkar inte tøjbarheten (duktiliteten) eller hållfastheten hos koppar. [6] De experimentella temperatur- och tryckförhållandena var extrema jämfört med förhållandena i ett slutförvar.

² När vätesulfid och vätesulfidjoner reagerar med koppar bildas koppar(I)sulfid och vätgas.

³ Vätgas kan även bildas vid radiolys av vatten, men återigen i begränsad mängd.

⁴ Genom diffusion och desorption (avgasning), enligt Sieverts lag som beror på temperatur, vätehalten i koppar och väte tryck både omkring kapsel och i porer i metallen.

Till skillnad från slutsatserna i nämnda studie så beskrivs i en översiktsrapport [7] att det finns förutsättningar för lokala snabba korrosions- och försprödningsprocesser, liksom väteförsprödning och spänningskorrosion, i kopparkapslar i en slutförvarsmiljö. Det framförs att koppar försvagas av främst väte men även av svavel, vilket leder till sprickbildning i kapslarna om de utsätts för mekaniska spänningar. Den kombinerade effekten av svavel och väte skulle kunna ge upphov till snabbt växande spänningskorrosion och sprickor i kapseln under mekanisk dragspänning. I rapporten redovisas ett försök som utfördes med ett stycke koppar från SKB:s Äspölaboratorium [8], och slutsatsen dras att väte tränger igenom kapselväggen efter 7 års exponering. Väteanalyserna gjordes med SIMS (Secondary Ion Mass Spectrometry) och gällde ett stycke koppar från en ring som placerats ovanpå kopparkapseln och inte koppar från själva kapseln. Rapporten saknar dock en detaljerad beskrivning av försökets utförande (till exempel saknas en fullständig redovisning av instrumentering samt resonemangen om tolkning av data), vilket försvårar bedömningen av studiens vetenskapliga relevans. Detta gäller till exempel väteanalyserna gjorda med SIMS, som inte är en tillförlitlig analysmetod för att mäta så lätta atomer som väte. Resultaten har angetts (figur 3.12, referens [7]) som en atomkvot mellan väte och koppar (H/Cu) och i studien redovisas till exempel en kvot på 0,01, vilket skulle ge ett medelvärde för väte i kapselväggen på cirka 160 ppm. Medelvärdet av vätehalten i sex olika prov från samma ring i en annan studie (utförd med LECO Rhen 602-utrustning) var dock 0,43 ppm. [8] I översiktsrapporten anges också att vätehalten ökar från cirka 1 ppm till 6–40 ppm i kopparfolier som förvarats i rent, syrgasfritt vatten efter några års exponering. Vid sådana vätehalter, och särskilt vid 160 ppm, borde kopparprovet uppvisa allvarliga defekter, såsom stora väteblåsor och sprickor, [2] men det rapporterades inte. Det är därför önskvärt att resultaten i översiktsrapporten undersöks igen av andra laboratorier, förslagsvis genom att använda modern SIMS i kombination med andra mätmetoder som kan verifiera uppkomna resultat, till exempel termisk vätedesorption (thermal desorption spectroscopy, TDS) och elektronmikroskopi, det senare för att studera vätegasbubblor.

Den nämnda översiktsrapporten föreslår även en annan mekanism för väteupptag i koppar, nämligen s.k. ”vätesjuka”. Väteatomer som bildas när koppar korroderar sprids då in i kopparmetallen och

reagerar med inneslutna partiklar av kopparoxid i svetsfogarna, vilket i sin tur ger upphov till små blåsor av vattenånga på gränssytor. När dessa blåsor blir fler och trycket ökar uppstår spänningar som gör att metallen till slut spricker. Den metod som numera är tänkt att användas vid förslutning av kopparkapseln utförs dock i en atmosfär där argon används som skyddsgas för att motverka störande reaktioner och där ytorna noggrant rengörs, vilket tillsammans motverkar förekomsten av inneslutna kopparoxider. Eftersom en reaktion mellan eventuellt väte och eventuella kopparoxider dessutom bara äger rum vid höga temperaturer (över 300° C) är vätesjuka inte en förväntad skademekanism för kopparkapseln under slutförvarsförhållanden. [10]

6.1.3 Experimentella studier av upptag av syre, svavel och hydroxidjoner

Förutom väte omfattas även vissa andra ämnen som kan påverka kopparkapseln av gränsvärden. Studier av spridning av olika grundämnen i koppar har beräknat att syre och svavel inte rör sig nämnvärt i koppar vid de aktuella temperaturerna (under 100° C) i slutförvaret på grund av låg löslighet och mycket god förmåga hos koppar att bilda stabila föreningar av kopparoxid och kopparsulfid. [9] För temperaturer under 500° C finns inga experimentella data varken för syre eller svavel på grund av att någon diffusion inte kunnat mätas. En slutsats var att endast väte kan diffundera i koppar under slutförvarsförhållanden och att det tar minst 1 000 år vid rumstemperatur för väte att penetrera genom den 50 mm tjocka väggen av kopparkapseln vilket förklaras med den låga lösligheten och diffusiviteten av väte i koppar. [2]

Det framförs i nämnda översiktsrapport att KBS-3-metoden för ett slutförvar för använt kärnbränsle inte kommer att fungera på grund av att hydroxidjoner eller svavelatomer tränger in i kopparmaterialet, vilket orsakar väteförspredning och spänningskorrosion. [7] Detta påstående står i strid med resultaten i andra studier som visat att svavel- och syreatomer inte är rörliga i metallisk koppar. [9] Förslaget att korrosionsprocesser kan uppstå inne i kopparmaterialet på grund av inträngning av hydroxidjoner [7] motsägs av att en korrosionsprocess är en elektrokemisk reaktion som normalt äger rum på en metallyta. Liksom för resultaten om väteinträngning som dis-

kuterats ovan, bygger dessutom översiktsrapportens resultat rörande hydroxidjoner (figur 3.13, referens [7]) på icke publicerade SIMS-analyser av en kopparyta från Svensk Kärnbränslehantering AB:s (SKB:s) Äspölaboratorium, se [8]. Slutsatsen att det 50 mm tjocka kopparhöljet kan penetreras av hydroxidjoner inom några hundra år kan därför inte sägas bygga på ett tydligt vetenskapligt underlag som genomgått sedvanlig vetenskaplig granskning.

Då dessa SIMS-mätningar i översiktsrapporten är gjorda parallellt med andra publicerade mätningar kan dock vissa jämförelser göras. I ett försök med 15 års exponering av koppar i destillerat vatten uppskattades djupet av vätepenetration i ytskiktet till 2–5 mikrometer [11], och i ett annat försök uppmättes det till 10 mikrometer. [12] Efter 7 års exponering under likartade betingelser redovisar översiktsrapporten, med samma mätmetod, att hydroxidjoner penetrerade koppar till ett djup av 1 360 mikrometer, vilket indikerar det osannolika resultatet att diffusion av hydroxidjoner i koppar skulle vara mycket snabbare än vätediffusion i koppar. [7] Då SIMS är en känslig analysmetod för att studera ytor på skalan nanometer kan det gjorda metodvalet ha påverkat resultaten i översiktsrapporten. För att mer i detalj kunna kritiskt granska försöket och argumenten om inträngning av hydroxidjoner och intern korrosion i koppar måste dock relevant information om använd experimentell metodik i SIMS-mätningarna först publiceras.

6.2 Sammanfattning och förslag

Kärnavfallsrådet har i detta kapitel redovisat kunskapsläget rörande påverkan av väte och väteupptag, syre- och svavelatomer samt hydroxidjoner på kopparkapselns mekaniska egenskaper och därmed på den långsiktiga säkerheten under slutförvarsförhållanden.

Kärnavfallsrådet föreslår att fortsatt forskning bör ske (inom ramen för dels Fud-program som tas fram enligt 12 § kärntekniklagen, dels den stegvisa prövningen) gällande kopparkorrosion och relaterade mekanismer genomförs för:

- mekanismer för 1) väteupptag i koppar, 2) bildning av vätegasbubblor i koppar och 3) väte-transport i koppar genom kapselväggen;
- väteupptag (också hydroxidjoners och svavelatomers penetration) i kopparmaterialen från de långtidsexponeringar som gjorts vid SKB:s Äspölaboratorium med modern SIMS och andra mätmetoder (såsom termisk vätedesorption spektroskopi och elektronmikroskopi);
- inverkan av gammastrålning på alla korrosionsprocesser och korrosionsmekanismer; samt
- mekanismer för sprickbildning och deformation (krypning) vid långsam sulfidkorrosion, s.k. väteinducerad spänningskorrosion genom väteets lokala påverkan.

Kompletterande studier behövs också under reella slutförvarsförhållanden, exempelvis gällande prototyper för kopparkapslar och olika kopparprover som exponeras i bentonitlera (liknande LOT-försöken). Där kan olika fysikalisk-kemiska parametrar (såsom syrgashalt samt redox- och korrosionspotential) noga följas över tid för att bredda det vetenskapliga underlaget och förståelsen rörande bedömningen av kopparkapslarnas långsiktiga säkerhet.

Referenser

1. Raiko, H.; Sandström, R.; Ryden, H., Johansson, M. 2010. *Design Analysis Report for the Canister*. TR-10-28. Stockholm, Sweden: SKB. The Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Company.
2. San Marchi, C.; Somerday, B. March 2008. *Technical reference on hydrogen compatibility of materials*. Sandia report SAND2008-1163.
3. Liu, Q.; Atrens, A. D.; Shi, Z.; Verbeken, K.; Atrens, A. "Determination of hydrogen fugacity during electrolytic charging of steel." *Corros. Sci.*, 2014, 87, 239–258.
4. Wampler, W.; Schober, T.; Lengeler, B. Precipitation and trapping of hydrogen in copper. *Phil. Mag.* 1976, 34, 129–141.
5. Condon, J. B.; Schober, T. "Hydrogen bubbles in metals." *J. Nucl. Mater.*, 1993, 207, 1–24.

6. Forsström, A., Bossuyt, S., Yagodzinskyy, Y., Hänninen, H. "Strain localization of copper canister FSW welds in spent nuclear fuel disposal." *J. Nucl. Mater.*, 2019, 523, 347–359.
7. Szakalos, P.; Leygraf, C. "Review of SKB:s supplementary information on copper canister integrity issues". Strålsäkerhetsmyndigheten. Diarenr. SSM2019-2484-8.
8. Taxen, C.; Lundholm, M.; Persson, D.; Jakobsson, D.; Sedlakova, M.; Randelius, M.; Karlsson, O.; Rydgren, P. *Analyser av koppar från prototypkapsel 5 och 6*, SKB P-12-22. SKB. The Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Company.
9. Zhang, F.; Örnek, C.; Liu, M.; Muller, T.; Lienert, U.; Ratiya-Handy, V.; Carpen, L.; Isotahdon, E.; Pan, J. "Corrosion-induced microstructure degradation of copper in sulfide-containing simulated anoxic groundwater studied by synchrotron high-energy X-ray diffraction and ab-initio density functional theory calculation." *Corr. Sci.*, 2021, 184, 10939010.
10. Koiwa, M.; Yamanaka, A.; Arita, M.; Numakura, N. "Water in hydrogen embrittled copper." *Mat. Trans. JIM*, 1989, 30, 991–998.
11. Hultquist, G.; Graham, M. J.; Szakalos, P.; Sproule, G. I.; Rosengren, A.; Gråsjö, L. "Hydrogen gas production during corrosion of copper by water." *Corr. Sci.*, 2011, 52, 310–319.
12. Hultquist, G.; Szakalos, P.; Graham, M. J.; Sproule, G. I.; Wikmark, G. "Detection of hydrogen in corrosion of copper in pure water." *Proceed. 2008 International Corrosion Congress*, 2008, 3884.

7 Försprödningsmekanismer och gjutjärnsinsatsen

I 2020 års kunskapslägesrapport redovisade Kärnavfallsrådet vad som då var känt om gjutjärnsinsatsen i kopparkapseln i det tänkta slutförvaret för använt kärnbränsle, och vilka kunskapsbrister som förelåg inom området. Rådet underströk behovet av fortsatt forskning. Sedan dess har ny information tillkommit och i syfte att presentera forskningsläget arrangerade rådet i november 2021 ett seminarium kring gjutjärn i Stockholm med cirka 50 deltagare. Seminariet tog upp hur gjutning av insatsen går till, sammanfattade gjutjärnets kemiska sammansättning, mikrostruktur och mekaniska egenskaper, samt olika försprödningsmekanismer som kan uppstå under den långa deponeringstiden. Seminariet gav även en inblick i Strålsäkerhetsmyndighetens (SSM:s) granskning av gjutjärnsinsatsen.

Rådet vill i detta kapitel redovisa det uppdaterade kunskapsläget rörande försprödningsmekanismer hos gjutjärnsinsatsen som på ett negativt sätt kan påverka dess mekaniska egenskaper och i vilken mån det kan påverka säkerheten under de förhållanden som förväntas råda i ett slutförvar (slutförvarsförhållanden).

7.1 Inledning

Kopparkapseln och dess insats av gjutjärn är den primära barriären i KBS-3-konceptet och därför avgörande för förvarets långsiktiga säkerhet. Kärnavfallsrådet har tidigare identifierat ett forskningsbehov inom området, bland annat rörande korrosion, krypning, bildning och inverkan av vätgas, gjutjärnsinsatsens skadetålighet och den oförstörande provningens¹ tillförlitlighet.

¹ Oförstörande provning är ett sätt att kontrollera kvalitetskrav utan att riskera att deformera eller förstöra den produkt som testas.

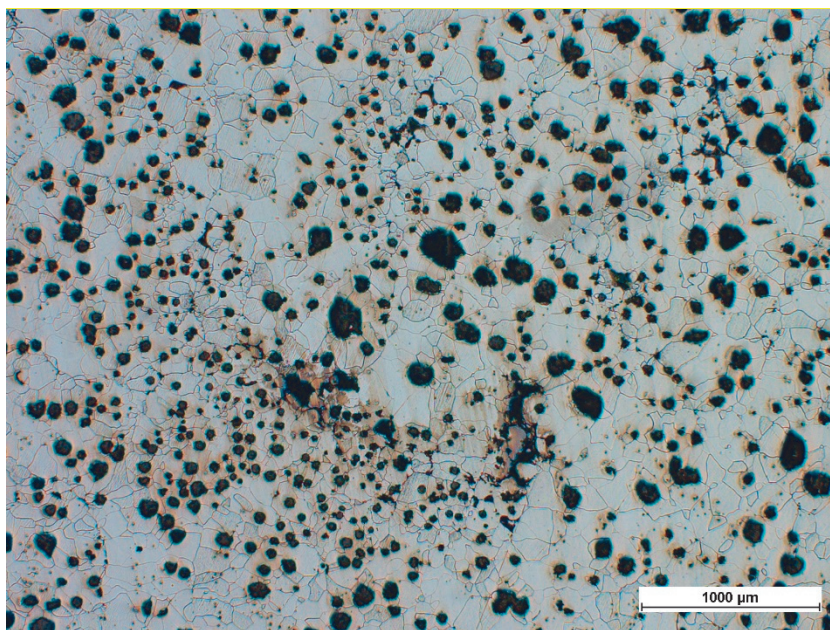
Beträffande gjutjärnsinsatsens mekaniska egenskaper råder fortfarande osäkerhet om hur mikrostruktur och kemisk sammansättning kan påverka uppfyllandet av gällande funktionskrav. Variationer i gjutjärnets sammansättning och temperatur under gjutningen kan påverka gjutjärnets tånjbarhet (duktilitet) och brottseghet inom vida gränser och kan försämra gjutjärnsinsatsens lastbärande förmåga, vilket i sin tur kan påverka kopparkapselns mekaniska egenskaper, skadetålighet och långsiktiga säkerhet. Dessutom kan olika föroreningar, till exempel koppar, i insatsens gjutjärn påverka gjutjärnets mekaniska egenskaper under gamma- och neutronbestrålning, s.k. strålningsinducerad försprödning. En annan försprödningsmekanism hos gjutjärn är statisk och dynamisk deformationsåldring, s.k. blåsprödhet. Dessa olika punkter beskrivs i den följande texten, som lyfter fram ny kunskap och redovisar behovet av ytterligare forskning.

7.2 Designanalys och tillverkningskrav för gjutjärnsinsatsen

Gjutjärnsinsatsen är kapselns lastbärande komponent och den ska uppfylla specifika krav på hållfasthet. Insatsen tillverkas av ferritiskt segjärn², vars speciella egenskaper gör det till ett vanligt material för konstruktion av just stora komponenter (kapselns gjutjärnsinsats väger 13,6 ton). De mekaniska egenskaperna hos segjärn beror huvudsakligen på mikrostrukturen av gjutjärnets matris (ferrit och perlithalt), grafitens form, storlek och fördelning, samt slagginneslutningar och porositet och gjutdefekter (figur 1), som i sin tur påverkas av den kemiska sammansättningen, processkontrollen och värmebehandlingen. [1–6]

² Ductile Cast Iron (DCI), grade EN-GJS-400-15C (SS-EN 1563).

Figur 7.1 Fördelning, form och storlek av grafitnoder i segjärnets ferritiska matris



Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB) har framfört önskemål om att sänka kraven som ställs på gjutjärnsinsatsens mekaniska egenskaper vad gäller brottförlängning (största tånjning utan brott), sträckgräns (högsta spänning utan bestående deformation) och brottseghet (duktilt brott). [7, 8] Dessa önskemål avser mitten av gjutjärnsinsatsen, vilket i så fall kommer att leda till ändrade krav på mekaniska egenskaper och defektstorlek i övriga delar av insatsen. Om krav och acceptanskriterier för mekaniska egenskaper och defektstorlek av segjärnet skulle sänkas behövs nya analyser av skadetålighet för olika belastningar, framför allt för de centrala delarna av insatsen, där de mekaniska egenskaperna kan vara sämre på grund av mikrostruktur och grafitfördelning, eventuella defekter samt slagg- inneslutningar från gjutningsprocessen. Förslag har också framförts av SKB på en sänkning av kraven och omfattningen på oförstörande provning. [7, 8] Om kraven när det gäller provning för kvalitetssäkring av olika delar av gjutjärnsinsatsen (bottenplatta, toppen och mellan kanälörens) sänks måste kvalitetssäkring av dessa delar säkras genom nya acceptanskriterier.

7.3 Kvalitetskontroll

Gjutjärnsinsatsens kritiska defektstorlek får inte överstiga ett djup på 4,5 mm om en s.k. skjuvrörelse på 50 mm sker i det omgivande berget i slutförvaret, vilket ställer stora krav på både tillverkning och oförstörande kvalitetskontroll. [1–3] De planerade metoderna för kvalitetskontroll av gjutjärnsinsatser och kopparkapslar är fortfarande preliminära. Ändras kapselns konstruktionsförutsättningar krävs en ny design- och defektanalys. Kraven på kapselns mekaniska egenskaper och tillåten defektstorlek är i dag förutbestämda (deterministiska) och acceptanskriterierna varierar för olika delar av gjutjärnsinsatsen. Oundvikliga variationer i materialegenskaper måste ligga inom gränsen för skadetålighet, men samtidigt beror kvalitetssäkringen på detektionsförmågan hos de oförstörande provningsmetoder som kommer att användas.

7.4 Temperatur

Den maximala temperaturen i kopparkapseln uppnås i ett bränsleelement i centrum av kapseln (beräknat till 230 °C, att jämföra med maximal tillåten temperatur på 300 °C). [9] På grund av gjutjärnets goda värmeledningsförmåga kommer temperaturen i gjutjärnsinsatsen att minska från centrum ut mot kapselns kopparhölje. Effekten av denna temperaturgradient behöver också beaktas i analysen av effekter på gjutjärnsinsatsens egenskaper. Temperaturen i gjutjärnsinsatsens centrum är maximalt 60 °C högre än i kopparhöljet. [9] Den högsta temperaturen i kopparhöljet (cirka 90 °C), och på buffertens inneryta (cirka 80 °C), uppnås efter omkring tio år. Den termiska utvecklingen i kopparkapseln påverkar de kemiska och metallurgiska processerna i kapseln under en relativt sett kort tidsperiod, dvs. några tusen år. Temperaturen i kopparhöljet överstiger omgivningstemperaturen under cirka 7 000 år efter deponering, varefter temperaturen långsamt sjunker till bergets temperatur. Under den initiala perioden av förhöjd temperatur kan olika föråldringsmekanismer (både statisk och dynamisk deformationsåldring) förekomma i gjutjärnet, och dessa kan få en stor betydelse för gjutjärnsinsatsens hållfasthet och brottseghet.

7.5 Hållfasthet

Kapseln ska motstå dels skjuvbelastningar som kan uppstå genom jordbävningar och glaciala förhållanden, dels isostatiska belastningar som uppstår genom svälltryck från den vattenmättade bentonitleran som utgör buffertmaterial runt kapseln. Kapseln ska motstå en maximal isostatisk belastning upp till 45 MPa (dvs. ungefär 450 gånger normalt lufttryck), vilket är summan av bentonitens maximala svälltryck och det maximala grundvattentrycket. Gjutjärnsinsatsens lastbärande egenskaper är definierade för isostatisk belastning och för asymmetriska laster till följd av ojämn svällning av bentoniten.

Gjutjärnsinsatsen ska kunna motstå maximal yttre belastning på 15 MPa vid en förhöjd temperatur på cirka 125 °C under de första tusen åren. Dessutom ska kapseln motstå skjuvbelastningar som uppkommer när sprickor i berget, som skär genom deponeringshålen, utsätts för sekundära skjuvrörelser till följd av större jordskalv i närheten av slutförvaret. Kapseln ska fortsätta vara intakt även efter en 50 mm skjuvrörelse med en hastighet på 1 m/s för alla positioner och vinklar hos skjuvsprickan i deponeringshålet och för alla relevanta temperaturer ner till 0 °C. [1–3, 9] Dessa skjuvrörelser kan orsaka betydande plastisk (bestående) deformation som kvarstår i gjutjärnet efter att den påverkande kraften har upphört. En 50 mm skjuvrörelse ger upphov till en plastisk deformation i gjutjärnsinsatsen på 12,5 procent. [1–3, 9] Skjuvrörelser kan äga rum under hela deponeringstiden men förväntas mestadels förekomma i samband med glaciala perioder. Sannolikheten för att kraftiga jordskalv inträffar i närheten av slutförvaret är enligt säkerhetsanalysen liten och därför förutses att skjuvrörelser på 50 mm genom deponeringshålen är sällsynta.

För att karaktärisera vilka sprickor i berget som man måste ta hänsyn till vid val av deponeringshål är dokumentation av bergets egenskaper, såväl homogenitet som mekaniska spänningar, under uppförandet viktigt för att kassera deponeringshål där 50 mm skjuvrörelser skulle kunna förekomma. [10] Det kan dock inte uteslutas att några kapslar utsätts för skjuvning på 50 mm eller mer till följd av jordskalv även inom en tidsram på 1 000 år och att kapselskador kan uppkomma som följd av detta.

7.6 Försprödningsmekanismer hos nodulärt gjutjärn

Effekter av gamma- och neutronstrålning på gjutjärnsinsatsens mekaniska egenskaper påverkas av föroreningar (t.ex. kopparhalten) i gjutjärnet, s.k. strålningsinducerad försprödning. Inverkan av bestrålning på segjärnsinsatsens materialegenskaper har både beräknats [11] och studerats efter elektronbestrålning. [12] Vid de studerade strålningsdoserna observerades bara små effekter på ökad sträckgräns och minskning av tånjbarheten. Under betingelserna i slutförvaret kan strålningsinducerad utskiljning av koppar och andra strålskador i gjutjärnet inte uteslutas. Hur detta kan påverka mekaniska egenskaper som försprödning av gjutjärnet är inte tillräckligt analyserat. Forskning på strålningsinducerad försprödning av gjutjärn bör därför fortsätta för att både tillföra säkerhetsanalysen nya data som belyser riskerna för strålningsinducerad försprödning och möjliggöra fastställande av acceptanskrav på halter av koppar och andra föroreningar i gjutjärnsinsatsen.

Gjutjärnsinsatsen kommer också att vara exponerad för vätgas som kan produceras på flera sätt. Kopparkapseln får enligt konstruktionsförutsättningen innehålla upp till 600 g vatten vilket möjliggör flera väteproducerande processer, [3] till exempel bildas vätgas genom syrefri järnkorrosion och radiolys av vattnet. Hur vätgas påverkar gjutjärnsinsatsen är ofullständigt beskrivet. Spänningstillstånd, vätehalt och temperatur kan tillsammans öka risken för väteförsprödning och krypning av gjutjärnsinsatsen (dvs. formförändring efter belastning).

Det finns några få vetenskapliga studier om väteförsprödning av segjärn samt om hur små variationer i gjutjärnets sammansättning och mikrostruktur kan påverka ett sådant förlopp. [13–17] Forskning har visat att väte inte bara uppträder på grafit-matrisytorna (se figur 1) utan också inne i grafitnodulerna. I segjärn påverkar porositeten såväl vätehalten som förmågan till transport i materialet (diffusiviteten). Tånjbarheten (duktiliteten) hos segjärn påverkas drastiskt av väte och spröda klyvda brottytor förekommer kring grafitnodulerna. Grafitmatrisseparering sker innan sprickbildning och förutsättningarna för spröd spricktillväxt ökar med minskande töjningshastighet.

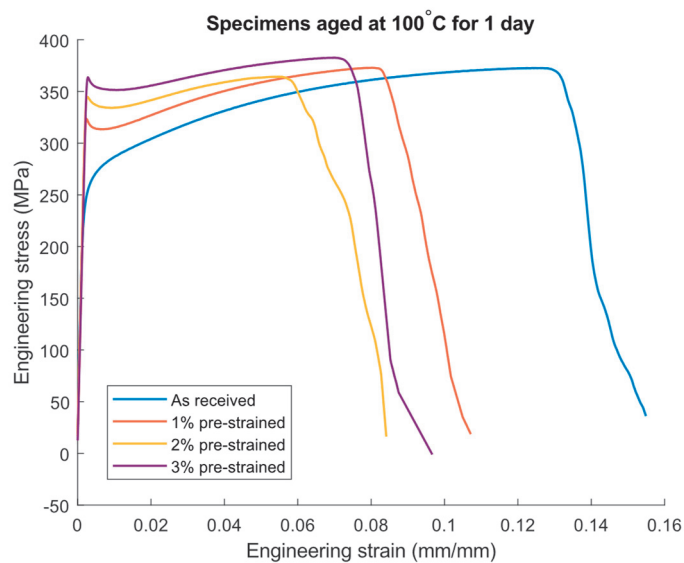
Statisk och dynamisk deformationsåldring, s.k. blåsprödhet, är en försprödningsmekanism hos segjärn som först nyligen har beskrivits, och som bör karaktäriseras för de betingelser som råder i slutförvaret. Även om matrisen i segjärnet där plasticering sker utgörs av

ferritisk järn har segjärn ingen sträckgräns efter värmebehandling. [6, 18–20] Orsaken till detta kan vara att deformation initieras kontinuerligt i grafitnodulerna redan under proportionalitetsgränsen (dvs. den högsta spänning där provets spänning och töjning praktiskt taget är proportionella) och materialet uppvisar därför inte någon sträckgräns. Deformationsåldring i gjutjärn är kvalitativt jämförbar med motsvarande process i vanligt konstruktionsstål [18] och effekterna av deformationsåldring på segjärnsinsatsens tånjbarhet och hållfasthet är viktiga att karaktärisera. Deformationsåldring (blåsprödhet) är en härdnings- och försprödningsmekanism som sker under specifika kombinationer av plastisk deformation och temperaturförhållanden i kolstål och gjutjärn. Om försprödningsmekanismen sker efter deformation kallas den statisk deformationsåldring och om det sker samtidigt kallas den dynamisk deformationsåldring. Fenomenet äger rum från rumstemperatur till 250 °C, där särskilt halterna av kol och kväve i materialen har en avgörande betydelse för försprödningsmekanismen. Kol- och kväveatomer diffunderar och ansamlas kring defekter i den atomära strukturen (dislokationer) och i ytan mellan kristallkorn i polykristallina material (korngränser) och orsakar försprödning i järn. [18–20]

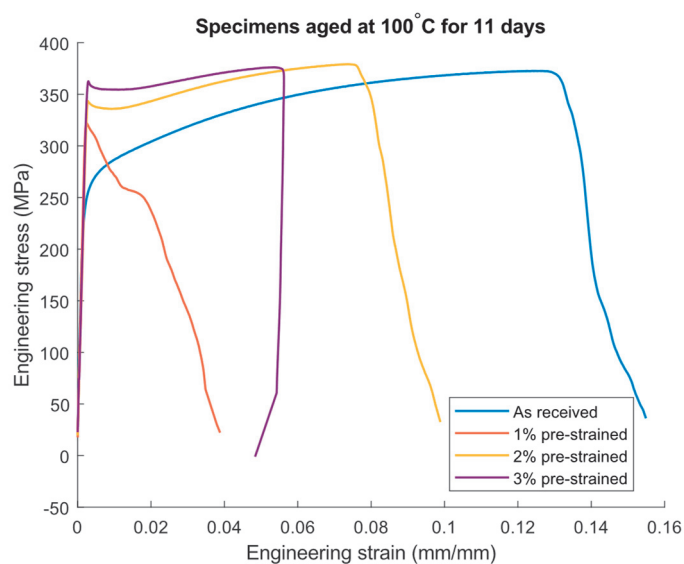
Statisk deformationsåldring i gjutjärn kan uppkomma som en följd av plasticerande deformation. Statisk deformationsåldring leder till vissa karaktäristiska förändringar i materialegenskaper hos gjutjärn som ökad sträckgräns och minskad brottförlängning. Om bestående deformation av gjutjärnsinsatsen uppkommer, till exempel på grund av en skjuvrörelse i berget, sker deformationsåldring oberoende av temperaturen i slutförvaret. Efter 1–3 procent plastisk deformation vid rumstemperatur har statisk deformationsåldring av segjärn studerats med dragprovning efter olika tider (1–84 dagar) och i olika temperaturer, från 20–400 °C. [19] Segjärn är mycket känsligt för deformationsåldring vid alla undersökta temperaturer och deformationsgrader, vilket leder till en markerad ökad sträckgräns och drastisk minskning av materialets seghet (brottförlängning) (figur 2). Även segheten av segjärn påverkas drastiskt av statisk deformationsåldring, duktila brottytor uppstår och ingen förändring av brottmekanism observerades. [19] Detta betyder att deformationsåldring orsakar en snabbare lokalisering av plastisk deformation till ett glidband med en seg brottmekanism. Detta visar att både dynamisk och statisk deformationsåldring av gjutjärn är möjliga och kan få stor påverkan på gjutjärnsinsatsens mekaniska egenskaper om plasticerande laster uppstår i slutförvaret.

Figur 7.2 Spännings-töjnings kurvor av segjärn efter en plastisk deformation och åldring

a)



b)



Anm: Spännings-töjnings kurvor av segjärn efter en plastisk deformation på 1–3 % vid rumtemperatur och efter olika tider vid 100 °C:

a) 1 dag och b) 11 dagar. En ökad sträckgräns och minskad brottförlängning är karaktäristiska konsekvenser av statisk deformationsåldring. [19]

Gjutjärnsinsatsen ska tåla belastning under lång tid och tidsberoende bestående deformation kan då uppstå genom att gjutjärnet kryper (förändrar form), en process som ökar i omfattning med ökande temperatur. Krypning i gjutjärnsinsatsen kan påverkas av den komplicerade geometrin hos insatsens inre delar. Krypningsbenägenhet påverkas även av vätehalt och restspänningarna från gjutningen. Begränsade studier av krypprovning av gjutjärnsinsatsen [21] har genomförts men det är viktigt att fortsätta krypprovning av gjutjärn för att utesluta att krypning kan utgöra en skademekanism under slutförvarsförhållanden.

Det finns inga publicerade data som beskriver hur olika kombinationer av blåsprödhet, strålningsinducerad försprödning, väteförsprödning och krypning påverkar gjutjärnets egenskaper. Segjärnsinsatsen kan undergå både statisk och dynamisk deformationsåldring vid låga temperaturer som en konsekvens av en skjuvrörelse som resulterar i en bestående deformation. Restspänningar i den strukturellt komplicerade insatsen kan också påverka detta förlopp. Väte påverkar de mekaniska egenskaperna hos gjutjärnet vilket kan leda till sprödbrott hos segjärnsinsatsen. Dock har gränser för tillåtna vätehalter ännu inte specificerats och den kritiska vätehalten som orsakar sprödbrott i segjärnet har ännu inte bestämts.

7.6.1 Inverkan av försprödning på gjutjärnsinsatsens skadetålighet

Kapselns gjutjärnsinsats ska kunna bibehålla sina mekaniska funktioner för de belastningar som förekommer i slutförvaret utan att bestående deformation uppstår (undantaget stora skjuvlaster). Enligt kravspecifikationerna ska kapselns gjutjärnsinsats kunna utsättas för asymmetriska laster på grund av ojämn vattenmättnad av bufferten och isostatiska laster efter fullständig mättnad av bufferten, utan att någon bestående deformation av insatsen ska förekomma. I slutförvaret kan skjuvlaster från jordskalv uppträda i bergsprickor som skär genom deponeringshålet. Dessa skjuvlaster kan orsaka betydande bestående deformation av gjutjärnsinsatsen; en 50 mm skjuvrörelse kan orsaka 1–2,5 procent deformation. [1–3, 9] Gjutjärnets töjbarhet, brottseghet och tillåten defektstorlek är väsentliga att karaktärisera vad gäller kapselns integritet vid deformation av denna omfattning.

Också hållfastheten av gjutjärnsinsatsen vid en maximal isostatisk belastning kan påverkas drastiskt om kapseln först utsatts för en skjuvrörelse som orsakar en bestående deformation (statisk deformationsåldring).

De i säkerhetsanalysen redovisade mekaniska skademekanismerna för gjutjärnsinsatsen under deponeringsförhållanden inkluderar endast plastisk kollaps (knäckning) genom sprickinitiering och stabil duktil spricktillväxt, när brottgränsen har uppnåtts. [1–3, 9] Spröda klyvbrott har exkluderats, därför att gjutjärn förutsatts vara ett tånjbart material under alla förväntade förhållanden i slutförvaret och i hela det aktuella temperaturområdet. [1] Det är beskrivet att segjärnet kan övergå från ett duktilt tillstånd till sprödhet vid låga temperaturer³ och måttligt höga deformationshastigheter. [6] Materialprovning har gjorts i begränsad omfattning vid temperaturer från noll grader till rumstemperatur samt enbart vid höga deformationshastigheter. [1] Baserat på detta begränsade underlag har SKB dragit slutsatsen att spröda klyvbrott av gjutjärnsinsatsen inte är sannolik under slutförvarsförhållanden. Analyser av de mekaniska egenskaperna hos gjutjärnet är dock mestadels gjorda i rumstemperatur och mätningar har inte utförts vad avser området för deformationsåldring. En drastisk minskning av brottförlängning och brottseghet efter deformationsåldring vid förhöjd temperatur, liksom vid rumstemperatur, är möjlig. Vid analys av gjutjärnsinsatsens hållfasthet måste också plasticerande laster och åldringseffekter beskrivas och hänsyn tas till relevanta temperaturer. Data om temperatur- och åldringsberoende gällande gjutjärnsinsatsens mekaniska egenskaper, såsom ökad sträckgräns, minskad brottförlängning och brottseghet, måste studeras för att minska kvarstående osäkerheter. Om den lastbärande gjutjärnsinsatsen spricker genom en spröd brottmekanism, är det möjligt att även kopparhöljet spricker med läckage av radionuklider som en konsekvens.

7.7 Slutsatser

Texten ovan belyser områden där fortsatt forskning om effekter på gjutjärnsinsatsen mekaniska egenskaper behövs dels för att verifiera de uppställda specifikationerna på kvalitetskrav i produktionen, dels

³ "Ductile-to-brittle transition temperature".

för att kunna dra slutsatser om förvarets långsiktiga säkerhet. Vidare behöver acceptanskriterier för olika tillverkningsdefekter tas fram.

Kärnavfallsrådet anser att det finns väsentliga kunskapsluckor om gjutjärnsinsatsen och att ytterligare forskning är nödvändig. Detta gäller mekaniska egenskaper, mikrostruktur och kemisk sammansättning av nodulärt gjutjärn. Ytterligare osäkerheter relaterade till gjutjärnsinsatsens egenskaper i slutförvar rör försprödningsmekanismer som kan försämra gjutjärnsinsatsens hållfasthet.

Kärnavfallsrådet föreslår att fortsatt forskning bör ske inom ramen för dels Fud-program som tas fram enligt 12 § kärntekniklagen, dels den stegvisa prövningen för:

- att klargöra hur strålning inducerad försprödning påverkar gjutjärnsinsatsens mekaniska egenskaper, samt hur olika föroreningar (t.ex. koppar och väte) påverkar denna process,
- att klargöra hur väteförsprödning påverkar de mekaniska egenskaperna hos gjutjärnsinsatsen och om detta kan leda till sprödbrott. Den högsta tillåtna mängden väte som får bildas i insatsen måste specificeras och den kritiska vätehalten som orsakar sprödbrott i segjärnet måste bestämmas,
- att klargöra om blåsprödhet av gjutjärn (statisk och dynamisk deformationsåldring) är en försprödningsmekanism som måste beaktas vad gäller kraven på gjutjärnsinsatsens mekaniska egenskaper,
- att klargöra hur samverkan mellan dessa försprödningsmekanismer och gjutjärnets krypning påverkar gjutjärnsinsatsens mekaniska egenskaper.

Referenser

1. H. Raiko, R. Sandström, H. Ryden, M. Johansson. 2010. *Design analysis report for the canister*. SKB TR-10-28. Tillgänglig på: <https://skb.se/publikation/2044529/TR-10-28.pdf> (hämtad 2022-02-01).
2. SKB. 2009. *Design premises for a KBS-3V repository based on results from the safety assessment SR-Can and some subsequent analyses*. SKB TR-09-22. Tillgänglig på: <https://skb.se/publikation/1966942/TR-09-22.pdf> (hämtad 2022-02-01).
3. SKB. 2010. *Design, production and initial state of the canister*. SKB TR-10-14. Tillgänglig på: <https://skb.se/publikation/2151522/TR-10-14.pdf> (hämtad 2022-02-01).
4. Mourujärvi, K. Widell, T. Saukkonen and H. Hänninen. "Influence of chunky graphite on mechanical and fatigue properties of heavy-section cast iron." *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures* 2009, 32, s. 379–390.
5. K. Wallin. "Equivalent Charpy-V impact criteria for nodular cast iron". *Int. J. of Metalcasting* 2014, 8(2), s. 81–86.
6. G. Hutter, L. Zybelle and M. Kuna. "Micromechanisms of fracture in nodular cast iron: From experimental findings towards modeling strategies – A review." *Engineering Fracture Mechanics* 2015, 144, s. 118–141.
7. SKB. 2016. *Fud-program 2016. Program för forskning, utveckling och demonstration av metoder för hantering och slutförvaring av kärnavfall*. Stockholm: Svensk Kärnbränslehantering AB.
8. SKB. 2019. *Fud-program 2019. Program för forskning, utveckling och demonstration av metoder för hantering och slutförvaring av kärnavfall*. Stockholm: Svensk Kärnbränslehantering AB.
9. H. Raiko. 2011. *Structural design of disposal canister*. Posiva.

- 10.L. Uotinen. 2018. *Prediction of stress-driven rock mass damage in spent nuclear fuel repositories in hard crystalline rock and in deep underground mines*. Doctoral dissertation, Aalto University, Finland. Tillgänglig på: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-60-8005-5> (hämtad 2022-02-01).
- 11.M. Guinan. 2001. *Radiation effects in spent nuclear fuel canisters*. SKB TR-01-32. Tillgänglig på: <https://skb.se/publikation/18814/TR-01-32.pdf> (hämtad 2022-02-01).
- 12.P. Olsson, Z. Chang, A. Yousfi, M. Thuvander, B. Boizot, G. Brysbaert, V. Metayer, D. Gorse-Pomonti. 2013. *Electron irradiation accelerated Cu-precipitation experiment*. SKB R-13-50. Svensk Kärnbränslehantering AB. Tillgänglig på: <https://skb.se/publikation/2720615/R-13-50.pdf> (hämtad 2022-02-01).
- 13.T. Takai, Y. Chiba, K. Noguchi and A. Nozue. "Visualization of the hydrogen desorption process from ferrite, pearlite, and graphite by secondary ion mass spectrometry." *Met. and Mat. Trans.* 2002, 33A, s. 2659–2665.
- 14.H. Matsunaga, T. Usuda, K. Yanase and M. Endo. "Ductility loss in ductile cast iron with internal hydrogen." *Met. and Mat. Trans.* 2014, 45A(3), s. 1315–1326.
- 15.T. Matsuo. "The effect pearlite on the hydrogen-induced ductility loss in ductile cast iron." *J. Phys.: Conf. Series* 2017, 843, 012012.
- 16.Forsström, A., Yagodzinskyy, Y., Hänninen, H., "Hydrogen effects on mechanical performance of nodular cast iron." *Corrosion Reviews* 2019, 37(5), s. 441–454. DOI: 10.1515/correv-2019-0007.
- 17.Sahiluoma, P., Yagodzinskyy, Y., Forsström, A., Hänninen, H., Bossuyt, S. "Hydrogen embrittlement of nodular cast iron." *Materials and Corrosion* 2021, 72, s. 245–254. Tillgänglig på: <https://doi.org/10.1002/maco.202011682> (hämtad 2022-02-01).

- 18.T. Pihlajamäki. 2017. *Characterization of strain aging with full-field strain measurements*. M.Sc. thesis, Aalto University, 47 p. Tillgänglig på:
https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/24749/master_Pihlajam%C3%A4ki_Tuomas_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y/ (hämtad 2022-02-01).
- 19.V. Björklund. 2021. *The effects of static strain aging on the mechanical performance of nodular cast iron*. M.Sc. thesis, Aalto University, 97 p. Tillgänglig på:
https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/109797/master_Bj%C3%B6rklund_Ville_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y/ (hämtad 2022-02-01).
- 20.R. Honeycombe, H. Bhadeshia. 2006. *Steels, Microstructure and Properties*. 3rd edition, Edward Arnold, 324 p; ISBN: 9780080462929.
- 21.Å. Martinsson, H. Andersson-Östling, F. Seitisleam, R. Wu, R. Sandström. 2010. *Creep testing of nodular iron at ambient and elevated temperatures*. SKB R-10-64. Svensk Kärnbränslehantering AB. Tillgänglig på:
<https://skb.se/publikation/2149126/R-10-64.pdf> (hämtad 2022-02-01).

8 Små modulära reaktorer

Sammanfattning

Intresset för s.k. små modulära reaktorer har ökat stort inom kärnkraftsbranschen under de senaste åren. Syftet med det här kapitlet är att beskriva små modulära reaktorer för att ge läsaren förutsättningar att kunna sätta sig in i frågan om hur avfallet från dessa reaktorer ser ut och hur det ska tas om hand. Kapitlet kommer först att introducera små modulära reaktorer, därefter följer en historisk bakgrund som beskriver framväxten av systemen, och en redogörelse för dessa system i olika länder. Olika reaktorteknologier beskrivs därefter, eftersom dessa är avgörande för utformningen av bränsle till de olika reaktorerna. Slutligen kommer en beskrivning av olika typer av avfall från systemen avfallsstudier från vissa länder sammanfattas.

8.1 Inledning

8.1.1 Vad menas med ”små modulära reaktorer”?

Små modulära reaktorer (SMR:er) är ett samlingsnamn för en rad olika typer av kärnkraftsreaktorer. Som namnet antyder är de relativt små jämfört med dagens kommersiella system, där ordet ”små” har att göra med såväl storlek som producerad effekt. Enligt det internationella atomenergiorganet IAEA:s definition avses i termer av effekt alltifrån några enstaka megawatt (MW) upp till maximalt 300 MW.

När det gäller ordet ”modulär”, menar Generation IV International Forum [1] att modularisering av en kärnteknisk anläggning betyder att dess design och tillverkningsprocess möjliggör att färdiga moduler kan transporteras och installeras på en viss plats. Liknande definitioner finns på andra håll (för en överblick se [2]). Detta

medför att reaktorerna inte behöver byggas på plats såsom fallet är med konventionella, stora reaktorer, utan att de i stället kan prefabriceras i en produktionsanläggning och därefter transporteras till sin avsedda plats. Det internationella atomenergiorganet IAEA menar också att reaktorerna både kan uppföras och drivas separat, samt att flera enheter kan kopplas samman till en större (modulär) enhet. [3]

8.1.2 Användningsområden, fördelar och risker med SMR:er

Små modulära reaktorer är föreslagna att placeras där behoven uppstår, såväl i stadsregioner som på avlägsna och svårtillgängliga platser (se t.ex. [4, 5, 6]). Vissa små modulära reaktorsystem föreslås till och med vara flyttbara. [7, 8] De små modulära reaktorerna föreslås producera el liksom dagens stora kommersiella reaktorer, men andra tillämpningsområden kan vara produktion av processvärme, fjärrvärme, vätgas samt avsaltning av havsvatten. [2, 4, 6, 9, 10]

Det finns en rad publikationer som lyfter fram argument för [9, 11, 12] och emot [10, 13, 14, 15, 16] SMR:er, medan andra publikationer försöker göra en mer fullständig översyn i syfte att utvärdera möjligheter och utmaningar med systemen. [6] Man kan konstatera att SMR:er i varierande grad bygger på känd och beprövad teknologi, men att vissa SMR:er utgör nya och hitintills obeprövade koncept. Exempel på aspekter som särskiljer sig från konventionell storskalig kärnkraft är modulariseringen, och att kärnkraftsystemen föreslås vara utspridda på ett större antal enheter och utplacerade också på platser där kärnkraftverk historiskt sett inte tidigare funnits. Det senare kan utgöra en ökad risk för spridning av såväl radioaktiva som toxiska ämnen, liksom av känsliga material och teknologier. Man kan också fundera på om det kan bli en utmaning att uppnå ett lika starkt fysiskt skydd runt sådana system, som runt konventionella storskaliga kärnkraftverk.

Detta kapitelns syfte är inte att ta ställning för eller emot SMR:er. Kärnavfallsrådet vill i stället rikta uppmärksamheten mot avfallen från sådana system för att undersöka om, hur och i viken utsträckning dessa frågor utreds. Detta förutsätter dock en beskrivning av reaktorsystemen, och en insikt i hur systemen är tänkta att användas.

8.1.3 Hur ser utvecklingsbehovet ut?

I dag studeras inte bara små modulära reaktorer baserade på dagens lättvattenteknologi, utan också högttemperaturreaktorer med gaskylning (s.k. HTGR), saltsmältareaktorer (MSR:er) och olika metallkylda koncept.

I huvudsak ligger förespråkarnas intresse för utvecklingen i dagsläget på reaktorerna som sådana, men för att SMR-tekniken ska implementeras räcker inte det. Till att börja med behövs social och politisk acceptans för ny kärnkraft. Utöver att designa och uppföra en reaktor att driva, kommer det dessutom krävas betydande arbete i samband med licensiering av de olika SMR-koncepten. Dessförinnan måste grundliga säkerhetsanalyser kunna visa på att de svarar mot lagstadgade krav, och på ett tillförlitligt och säkert sätt kan hantera olika drift-scenarier. För att reaktorer ska komma i fråga för kommersiell drift kommer det också att krävas omfattande investeringskapital samt insatser relaterade till storskalig tillverkning, logistik, drift, säkerhet och underhåll.

Med många distribuerade kärnkraftssystem spridda över världen, finns också en risk att transporter och hantering av såväl nukleärt material som driftavfall i vid mening kan komma att öka. Det medför ett behov av att utveckla nya system för kärnämnes- och avfallskontroll, som så långt det är möjligt säkrar att de nya kärnkraftsystemen inte ökar risken att känsligt material eller kärnavfall kommer på avvägar. Vidare behöver man analysera hur bränslets egenskaper påverkas under och efter bestrålning i reaktorn (t.ex. innehåll av olika radionuklider, strålnivåer och restvärme), så att man kan utveckla ett säkert omhändertagande av bränslet. Ska avfallet återvinnas och i så fall hur, eller ska det omhändertas på annat sätt? Aspekter kopplade till omhändertagande av avfallet från SMR-reaktorer förefaller i sammanhanget lätta att glömma bort, när fördelarna med en ny teknologi hägrar.

Det gällde inte minst vid införandet av den konventionella kärnkraften i Sverige, där avfallet från reaktorerna inte ens omnämndes i den första svenska atomenergilagen [17]. Det var inte förrän under 70-talets första hälft, när de första svenska reaktorerna redan var i

drift, som de första utvecklingsprojekten och utredningarna inom avfallsområdet initierades.¹

För att inte upprepa samma utveckling med eventuella nya reaktorer, vill Kärnavfallsrådet tidigt peka på vikten av att de som forskar på systemen eller förespråkar deras uppförande, samtidigt studerar hur avfallet ska kunna hanteras och omhändertas på ett ansvarsfullt och säkert sätt.

8.2 Historisk bakgrund

Små modulära reaktorer har många likheter med tidigare utvecklade små (men inte nödvändigtvis modulära) reaktorer. Små reaktorer har, i motsats till vad man kan förledas att tro, en lång historia bakom sig. Det har sedan 1940-talet byggts hundratals små reaktorer i världen för olika ändamål och i olika sammanhang, både militära och civila. Ofta har det för de civila ändamålen handlat om s.k. experimentreaktorer eller forskningsreaktorer som undersökt materialegenskaper och reaktorprinciper, i syfte att sedan skala upp reaktorerna. Det gäller också de svenska försöksreaktorerna som uppfördes vid Kungliga Tekniska högskolan samt i Ågesta och Studsvik.

På tidigt 1950-tal initierade den amerikanska armén ett program [18] för att utveckla små reaktorer för att producera värme och elektricitet vid avlägsna militära installationer. Programmet realiserades 1954, och kom fram till 1977 att ha producerat åtta reaktorer av olika slag. En av dessa, PM-2A, sattes samman av prefabricerade delar på den amerikanska militärbasen Camp Century på Grönland. När den startades upp i oktober 1960 blev det den första reaktorn som inte konstruerats på plats. Den mest kända reaktorn i programmet var dock MH-1A, en mobil tryckvattenreaktor på en pråm som startades upp 1967 och sedan användes för att producera elektricitet vid Panamakanalen fram till 1977.

Mer kända är de små reaktorer som placerades på atomubåtar redan under 1950-talet. Då fanns en flotta som omfattade många hundra fartyg från i huvudsak fem olika länder, men flottan har minskat

¹ Den s.k. AKA-utredningen som tillsattes 1973, presenterade 1976 ett förslag som kom att utgöra de första riktlinjerna kring omhändertagandet av kärnkraftsavfallet. [120] Den presenterade strategin byggde på fyra punkter där huvudalternativet var uppbyggnad av det använda kärnbränslet med en efterföljande deponering av det förglasade högaktiva avfallet. Direktdeponering av det använda kärnbränslet fördes fram som ett alternativ.

betydligt i numerär sedan kalla kriget. Reaktorer placerades också på hangarfartyg, kryssningsfartyg och isbrytare. [19] Planer på kärnkraftsdrivna flygplan fanns också, men intresset för dem avtog i och med att interkontinentala missiler och kärnvapenbestyckade atomubåtar ersatte det strategiska övertag som kärnkraftsdrivna flygplan var tänkta att erbjuda. [20] Dessutom fanns det tekniska utmaningar i och med att den avskärmning som krävdes för att minska dosen till besättningen tyngde konstruktionen på ett sätt som hämmade flygegenskaperna. [21] Till skillnad från flyget lämnade planerna på kärnkraftsdrivna stridsvagnar aldrig ritbordet. På 1960-talet utvecklade dock Sovjetunionen en transportabel reaktor med en effekt på 1,5MW placerad på chassit av en T-10 stridsvagn som benämndes TES-3 (Transportable Electric Station 3). När succén uteblev lades projektet ner 1969. [22]

Små reaktorer lyftes också redan på 1970-talet fram som ett sätt att introducera civil kärnkraft i utvecklingsländer. I och med oljekrisen och en ökande elektrifiering i utvecklingsländer, kombinerad med en höjd kompetens inom elkraftproduktion, förstärktes intresset. Samtidigt började kritik av kärnkraft som energikälla att växa fram runt om i världen och ekonomiska överväganden snarare än tekniska sådana gjorde att kommersiell kärnkraft helt dominerades av medelstora och stora reaktorer. På FN-organet IAEA:s 18:e årskonferens 1974 var en viktig fråga varför det saknades mindre reaktorer för utvecklingsekonomier. [23]

I Sverige ledde oljekrisen till att Asea Atom planerade konstruktion av små reaktorer. I det fallet handlade det om två varianter av minireaktorer för svenska kommuner, vilka skulle producera fjärrvärme respektive el. Reaktorerna kallades SECURE och lanserades i slutet av 1970-talet. [24]

8.2.1 Små modulära reaktorer i dag

För att kunna belysa kärnavfallsfrågan kopplad till SMR:er, behöver vi kännedom om de system som är under utveckling. Detta avsnitt har för avsikt att belysa var i världen utvecklingen av SMR:er sker, och vilka typer av reaktorer och reaktorsystem som studeras. Detta har en direkt påverkan på de bränslematerial och bränsletyper som

avses att användas, och därför också på det avfall som kommer att produceras.

I en IAEA publikation [25] redovisas mer än 70 SMR-designer under utveckling, och CAREM-reaktorn i Argentina är den SMR-design av lättvattenreakortyp som står närmast driftsättning. Utvecklingen av SMR:er har på senare tid drivits med hjälp av privata företag, såväl som med statliga insatser. Utvecklingsbehovet varierar, där de koncept som bygger på lättvattenkylda reaktorer är mest lika dagens reaktorer och därmed har det lägsta utvecklingsbehovet. Det är därför kanske inte förvånande att denna typ utgör majoriteten av de SMR-designer som utvecklas. Av de SMR:er som är lättvattenkylda utgör en stor del s.k. tryckvattenreaktorer (PWR:er), vilket är den reaktortyp som i dag dominerar globalt sett.

Det finns dock också SMR:er under utveckling som snarare kan klassas som Generation IV (Gen IV) reaktorer, eller del av ett Gen IV-system. Dessa är kärntekniska system som utvecklas med målet att överbrygga svagheter med dagens kärnkraftssystem. Förhoppningen är att systemen ska utnyttja bränsleresurser mer effektivt, producera mindre avfall, vara ekonomiskt konkurrenskraftiga, möta högre säkerhetskrav och vara mindre attraktiva att missbruka. Bland de Gen IV-teknologier som valts ut av Generation IV International Forum ingår bl.a. metallkylda reaktorer, saltsmältareaktorer och högtemperaturreaktorer. [78] En av de SMR:er som bygger på Gen IV-teknologi och som står närmast marknaden utvecklas av Kina och använder sig av bränsle i form av bränslekulor (s.k. pebble bed). [26, 27] Demonstrationsreaktorer är planerade att användas för såväl elproduktion som processvärme.

Det finns också ett större antal metallkylda reaktorkoncept som använder flytande natrium, bly eller bly-vismut som kylmedium. De koncepten erbjuder ett antal fördelar såsom små och kompakta system och långa tidsintervall mellan bränslebyten, men samtidigt är anrikningen av uran i bränslet högre än i dagens lättvattenreaktorer vilket har inverknings på såväl icke-spridningsfrågan som bränsleproduktion och avfallshanteringen. [28]

Teknologin bakom saltsmältareaktorer (som klassas som Gen IV) har inte kommit lika långt, och i dagsläget finns inga kommersiella system även om utveckling och demonstration har bedrivits sedan flera decennier. Möjligtvis kan ett koncept från Kanada komma att bli det första att uppföras. Konceptet kallas IMSR (Integral Molten

Salt Reactor) och har passerat det första steget i förlicensieringsprocessen för några år sedan. I detta system är bränslet inte separerat från kylmediet, och flytande bränsle cirkulerar genom en grafit-modererad härd.

En översikt av olika länders intressen och planer på uppförande av SMR:er presenteras i avsnittet nedan.

8.2.2 En överblick av utvecklingen i en rad länder

- I **Kanada** har studier om SMR:er pågått under många år och landet intar en ledande position i flera avseenden. Den s.k. "Canadian Small Modular Reactor (SMR) Roadmap Steering Committee" släppte 2018 ett dokument, en "Roadmap", som rör SMR:er och deras roll framöver. [5] Dokumentet pekar på tre potentiella marknader: som ersättning för kolproducerad el; för kombinerad el- och värmeproduktion inom tung industri; för el- och fjärrvärmeproduktion samt avsaltning av havsvatten på avlägsna platser utan befintligt elnät. En tänkbar tillämpning för SMR:er kan vara inom gruvindustrin, som i dag använder mycket fossila bränslen. Sedan rapporten släpptes har den kanadensiska regeringen annonserat en "action plan" för arbetet med att utveckla, demonstrera och etablera SMR:er i landet. [29] Den kanadensiska myndigheten CNSC har samtidigt bedrivit ett arbete omfattande prelicensieringsprocesser för i storleksordningen tio olika projekt. Syftet är inte att nu licensiera reaktorerna, utan att ge tillverkarna återkoppling på teknologin. År 2019 mottog myndigheten en första "siting license application", för en micro-SMR från företaget Global First Power. [30] Ansökan rör en gaskyld reaktor vid namn "Micro Modular Reactor" om 15 MW som ska producera processvärme till en närliggande saltsmälteanläggning, som i sin tur ska producera el och/eller värme. [31] Det kan tilläggas att CNL, Kanadas största forskningslaboratorium inom kärnteknik, under 2017 mottog intresseanmälningar rörande uppförandet av 19 olika demonstrations- och/eller prototypreaktorer av SMR-typ. Ett antal tillverkare (Kairos Power, Moltex Canada, Terrestrial Energy och Ultrasafe Nuclear Corporation) mottog i november 2019 stöd från CNL i syfte att skynda på uppförandet av SMR:er i landet. I oktober 2020 fick ett av företagen, Terrestrial Energy, ytterligare

statliga medel för utveckling av reaktorn vid namn Integral Molten Salt Reactor (IMSR). Samma månad tillkännagav bolaget Ontario Power Generation (OPG) sin avsikt att nära samarbeta med tre olika tillverkare (GEH's 300 MWe BWRX-300, Terrestrial's 192 MWe Integral Molten Salt Reactor, and X-energy's 80 MWe Xe-100 high-temperature SMR) i syfte att undersöka energiförsörjningen för avlägsna platser. [30] Samtidigt har över 100 organisationer i civilsamhälle och bland urfolksorganisationer ställt sig bakom ett upprop från Canadian Environmental Law Association som kritiserar utvecklingen av SMR:er i allmänhet och statlig finansiering för SMR:er i synnerhet. [32]

- **Kina** bedriver forskning och utveckling inom SMR:er. Utvecklingen drivs mot olika delmål såsom elproduktion för små nät, fjärrvärmeproduktion, processvärmeproduktion och avsaltning. Kina finansierar en rad olika program i syfte att bedriva forskning, utveckla och demonstrera reaktorkoncept både på Generation III och IV nivå. Sedan 1970-talet har man studerat bl.a. gaskyllda högtemperatursystem, och uppförandet av en demonstrationsanläggning bestående av modulära gaskyllda högtemperaturreaktorer är ett högt prioriterat vetenskapsprojekt. Anläggningen kallad HTR-PM kommer bestå av två s.k. pebble bed moduler, som bygger på principen av HTR-10. [33] Sedan 2010 har man också studerat små och medelstora tryckvattenkokarsystem (ACP100). [34] En demonstrationsreaktor av ACP100 typ började byggas 2019 i Hainan i Kina, och vidare har National Nuclear Co. också påbörjat utvecklingen av en ACP100-reaktor som är tänkt att fungera som ett flytande kärnkraftverk.
- **Ryssland** har världens mest omfattande erfarenhet av att driva SMR:er, och ett användningsområde är att framdriva isbrytare. Flaggskeppsreaktorn RITM-200 av PWR-typ är en SMR på 50 MW som redan är testad och har installerats på sex isbrytare och avses att installeras på ytterligare två. [35, 36] Det finns också andra exempel på SMR:er förlagda på land liksom utanför land, s.k. off-shore. En uppmärksammas off-shore-reaktor är ett flytande kärnkraftverk, där reaktorn är av PWR-typ och går under benämningen KLT-40 reaktor. [37] Reaktorn har till syfte att förse avlägsna platser utan infrastruktur med el. Beträffande landbaserade SMR:er, finns planer på en RITM-200 reaktor med pla-

cering i närheten av en befintlig diamantgruva. Primärt driver det statligt ägda Rosatom på utvecklingen i landet, och tillämpningar såsom el- och vätgasproduktion har lyfts fram. I huvudsak verkar Rosatoms plan vara att förse den inhemska marknaden med den nya teknologin, och i andra hand att exportera den till övriga världen. [38]

- I **Storbritannien** har regeringen visat intresse för ny kärnkraft, inkluderande både SMR:er och så kallade avancerade modulära reaktorer. Sådan teknik är del av en satsning på en grön industriell revolution, där den brittiska regeringen identifierat tio olika sätt att nå en nollnivå för sina utsläpp. [39] I referens [40] anges att stödet till ny forskning och innovation på det kärntekniska området under perioden 2016–2021 uppgick till 480 miljoner pund, inklusive stöd för kompetensutveckling inom tillsynsmyndigheten för att möjliggöra licensiering av nya kärntekniska system. Inom ramen för satsningen utlyste den brittiska regeringen 2016 en flerstegstävling inom nukleär innovation, där utvecklare och tillverkare av kärntekniska system gavs möjlighet att stötta regeringens utveckling inom kärnkraftssektorn med framtagande av nya kärntekniska koncept. Koncepten byggde både på ny lättvattenreakorteknologi, och på Gen IV teknologi. Den brittiska regeringens satsningar specifikt riktade mot SMR:er beskrivs i mer detalj i referens [41], medan satsningarna på avancerade kärntekniska koncept beskrivs i [42]. Den brittiska regeringen har också genomfört utredningar som syftar till att ta fram rekommendationer för hur de i samarbete med kärnkraftsbranschen och finanssektorn kan göra finansiering tillgänglig för forskning och utveckling av avancerade kärntekniska system. [43]
- I **USA** har energidepartementet under ett flertal år samarbetat med och finansiellt stöttat en rad företag och program kring utveckling av SMR:er. Sedan 2020 finns ett program som ska ge stöd för demonstration av olika avancerade reaktorkoncept i USA. [44] Inom programmet uppmärksammas områden som, ofta mot bakgrund av existerande myndighetskrav anpassade för storskaliga lättvattenreaktorer, är i behov av särskilt stöd. Exempel på sådana områden är kärnämneskontroll och fysiskt skydd. [45] För tillfället står flera olika SMR:er under utveckling. Dessa varierar både i fråga om storlek (från tiotals till hundratals MW),

teknologi (lättvattenreaktorer, gaskylda reaktorer, metallkylda reaktorer och saltsmältareaktorer), syfte (elproduktion, processvärme, avsättning, industriprocesser etc) och uppförande. [46] Under år 2018 tilldelades hundratals miljoner dollar till tretton olika projekt. Under de senaste åren har samarbetet fokuserat på SMR:er av lättvattentyp, och energidepartementet har gått samman med den privata tillverkaren NuScale Power [47] och den politiska intresseorganisationen Utah Associated Municipal Power Systems (UAMPS) i syfte att uppföra de första SMR-reaktorerna av lättvattentyp vid Idaho National Laboratory (INL). NuScales reaktorkoncept blev i september 2020 det första SMR-konceptet någonsin att licensieras av den amerikanska tillsynsmyndigheten NRC. [49] Vid INL finns också sedan 2019 ett nystartat innovationscentrum (National Reactor Innovation Center, NRIC) för att möjliggöra uppförandet av olika typer av SMR:er. Här ligger de två företagen TerraPower och X-Power i framkant och forskning och utveckling av en rad olika reaktorkoncept pågår. Sedan 2016 finns det i USA också ett konsortium vid namn SMR Start [50], bestående av industriella partners som driver kommersialiseringen av flera olika SMR-koncept framåt.

- I **Sverige** deltar det statliga företaget Vattenfall i en förstudie i samarbete med det (privata) estländska företaget Fermi Energi, finska Fortum och belgiska Tractebel. [51] Förstudien syftar till att undersöka förutsättningarna för att uppföra SMR:er i Estland. Vattenfall har meddelat att samarbetet syftar till att samla kunskap och bygga kompetens om SMR:er. För närvarande analyseras fyra olika koncept – en kokarvattenreaktor (GE/Hitachi), en saltsmältareaktor som kan använda använt kärnbränsle som bränsle (SSR-W300 av Moltex), en tryckvattenreaktor (NuScale) och en termisk saltsmältareaktor (Terrestrisk IMSR-400). Mer information finns i [52]. Kopplingar finns också till utvecklingen i Storbritannien, då ett av de företag som deltar i det brittiska näringsdepartementets tävling inom nukleär innovation (med projektet UK-SEALER) har sin bas i Sverige. Företaget utvecklar en blykyld snabbreaktor om 55 MW elektrisk effekt, avsedd för elektrifiering av avlägsna samhällen. [53] Svenska forskare deltar också i forskningsprojekt som rör utveckling kring uppförandet av en blykyld forskningsreaktor i Oskarshamn [54, 55] samt i ett

projekt som rör etablerandet av ett nationellt kompetenscentrum med fokus på SMR-teknologin. [56]

- I **Finland** finns också ett intresse för SMR:er, och landet står i begrepp att helt fasa ut kol ur dagens energisystem senast år 2029. Detta är en utmaning främst för uppvärmningssektorn där den största potentialen för SMR:er finns enligt både VTT [57] och Fortum. [58] EcoSMR (Finnish Ecosystem for Small Modular Reactors) [59] samlar en rad finska aktörer, bland annat VTT och Lappenrantas tekniska universitet, för att utreda förutsättningar som rör kravspecifikationer, licensiering och affärsmöjligheter inför ett eventuellt uppförande av sådana reaktorer i landet. [60] Intresset motiveras utifrån möjligheterna att framställa koldioxidslut el, processvärme och fjärrvärme. VTT är sedan flera år mycket aktivt inom projektet och utreder möjligheterna att introducera SMR:er i Finland. De koordinerar ett europeiskt projekt rörande licensieringsförfaranden, gör flertalet förstudier för ett utreda SMR-teknologins möjliga roll i olika energisammanhang (se t.ex. [61]), utvecklar verktyg för modellering av SMR-fysik och utvecklar koncept för fjärrvärmeproduktion. [62, 63]
- I **Frankrike** har kärnkraften under lång tid haft en mycket stark ställning och varit den dominerande producenten av elektricitet. Sedan ett par år tillbaka finns ett nationellt mål om att kärnkraften år 2035 ska stå för högst 50 procent av elproduktionen, vilket är en minskning jämfört med nuvarande cirka 70 procent av elproduktionen. [64] Forskning och utveckling av kärntekniska system har haft en framträdande roll, och även inom SMR:er görs framsteg. Den franska energimyndigheten har annonserat planer på att utveckla en SMR som kan komma att finnas på marknaden innan 2030. Planerna rör det s.k. Nuward SMR-projektet, med en reaktor framtagen av atom- och energikommissionen CEA, tillsammans med det statligt kontrollerade EDF, den s.k. Naval gruppen och företaget TechnicAtome. Planer på att samarbeta med Westinghouse finns också. [65]

Ett antal andra europeiska länder är försiktigt intresserade av SMR:er:

- **Polen** är ett land som till stor del är beroende av kol. Nyligen annonserades planer på att ersätta kolkraft med kärnkraft, och SMR:er undersöks i syfte att framställa både el- och värme som ett komplement till de sex planerade större kraftproducerande kärnkraftsreaktorerna i landet. Det tydligaste intresset för SMR:er verkar dock vara att framställa processvärme i industrisyfte och det polska energidepartementet pekar både mot utrymmet för ett flertal reaktorer av HTGR-typ, såväl som en demonstrationsanläggning och en fullskaleanläggning inom en tioårsperiod. [66]
- Även **Rumänien** undersöker SMR:er, speciellt NuScale. En avsiktsförklaring har träffats i syfte att utreda om och i så fall hur SMR:er kan passa de rumänska behoven. [67]
- På motsvarande sätt har också **Tjeckien** uttryckt intresse för SMR:er och har skrivit kontrakt med både GE Hitachi och NuScale som möjliggör vidare utbyte av teknisk information. [68] Utveckling av koncept för fjärrvärme pågår också. [69]
- **Sydkorea** är ett av världens mest kärnkraftstarka länder i den mening att de framgångsrikt exporterat kärnkraftverk till andra länder under lång tid. KAERI, det koreanska forskningsinstitutet, har utvecklat en SMR av PWR-typ vid namn SMART. [70] Forskning och utveckling av SMR:er i Sydkorea är inte bara begränsad till reaktorer av lättvattentyp. Eftersom frågan om hur det går att hantera det inhemska avfallet från reaktorerna inte är löst, etablerades 2002 ett nationellt transmutationscentrum vid namn NUTREK. Inom ramen för detta centrum har en rad forsknings- och demonstrationsstudier bedrivits kring bl.a. transmutation med avseende på metallkylda reaktorsystem. Utifrån den erfarenhet man har samlat på sig, föreslås nu också en bly-vismutkyld SMR med urandioxidbränsle, vid namn URANUS. [71]
- **Argentina** har utvecklat forskningsreaktorer sedan 1950-talet. Sedan 1980-talet har CAREM-projektet som är ett SMR-projekt med fokus på framtagandet av små reaktorer av tryckvattenreaktordesign varit under utveckling. En prototypreaktor, CAREM 25, började byggas 2014 som ett steg i att ta fram en kommersiell reaktor. [72]

8.3 Översikt av reaktorteknologier och bränslen under utveckling

Hur bränslet till reaktorerna ser ut beror på vilken typ av reaktor det ska användas i. Som tidigare nämnts undersöks ett antal olika reaktorteknologier inom utvecklingen av SMR:er, en överblick av dessa finns i tabell 8.1 nedan.

Tabell 8.1 Överblick av SMR-koncept

Teknologi	Kommentar	Exempel på SMR-koncept
Lättvattenreaktor (LWR)	Den mest spridda kommersiella teknologin i dag. Reaktorerna är av två typer: tryckvattenreaktor (PWR) eller kokarvattenreaktor (BWR). PWR är den vanligaste globalt sett. Bränslet består av uranstavar som sätts ihop till bränsleelement.	PWR: ACP100, CAREM, FlexBlue, KLT-40S, NuScale, RITM-200, SMART, SMR-160, Nuward.
Gaskyld högtemperaturreaktor (HTGR)	Många länder har visat intresse för teknologin där föreslagna gaskylda SMR:er använder helium som kylmedium. SMR-bränslet föreslås vara sk "pebblar" (bränslekulor stora som biljardbollar) eller bränslestavar.	EM2, GT-MHR, HTR-PM
Metallkylda reaktorer	Kylmediet utgörs av flytande metall såsom flytande natrium, bly, eller bly-vismut. Det hårda neutronspektrumet i reaktorn möjliggör att reaktorerna kan användas både för att skapa nytt bränsle (sk breeding) och för att konsumera avfallsprodukter (sk burning).	Natriumkyld: 4S, PRISM
Saltsmältareaktor (MSR)	Bygger på en saltsmälta som cirkulerar i systemet. Övervägs i dagsläget för t ex processvärme och energilagring.	IMSR, LFTR, Molten Chloride Fast Reactor, SSR-W

Anm: Ytterligare information finns i källhänvisning [63].

Under respektive reaktorteknologi föreslås en rad olika reaktorer. En majoritet av SMR:erna under utveckling eller uppförande är av lättvattenreakortyp, där bränslematerialet utgörs av anrikad urandi-oxid, UO₂, i likhet med bränslet som i dag används i lättvattenreaktorer. Däremot kan det hända att bränslematerialets geometriska

form (den s.k. bränslegeometrin) är annorlunda än de avlånga bränsleelement bestående av bränslestavar som i dag används inom kärnkraftverken. Ofta är anrikningsgraden på bränslet under 5 procent, men i vissa fall kan den gå uppemot 20 procent om reaktorn ska drivas under långa driftcykler utan bränslebyten. Mot denna bakgrund förväntas det använda bränslet från SMR:er av lättvattenreakortyp ha liknande egenskaper som det från dagens lättvattenreaktorer, även om en del skillnader kan uppstå till följd av andra anrikningsgrader eller bränslegeometrier.

Gaskylda högttemperaturreaktorer finns i olika varianter. Många av dem använder bränsle som är uppbyggt av s.k. Trisopartiklar, små partiklar med en diameter på omkring 1 mm. Trisopartiklarnas kärna utgörs vanligtvis av urandioxid medan de yttre lagren är kol- eller keramikbaserade, avsedda för att hålla fissionsprodukter inneslutna också vid höga temperaturer och slututbränningar. Trisopartiklarna kan formas till olika bränslen, såsom en större variant av dagens bränslepelletsar som används i bränsleelement (liknande lättvattenreaktorernas bränslen) eller till runda bollar, s.k. pebblar, stora som biljardbollar. Dessa pebblar kan inte särskiljas från varandra, och en enskild härd kan innehålla flera hundra tusen stycken. Bränslena förväntas nå en hög slututbränning, och tiden mellan bränslebyten varierar från kontinuerlig påfyllning till tider på uppemot 30 år. Det använda bränslet kommer ha en högre slututbränning, eftersom det har en högre anrikning, och en högre restvärme än dagens bränsle. Dessutom utgör pebbelbränslet ett betydande avsteg från den bränslegeometri som vi i dag hanterar i Sverige, då bränslet till sin form ser annorlunda ut (runda bollar som inte kan särskiljas från varandra, i stället för ID-märkta bränsleelement med bränslestavar). De bränsleelement som förekommer för vissa koncept är till sina egenskaper annorlunda än bränslet från lättvattenreaktorer, men erfarenhet av sådan hantering finns redan från exempelvis gaskylda reaktorer (Magnox) i Storbritannien.

Reaktorer kyllda med flytande metall använder sig av olika typer av bränslen där klyvbara materialet är i form av uran- eller plutoniumkarbider eller -nitrider (karbider är metall-kolföreningar och nitrider metall-kväveföreningar med höga smältpunkter och hög mekanisk stabilitet). Anrikningsgraden i bränslet är högre än för dagens lättvattenreaktorer och det fissila (klyvbara) materialet kan utgöras av såväl uran som plutonium. Tiden mellan bränslebyten varie-

rar från något enstaka år till decennier, och i vissa fall planeras inga bränslebyten alls då hela härden byts ut eller reaktorn beräknas ha nått sin slutliga livslängd (metallkylda SMR:er utan bränslebyten är t.ex. SVBR-100 och UK-SEALER se tabell 8.2 (se i bilaga 1), men det finns också andra SMR:er utan planerade bränslebyten). Det använda bränslet kommer att påminna om dagens i den mening att bränslet utgörs av bränsleelement, men bränslets materialsammansättning, utbränning, restvärme etc. kommer vara annorlunda än den för dagens lättvattenreaktorbränsle. Utöver det kommer det använda bränslet förmodligen mellanlagras en tid i flytande metall för att därefter separeras från metallsmältan innan det omhändertas för slutförvaring. Även om vi i Sverige inte har någon erfarenhet av hantering av sådana bränslen, finns betydande erfarenhet i bl.a. Frankrike som under lång tid drivit natriumkylda reaktorer, och Ryssland som drivit blykylda reaktorer.

Saltsmältareaktorer är de som bränslemässigt är mest olika dagens lättvattenreaktorer. I dessa fall är bränslet flytande och ofta blandat med ett fluoridsalt eller möjligen ett kloridsalt, och det fissila materialet kan utgöras av toriumfluorid eller uran(IV)fluorid [74, 75] eller av plutonium. [76, 77] En saltsmältareaktor i drift har en betydligt högre arbetstemperatur, cirka 700 °C, att jämföra med en konventionell lättvattenreaktor som har en arbetstemperatur på omkring 300 °C. Den höga arbetstemperaturen och saltsmältors kemiska egenskaper gör att korrosion är en stor utmaning för de material som ska användas. Avfallet från dessa typer av reaktorer är väldigt annorlunda än dagens avfall. Eftersom många av dessa koncept har förmågan att utnyttja långlivade transuraner som bränsle (efter att transuranerna separerats från andra avfallsprodukter i en uppberedningsanläggning), kommer det slutgiltiga avfallet i huvudsak utgöras av kortlivade fissionsprodukter. Däremot kommer nya typer av avfall att uppstå som utgörs av olika typer av salter, liksom avfall från den kemiska uppberedningen.

Tabell 8.2 visar på huvudsakliga bränsleegenskaper hos en rad av de föreslagna SMR-koncepten. Tabellen är inte komplett eftersom listan med föreslagna SMR-koncept i dag kan göras mycket lång. Det kan i sammanhanget nämnas att en del av SMR:erna i tabell 8.2 explicit gör anspråk på att vara s.k. Gen IV-reaktorer. Inom dessa system finns, av olika fysikaliska skäl, en möjlighet att utnyttja delar av det som i dag betraktas som långlivat avfall som bränsle. Detta

kan i så fall minska avfallsmängderna från kärnkraftsdriften, liksom lagringstiderna för avfallet. [79] Ett stort antal processer för separering och återanvändning av olika grundämnen är redan utvecklade, eller står under forskning och utveckling. Processerna befinner sig på olika mognadsnivåer som sträcker sig: från en låg nivå där principen för separationen och återvinning har visats men där ytterligare steg återstår innan processen kan skalas upp till kommersiell nivå; till en hög nivå där grundprocessen är i kommersiell drift (t.ex. PUREX), men där relativt små förändringar av processen är under vidareutveckling. En mer komplett överblick av olika återvinningsprocesser och deras mognadsnivåer återfinns i en publikation av OECD/NEA. [80]

8.4 Avfall från SMR:er

Många SMR:er befinner sig relativt tidigt i sin utvecklingsfas, det gäller speciellt flera av de koncept som bygger på en annan teknologi än lättvattenreakorteknologin. Utformningen av reaktorerna och deras kringliggande anläggningar för exempelvis bränsletillverkning, upparbetning eller återvinning etc. är i många fall inte heller färdigdesignade, och forskning pågår för att ta fram beständiga material som klarar av de nya påfrestande miljöerna. Det är således svårt att i dag uppskatta exakt hur avfallsströmmar och volymer kan komma att se ut, och vilka egenskaper avfallet kommer ha. Mot den bakgrunden menar IAEA att det kan vara mer meningsfullt att göra bedömningar av vilka typer av unika avfallsströmmar som kommer produceras, snarare än att utforma detaljerna kring avfallets omhändertagande redan nu. [108]

Översiktligt konstaterar IAEA i [108] att för lättvattenreaktor-koncepten är bränslet till sin utformning och sina egenskaper likt det från dagens kommersiella storskaliga lättvattenreaktorer. Därför kommer avfallet troligtvis att kunna omhändertas på liknande sätt och med liknande processer, även om man på olika sätt försöker reducera och kompaktera avfallsvolymer. Vårt att observera i detta sammanhang är att nästan alla länder i dag saknar en långsiktig lösning för det redan existerande kärnavfallet, och att även länder med planer på slutförvar inte räknar med ytterligare avfall från framtida SMR:er inom ramen för sina pågående projekt.

Genomgången i [108] visar att avfallet från de gaskylda systemen på många sätt liknar det från existerande gaskylda system, som det finns erfarenhet av. Dock finns vissa skillnader i exempelvis förekomst av olika radionuklider i olika avfallsformer, vilket motiverar fortsatt forskning inom avfallsområdet. Vad gäller annat avfall än bränslet, kan dess volym reduceras genom att t.ex. pebble-bed-reaktorernas bränsle inte kapslas in. Däremot tillkommer för dessa reaktorer omhändertagande av radioaktiv grafit, som utgör en ny typ av avfall. [108] Vi kan notera i tabell 8.2 att bränslet för de gaskylda högtemperaturreaktorerna förväntas ha en betydligt högre initial anrikning och därmed också högre slututbränning och högre restvärme än dagens avfall från lättvattenreaktorer. Utöver det kan bränslecykeln komma att inkludera torium (Th) vilket inte används som bränsle i någon större utsträckning i dag. Författarna till [109, 110] konstaterar att omhändertagande av kärnavfallet från de gaskylda högtemperaturreaktorerna har studerats sedan 1960-talet, med avsikt att avskilja fissionsprodukterna och återvinna uran- och toriumoxid och för att skapa nytt bränsle. Vilket alternativ för omhändertagande av avfallet som är att föredra för ett enskilt land beror på en rad olika frågeställningar. Dessa kan t.ex. handla om vilka typer av avfall en anläggning får ta emot och vilka lagar, krav och resurser som finns kring återvinning av kärnavfall. Oavsett hur situationen ser ut, är lösningsförslagen i dag schematiska och varierar från pakertering/inneslutning och därefter direktdeponering av hela härden, till fullständig kemisk uppberedning av det använda bränslet där fertilt och fissilt material återvinns, mindre aktinider (tung grundämnen där bl.a. torium, uran och plutonium ingår och samtliga är radioaktiva) separeras och fissionsprodukter innesluts i glas (vitrifieras). Trots omfattande forskning finns ännu ingen väldefinierad och ”färdig” process för återvinning av HTGR-bränsle, men stora framsteg har gjorts i pilotskala. [109, 110]

Beträffande snabbreaktorer, dvs. reaktorer med ett snabbt (högenergetiskt) neutronspektrum såsom metallkylda reaktorer eller salt-smältareaktorer, genererar dessa använt kärnbränsle med en faktor tio högre radiotoxicitet än dagens MOX-bränsle. [108] Detta kommer få effekter på säkerheten runt och hanteringen av sådant material. En bränslehanterings- eller återvinningsanläggning kan uppbereda avfall till former som exempelvis är svårslösliga i vatten, men de radiotoxikologiska egenskaperna kvarstår så länge materialet inte

sönderfallit. Den största reduktionen av radiotoxicitet (en faktor av 100–1 000) uppnås genom att transmuttera transuranerna och aktiniderna i t.ex. en snabbreaktor. Att transmuttera innebär att genom bestrålning omvandla ett grundämne eller isotop (varianter av samma grundämne men med olika atommassor) till ett annat grundämne. Detta skulle innebära att avfall kan komma att utgöra nytt bränsle, vilket reducerar både avfallsvolymer och deras lagringstider. En viss volym långlivat avfall kommer alltid att finnas kvar, men det kommer vara mindre volym/mängd än från LWR-systemen. Återanvändandet av transuraner och aktinider kräver dock bränsleupparbetning eller bränsleåtervinning, vilket i sin tur genererar nya avfallsströmmar. Hur dessa strömmar ser ut beror på vilken typ av bränsle som ska bearbetas (oxid, nitrid, karbid, metalliskt bränsle etc.). Avfallsströmmarna är också beroende av vilken bearbetningsprocess som används, såsom t.ex. vattenbaserade upparbetningsmetoder eller högttemperaturmetoder som innefattar saltsmältor. Referens [108] beskriver detta mer ingående. Vidare konstaterar samma referens att de metallkylda systemen ger upphov av en ny typ av avfall som kategoriseras som låg- och medelaktivt avfall. Detta avfall utgörs bland annat av material som på något sätt kommit i kontakt med kylmediet (dvs flytande natrium, bly eller bly-vismut). I dessa fall kommer kylmediet som sådant att utgöra en ny och unik typ av avfall, för vilken separata processer för avfallshantering behöver utarbetas.

De olika saltsmältareaktorerna som föreslagits använder en rad olika typer av bränslen, där både fissila material (t.ex. U-235, som utgör bränsle för dagens kärnkraft) och fertila material (t.ex. U-238 som finns i kärnbränslet i dag men som inte är klyvbart) kan användas. En del saltsmältasystemen förväntas förbränna större delen av transuranerna och de lättare aktiniderna, vilket (likt de metallkylda systemen) kan reducera både volymen och lagringstiden för det använda bränslesaltet. Avfallet från reaktorn, med sin tillhörande upparbetning, skulle innehålla fissionsprodukter som separeras bort i upparbetningssteget. Processer för att säkert hantera och omhänderta de ofta korrosiva salterna finns inte i dag utan behöver tas fram, liksom lösningar för deras långsiktiga inneslutning. [108]

8.4.1 Hur ser behovet av utveckling inom avfallshantering ut?

I upplagan ”Management of Spent Fuel from Nuclear Power Reactors” av tidskriften IAEA Bulletin yttrar sig föreståndaren för IAEA:s avdelning för ”Nuclear Fuel Cycle and Waste Technology” om huruvida avfallet från SMR:er kommer bli en utmaning att omhänderta eller inte. [111] Representanten konstaterar där att ett lands förmåga att omhänderta avfallet beror både på vilket SMR-koncept som avses och landets tidigare erfarenhet av omhändertagande av kärnavfall. Länder med redan existerande kärnkraft har en sedan tidigare etablerad infrastruktur samt erfarenhet av att hantera kärnavfall, och för sådana länder bör avfallet från SMR:er av lättvattenreaktortyp inte utgöra någon ytterligare utmaning än vad omhändertagandet av avfallet från dagens kärnkraft redan utgör enligt föreståndaren. Vidare påstår han att han inte tror att avfallet från mer avancerade SMR-koncept som högtemperaturreaktorer nödvändigtvis kommer bli mer komplicerat att omhänderta, då avfallet i stor utsträckning kan hanteras på liknande sätt som konventionellt avfall från dagens kärnkraft. Däremot pekar han på att utmaningen kan bli desto större för länder som saknar, eller har liten, erfarenhet av tidigare kärnkraft. IAEA har också i andra sammanhang lyft avfallsfrågan, t.ex. i publikation ”Technology roadmap for small modular reactor deployment”. [112] Publikationen har inte som syfte att redogöra för olika möjligheter eller begränsningar, men betonar vikten av att i ett tidigt skede lyfta frågan och adressera behovet av att utveckla system för att omhänderta avfallet från reaktorerna.

I USA konstaterade landets säkerhetsmyndighet, U.S. Nuclear Regulatory Commission (NRC) redan år 2014 att en licensieringsansökan för uppförande av ny kärnkraft behöver beskriva hur det radioaktiva avfallet ska hanteras samt redogöra för planer på förvar av avfall. [113] NRC konstaterade också att de inte ens för SMR:er av lättvattenreaktortyp då hade information om specifika avfallsströmmar, samt att SMR:er av mer avancerade typ skulle kräva ytterligare forskning för att både uppskatta unika avfallsströmmar och ta fram lösningar för omhändertagandet av dessa. Dessutom trodde NRC att både föreskrifter och rekommendationer skulle behöva uppdateras. Sedan dess har ett koncept, NuScale, passerat NRC:s sjätte och sista granskningsfas, vilket gör att företaget kan fortsätta sina planer att etablera reaktorerna. Beträffande hantering

av det använda reaktorbränslet, föreslår företaget bakom NuScale att detta ska förvaras i en bränslebassäng under de första fem åren och att det därefter ska placeras i torrförvar på anläggningen. Den typ av förvaring uppskattas av företaget vara säker i uppemot 100 år. Vad som händer därefter är mer oklart. USA:s energidepartement har ansvaret för framtagandet av ett slutförvar, och ansvaret för den långsiktiga förvaringen ligger alltså bortanför företaget. Företaget bakom NuScale anger att upparbetning av bränslet för MOX-bränsleproduktion kan vara en möjlighet. [114]

I Kanada, som ligger i framkant kring implementeringen av SMR:er, publicerades 2018 en rapport som relaterar till en utredning om vad som krävs för att utveckla och installera SMR:er i landet. [115] Rapporten är författad av en arbetsgrupp som hanterar just avfallsfrågan, och i den identifieras både kunskapsgap och möjliga lösningar som rör avfallet från SMR:er. Tydligt blir att en plan för att omhänderta avfallet från dessa reaktorer behöver tas fram. SMR-utvecklare behöver tillsammans med ansvarig avfallsorganisation ta fram en kravbild för avfallet, samt utreda vilka avfallsformer som kan accepteras. Detta innefattar studier av möjliga metoder för bränslekaraktärisering, bränslehantering och bränsletransporter. Det behövs också fortsatt arbete för att kunna visa att bränslet är säkert att placera i ett förvar utifrån de planer som landet har i dag. Generellt sett finns många frågetecken kring hur framtida ”småproducenter” ska hantera sitt låg- och medelaktiva avfall, då ansvaret för att tillhandahålla och finansiera detta i dag vilar på ägarna av de enskilda kraftverken. Rörande det högaktiva avfallet finns dessutom en rad logistiska utmaningar som rör transporter av bestrålade reaktorhärddar från avlägsna platser. Det finns också en annan studie som studerar avfallsströmmar från olika typer av avancerade SMR:er (av typen gaskylda högtemperaturreaktorer, saltsmältareaktorer och blykylda reaktorer) som övervägs för uppförande i Kanada. Arbetet identifierar olika typer av nya avfallsströmmar som inte inkluderar själva bränslet, och pekar på att de förväntade höga utbränningarna i bränslet kommer att resultera i höga aktivitetsnivåer. [116]

Den finska tillsynsmyndigheten STUK har också tittat på förutsättningar för att använda SMR:er i landet, och konstaterar att avfallet för SMR:er av lättvattenreakortyp till sin natur är väldigt likt avfallet från dagens reaktorer i landet. Det betyder att sådant avfall sannolikt kan hanteras med liknande utrustning som den som redan används,

eller planeras att användas i landet, samt att dagens säkerhetskrav gällande slutförvar kan tillämpas. STUK konstaterar också att det kan finnas fördelar med dagens centraliserade avfallshantering. Därför kan regelverket och kravbilden rörande avfallsfrågan behöva ses över, om anläggningar i framtiden kommer vara distribuerade eller ha en storlek som kraftigt skiljer sig från dagens. [4] System som inte är av lättvattenreakortyp berörs inte nämnvärt i rapporten, förmodligen eftersom en kommersiell implementering av dem ligger längre fram i tiden om de ens blir aktuella.

Beträffande avfallsstudier av SMR-bränsle är vi inte medvetna om att sådana gjorts i Sverige. Det närmaste vi funnit gäller studier som genomförts av Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB) som ansvarar för det använda kärnbränslet från lättvattenreaktorerna i Sverige. I [117] reflekterar företaget över en rad frågeställningar som rör företagets ansökan om ett slutförvar för använt kärnbränsle och dess omfattning. Det gäller bl.a. inverkan på slutförvaret av introduktion av ny kärnkraft (även om avfall från nya reaktorer inte täcks av SKB:s ansökan.) [118] SKB konstaterar att osäkerheterna kring detta är så stora vad gäller teknikval och när en sådan introduktion eventuellt kan komma i fråga, att detta nödvändigtvis kommer kräva en egen process för utveckling, granskning och tillståndsprövning (i linje med svensk och europeisk lagstiftning kan tilläggas). Enligt SKB kan de existerande avfallsvolymererna eventuellt minska, om avfallet skulle användas för att skapa MOX-bränsle. Utöver att en sådan avfallsbearbetning skulle vara problematisk ur såväl ett miljö- och hälsomässigt som ekonomiskt perspektiv, skulle slutförvaret bli mer komplext och få fler kategorier av högaktivt och långlivat avfall. När det gäller snabbreaktorer (en del SMR:er är av denna typ) och deras avfall konstaterar SKB att en sådan introduktion i Sverige skulle kräva stora investeringar i nya uppberednings- och bränsletillverkningsanläggningar. Alltså behövs även fortsättningsvis ett slutförvar för lättvattenreaktorbränsle, och därutöver ytterligare förvar för avfallet från snabbreaktorerna. Även om det inte resoneras kring legala aspekter i publikationen, kan det tilläggas att i Sverige är ett slutförvar i kärntekniklagens mening just ett slutförvar och ingenting annat. Mot den bakgrunden är det inte juridiskt möjligt att återta bränslet utan att först lämna in nya ansökningar om tillstånd för detta enligt Lagen (1984:3) om kärnteknisk verksamhet (kärntekniklagen) och Miljöbalken (1998:808). Det kommer att bli en besvärlig prövning som

lagstiftningen ser ut i dag, eftersom slutförvaret då inte längre är ett slutförvar – åtminstone inte för allt bränsle – och statens ansvar för ett slutligt förslutet förvar kanske måste omprövas.

8.5 Slutsats

SMR:er baserade på en rad olika reaktorteknologier står under utveckling, där koncept bygger på välkänd teknologi för lättvattenreaktorer såväl som avancerade teknologier där bränsle och/eller kylmedium väsentligt skiljer sig från dagens reaktorer. Detta väcker frågor om hur avfallet kommer se ut, och i vilken utsträckning det redan nu går att planera för dess specifika omhändertagande.

En genomgång av en rad olika reaktorkoncept visar att avfallsfrågan inte är bortglömd, men inte heller prioriterad. En del reaktorkoncept presenteras tillsammans med planer för omhändertagande av avfall, men lösningarna tenderar att vara översiktliga och handlar om att avfallet kan lagras eller inneslutas utan att närmare gå in på vad detta innebär eller hur det ska gå till. För koncepten som bygger på lättvattenreaktorer är situationen likartad den för storskalig kärnkraft. Förmodligen beror det på att många koncept fortfarande befinner sig tidigt i sin utveckling, och att det är svårt att presentera specifika planer på avfallshantering när inte systemen är färdigutvecklade. Samtidigt finns det på detta tidiga stadium stora möjligheter att ställa krav på, och därmed påverka, avfallssystemets utformning.

Det finns i dag länder som investerar stort i utvecklingen av SMR:er. Även i Sverige finns intresse hos en del forskare och företag att vara delaktiga i utvecklingen. Det går att konstatera när man tittar närmare på beviljade forskningsmedel, som delats ut till t.ex. projektet SUNRISE från Stiftelsen för Strategisk Forskning [54, 55] liksom till den av Energimyndigheten nyligen beviljade etableringen av ett svenskt kärntekniskt kompetenscentrum med inriktning mot just uppförandet av SMR:er [56]. Även Strålsäkerhetsmyndigheten (SSM) pekar på att myndigheten för att främja strålsäkerhet och kompetensförsörjningen i framtidens samhälle, behöver bevaka innovationer inom det kärntekniska området. [119] Sådan bevakning kan göras t.ex. genom att myndigheten följer utvecklingen av små och avancerade modulära reaktorer i andra länder, men kommer inte leda

till någon väsentlig uppbyggnad av inhemsk kompetens på området. Dessutom är möjligheten att påverka forskningens inriktning och utveckling begränsad. Bevakning av området kan också göras genom att myndigheten ställer forskningsmedel inom utvalda områden till förfogande. I ett sådant scenario skulle myndigheten kunna peka på behov av forskning och utveckling inom utvalda områden, såsom t.ex. avfallsområdet.

Bilaga 1

Tabell 8.2 Överblick av en rad utvalda SMR-koncept under utveckling

MW(e) eller MWe betyder elektrisk effekt

Namn	Kommentar	Bränsle	Anrikning
Lättvattenreaktorer, PWR			
ACP100 Kina [81, 33]	PWR. 100 MWe. Preliminär säkerhetsrapport är genomförd. Förberedelser för uppförande och konstruktion inleddes 2019.	Anrikade UO2 bränslestavar i 17x17-geometri. 2 års intervall mellan bränslebyten.	4.2 %
CAREM Argentina [72, 82]	PWR. 27 MWe. Projektet initierades på 1980-talet. Första prototypreaktorn är under uppförande och väntas driftsättas 2022.	Hexagonala bränsleelement bestående av anrikade UO2 bränslestavar.	<5 %
FlexBlue UK [83]	PWR. 160 MWe eller 530 MW. Baserad på ubåtsdesign, placeras på havsbotten och styrs från land.	Anrikade UO2 bränslestavar i 17x17-geometri. Bränslebyte med cirka 3 års intervall.	<5 %
KLT-40S Ryssland [84, 85]	PWR. 35 MWe. Flytande kärnkraftverk som bl.a. kan placeras på avlägsna platser. Kopplades in på elnätet första gången 2019.	Bränslestavar bestående av t.ex. (U238 + U235)O2, (U238 + Pu239)O2, (Th232 + U235)O2, (Th232 + U233)O2. Bränslebyte efter 10–12 år.	18.6 %
NuScale USA [48, 86]	PWR. 45 MWe (160 MW). Första licensierade SMR i USA (2020). I Idaho planeras en anläggning med 12 moduler.	Anrikade UO2 bränslestavar i 17x17-geometri. Bränslebyte med cirka 2 års intervall.	< 4.95 %

Namn	Kommentar	Bränsle	Anrikning
RITM-200 Ryssland [85]	PWR. 2x50 MW(e) eller 2x175 MW. Primärt avsedd (och redan installerad) för framdrift av isbrytare men kan också även fungera som stationärt eller flytande kraftverk.	Anrikat UO2-bränsle. Hela härden byts efter 60 månader.	< 20 %
SMART Korea [70]	PWR. 100 MWe (330 MW). Erhöll sk "Standard Design Approval" av den koreanska myndigheten 2012. Reaktorn är avsedd för att exporteras i syfte att producera el och avsalta havsvatten.	Anrikade UO2 bränslestavar i 17x17-geometri. Bränslebyte efter cirka 3 år.	< 5.0 %
SMR-160 USA [25]	160 MWe underjordisk reaktor avsedd för samtidig produktion av el och vätgas, fjärrvärme eller avsaltat havsvatten. Förberedelse för licensieringsprocessen pågår.	Anrikade UO2 bränslestavar i 17x17-geometri, som byts efter 2 år.	4.95 %
Nuward Frankrike [25]	PWR. 2x170 MWe. En kommersiell modell planeras till slutet av 2020-talet.	Anrikade UO2 bränslestavar i 17x17-geometri. Bränslebyte efter 2–3 år.	< 5.0 %
Lättvattenreaktorer, BWR			
BWRX-300 USA och Japan [25, 87]	BWR. 270–290 MWe (870 MW). Licensieringsaktiviteter har inletts i USA med avsikt att uppföra den första reaktorn cirka 2030.	Anrikade UO2 bränslestavar om 92 bränslestavar per knippe. MOX-bränsle (U+Pu) kan också komma att användas. Bränslebyte efter 1–2 år.	< 4.95 %
VK-300 Ryssland [88]	Design baserad på kända VK-50 (i drift sedan 1965). 2x750 MW eller 2x(150–250) MWe. Avsedd för elproduktion samt avsaltning.	Bränsledesign baserad på den från WWER-1000-reaktorer med anrikat UO2 bränsle. Bränslebyte efter cirka 1,5 år.	3.6 %
Gaskylda högttemperaturreaktorer			
Energy Multiplier Module (EM ²) USA [25, 89]	Snabbreaktor avsedd att drivas med använt kärnbränsle. Modulär reaktor om 265 MW(e).	Hexagonal bränslegeometri bestående av urankarbid. Efter 30 år byts hela härden ut.	< 15 %
GT-MHR Ryssland [90]	Vidareutveckling av en reaktor som togs fram gemensamt av USA och Ryssland för att eliminera kärnvapenmaterial. 286 MW(e) per modul.	TRISO-partiklar av uran formas till pellets och sedermera hexagonala bränsleelement. Halva härden byts efter cirka 1,5 år.	< 20 %

Namn	Kommentar	Bränsle	Anrikning
HTR-PM Kina [33, 91, 92, 93]	Pebble-bed-reaktor. 10 MW testreaktor har varit i drift vid Tsinghuauniversitetet. Demonstrationsreaktor HTR-200 (210 MWe) uppförs nu i Shidao Bay i Shandongprovin-sen.	Trisoöverdragna UO ₂ -partiklar formas till pebblar med 6 cm diameter. HTR-200 kommer ha en härd bestående av cirka 420 000 pebblar. Pebblarna byts kontinuerligt när de uppnått sin slututbränning.	Ca 8,5 %
Micro Modular Reactor (MMR) Kanada [94, 95]	15 MWt. Reaktorn ska producera processvärme till närliggande anläggning, där el och ev. värme ska produceras. Reaktorn undergår licensiering i Kanada.	Triso-bränsle (UO ₂) i pelletform skapar cylindrisk silikonkarbidmatris. Reaktorn förväntas drivas under 20 år utan bränslebyte.	< 19,75 %
Xe-100 USA [96, 97, 98]	200 MWth. Kan fungera lastföljande	Pebblar bestående av Triso-partiklar med anrikat uran (High assay low enriched uranium) men också Pu-bränslen övervägs (PuO ₂ , (Th, U)O ₂ , (Th, Pu)O ₂) i nedrustningssyfte. Kontinuerlig bränslepåfyllning.	15,5 %
Metallkylda reaktorer			
4S Japan [99, 100]	Natriumkyld snabbreaktor av pooltyp med en effekt på 10 eller 50 MWe. Avsedd för elektrifiering av avlägsna platser.	Bränslebyten efter 10 år (50 MWe) eller 30 år (10 MWe). En rad olika bränslen kan användas t ex metalliskt anrikat uran eller Pu från använt kärnbränsle (17,5–24 %).	<20 % U-235 eller 17,5–24 % Pu
PRISM USA [101]	Var ursprungligen en 160 MWe natriumkyld reaktor avsedd för att vara självförsörjande på bränsle men fokus nu är på att utvinna energi ur använt kärnbränsle och förbränna långlivade radionuklider. Nuvarande modell är på 311 MWe.	Reaktorn kan köras för olika syften: för att förbränna aktinider, för jämvikt mellan produktion och konsumtion av bränsle, för att skapa mer bränsle än de förbrukar eller för förbränning av vapenplutonium. Bränslets metalliska sammansättning varierar liksom påfyllningsintervallet (1–2 år). Till formen är bränslelementen hexagonala. En pyroprocessanläggning för bränsleåtervinning förutsätts i anslutning till reaktorerna.	Pu på mellan 11,3 och 17,2 %
SVBR-100 Ryssland [85]	Bly-vismutkyld reaktor om 100 MWe av pooltyp för el- och processvärmeproduktion. Reaktorn bygger på principer från ubåtsreaktorer. Tillstånd för uppförande och drift förväntas innan 2025.	Jungfruhärden utgörs av UO ₂ -bränsle. Hela härden byts efter 8 år, påfyllning kan ske med (U-Pu)O ₂ eller (U-Pu)N.	<19,6 %

Namn	Kommentar	Bränsle	Anrikning
SEALER/UK-SEALER Sverige [25, 53, 102]	Blykyld reaktor i olika utföranden. Föreslås i storleken 3–10 MWe för elproduktion i arktiska områden, eller i storleken 55 MWe för påkoppling på befintligt elnät.	Planerar att använda UN-bränsle i en hexagonal geometri. Reaktorn ska kunna drivas i 10–30 år utan bränslebyte, beroende på applikation. Därefter anses reaktorn ha uppnått sin livstid.	19.75 %
Saltsmältareaktorer (MSR).			
IMSR Kanada [103, 104]	Konceptuell design färdig 2015. Prelicensiering inleddes 2017. Kan utöver el producera fjärrvärme, vätgas, industri- värme etc.	Låganrikat uranfluoridsalt cirkuleras genom en grafitmodererad härd. Då bränslet är flytande finns inga bränsleelement. Bränslet i saltet kan utgöras av låganrikad uranfluorid, plutoniumfluorid, thoriumfluorid eller en blandning av dem. Hela primärsystemet byts ut efter 7 år.	<5 %
LFTR USA [25]	Saltsmältareaktor om 250 MWe som använder toriumbränsle och ett termiskt neutronspektrum för att skapa bränsle under drift. Konceptet kräver kontinuerlig upparbetning av saltsmältan.	Bränslesalt med fissilt U233 cirkulerar i "driver"-delen av reaktorn, medan "blanket"-del innehåller fertilt Th232 som bildar U233. Upparbetning sker under drift för att separera det nyutbildade U233 och överföra det till "driver"-delen.	
Molten Chloride Fast Reactor USA [105, 106]	"Breed and burn"-reaktor som först skapar fissilt material (från naturligt uran, utarmat uran eller torium) och sedan förbrukar det. Utnyttjar ett snabbt neutronspektrum och kräver inte upparbetning.	Smält kloridsalt som bygger på U-Pu och Th-U cykler. Designen kräver påfyllning av naturligt eller utarmat uran.	<20 %
Stable Salt Reactor – Wasteburner (SSR-W) UK [107]	Snabbreaktor. Åtta moduler levererar tillsammans 750 MW (300 MWe). Systemet avsett för att förbränna använt kärnbränsle och samtidigt producera el. Det kan noteras att samma tillverkare också designar saltsmältareaktorer för U- och Th-cykler.	Bränslesaltet (60 % NaCl, 20 % reaktorradigt PuCl ₃ , 20 % UCl ₃ och lanthanidtriklorider) tillverkas från använt UO ₂ -bränsle. Bränslepåfyllning under drift liknande den för CANDU-reaktorer.	Reaktorradigt Pu

Anm. Notera att tabellen är långt ifrån ämnad att ge en heltäckande bild. Urvalet av system samt information kommer i huvudsak från [63], men en viss komplettering har skett.

Referenser

1. The Economic Modeling Working Group Of the Generation IV International Forum, Cost estimating guidelines for Generation IV nuclear energy systems. Revision 4.2 September 26, 2007. Tillgänglig på: www.gen-4.org/gif/upload/docs/application/pdf/2013-09/emwg_guidelines.pdf (hämtad 2022-01-20).
2. Esam M.A.Hussein. 2020. "Emerging small modular nuclear power reactors: A critical review", *Physics Open*, Volume 5, December, 100038. Tillgänglig på: <https://doi.org/10.1016/j.physo.2020.100038> (hämtad 2022-01-20).
3. International Atomic Energy Agency, Small modular reactors: <https://www.iaea.org/topics/small-modular-reactors> (hämtad 2022-01-20).
4. Ahonen, E.; Heinonen, J.; Lahtinen, N.; Tuomainen, M.; Lång, O. 2020. *Preconditions for the safe use of small modular reactors – outlook for the licensing system and regulatory control*. (Rapport från STUK). Tillgänglig på: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-309-454-3> (hämtad 2022-01-20).
5. Canadian Small Modular Reactor Roadmap Steering Committee. 2018. A Call to Action: A Canadian Roadmap for Small Modular Reactors. Ottawa, Ontario, Kanada. Tillgänglig på: https://smrroadmap.ca/wp-content/uploads/2018/11/SMRroadmap_EN_nov6_Web-1.pdf (hämtad 2022-01-20).
6. *The Nuclear energy agency and the Organisation for economic co-operation and development, Small Modular Reactors: Challenges and Opportunities, Nuclear Technology Development and Economics 2021*. NEA No. 7560. 2021. Tillgänglig på: www.oecd-nea.org/upload/docs/application/pdf/2021-03/7560_smr_report.pdf (hämtad 2022-01-20).

7. Jaehyun Cho, Yong-Hoon Shin, Il Soon Hwang. "Power maximization method for land-transportable fully passive lead–bismuth cooled small modular reactor systems." *Nuclear Engineering and Design*, Vol. 289, August 2015, s. 240–251. Tillgänglig på: <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2015.04.027> (hämtad 2022-01-20).
8. Holog Generators hemsida. Tillgänglig på: www.holosgen.com/ (hämtad 2022-01-20).
9. D.T. Ingersoll. "Deliberately small reactors and the second nuclear era." *Progress in Nuclear Energy*, Vol. 51, Issues 4–5, May–July 2009, s. 589–603. Tillgänglig på: <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2009.01.003> (hämtad 2022-01-20).
10. B. Mignacca, G. Locatelli. "Economics and finance of Small Modular Reactors: A systematic review and research agenda." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 118, February 2020, 109519. Tillgänglig på: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109519> (hämtad 2022-01-20).
11. M.R. Islam, H.A. Gabbar. "Study of small modular reactors in modern microgrids." *Int. Trans. Electr. Energy Sys.*, 25 (9) (2014), s. 1943–1951. Tillgänglig på: <https://doi.org/10.1002/etep.1945> (hämtad 2022-01-20).
12. G.E. Kulynych, J.D. Malloy. "A novel modular design LWR." *Proceedings of the Intersociety Energy Conversion Engineering Conference* (1984), Pages 1592–1597, www.osti.gov/biblio/5860781-novel-modular-design-lwr (hämtad 2022-01-20).
13. E. Lyman. "Advanced" Isn't Always Better: Assessing the Safety, Security, and Environmental Impacts of Non-Light-Water Nuclear Reactors. Cambridge, MA: Union of Concerned Scientists, 2021. Tillgänglig på: www.jstor.org/stable/resrep32883.1 (hämtad 2022-01-20).

14. M.V. Ramana. "Small Modular and Advanced Nuclear Reactors: A Reality Check." *IEEE Access*, Vol. 9, s. 42090–42099, 2021. Tillgänglig på: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9374057> (hämtad 2022-01-20).
15. B.K. Sovacool & M.V. Ramana. "Back to the Future: Small Modular Reactors." *Nuclear Fantasies, and Symbolic Convergence, Science, Technology, & Human Values*, Vol. 40:1, s. 96–125, 2015. Tillgänglig på: <https://doi.org/10.1177/0162243914542350> (hämtad 2022-01-20).
16. M.V. Ramana & Zia Mian. "One size doesn't fit all: Social priorities and technical conflicts for small modular reactors." *Energy Research & Social Science*, Vol. 2, s. 115–124, 2014. Tillgänglig på: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2014.04.015> (hämtad 2022-01-20).
17. L. Persson. 1992. *Om kärnavfallens historia*. SSI-rapport 92-11, ISSN 0282-4434, 1992. Tillgänglig på: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/24/055/24055144.pdf (hämtad 2022-01-20).
18. La. H. Suid. "The Army's Nuclear Power Program; The evolution of a support agency." *Contributions in Military Studies*, number 98, 1990. Tillgänglig på: <https://flibe-energy.com/pdf/ArmyNuclearPowerProgram.pdf> (hämtad 2022-01-20).
19. World Nuclear Association. Nuclear-Powered Ships. Tillgänglig på: <https://world-nuclear.org/information-library/non-power-nuclear-applications/transport/nuclear-powered-ships.aspx> (hämtad 2022-01-20).
20. C. Ruhl. "Why There Are No Nuclear Airplanes, The Atlantic." 2019. Tillgänglig på: www.theatlantic.com/technology/archive/2019/01/elderly-pilots-who-could-have-flown-nuclear-airplanes/580780/ (hämtad 2022-01-20).

21. Wikipedia. Nuclear-powered aircraft. Tillgänglig på:
https://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear-powered_aircraft
(hämtad 2022-01-20).
22. L. Trakimavicius. "Is small really beautiful? The future role of small modular reactors (SMRs) in the military." *Energy Highlights*, NATO Energy Security Center of Excellence, 2020. Tillgänglig på:
www.ensecco.org/data/public/uploads/2020/11/02.-solo-article-lukas-smr-eh-15-web-version-final.pdf
(hämtad 2022-01-20).
23. J. R. Egan, "Small Reactors and the 'Second Nuclear Era.'" *Energy*, Vol. 9:9-10, s. 865–874, 1984. Tillgänglig på:
[https://doi.org/10.1016/0360-5442\(84\)90017-3](https://doi.org/10.1016/0360-5442(84)90017-3)
(hämtad 2022-01-20).
24. K. Hannerz. "The SECURE Reactors." *Proceedings of the sixth pacific basin nuclear conference*, China, 1987. Tillgänglig på:
https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:20012503
(hämtad 2022-01-20).
25. The International Atomic Energy Agency. "Advances in Small Modular Reactor Technology Developments". A Supplement to: *IAEA Advanced Reactors Information System (ARIS)*. 2020 Edition. Tillgänglig på:
https://aris.iaea.org/Publications/SMR_Book_2020.pdf
(hämtad 2022-01-20).
26. G. Locatelli, M. Mancini, N. Todeschini. "Generation IV nuclear reactors: Current status and future prospects." *Energy Policy*, Vol. 61, s. 1503–1520, 2013. Tillgänglig på:
www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301421513006083 (hämtad 2022-01-20).
27. Z. Zhang et al. "The Shandong Shidao Bay 200 MWe High-Temperature Gas-Cooled Reactor Pebble-Bed Module (HTR-PM) Demonstration Power Plant: An Engineering and Technological Innovation." *Engineering*, Vol. 2:1, s. 112–118, 2016. Tillgänglig på:
www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095809916301552?via%3Dihub (hämtad 2022-01-20).

28. Energiforsk. November 2019. *Small Modular Reactors*. Report 2019:625. Tillgänglig på:
<https://energiforsk.se/media/27298/small-modular-reactors-energiforskrappport-2019-625.pdf> (hämtad 2022-01-20).
29. SMR Action Plan. Tillgänglig på:
<HTTPS://SMREACTIONPLAN.CA/> (hämtad 2022-01-20).
30. World Nuclear Association. Small Nuclear Power Reactors. Tillgänglig på: www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-power-reactors/small-nuclear-power-reactors.aspx (hämtad 2022-01-20).
31. Canadian Nuclear Safety Commission: Global First Power Micro Modular Reactor Project. Tillgänglig på:
<https://nuclearsafety.gc.ca/eng/reactors/research-reactors/nuclear-facilities/chalk-river/global-first-micro-modular-reactor-project.cfm> (hämtad 2022-01-20).
32. Canadian Environmental Law Association. Statement on Small Modular Reactors, 2020. Tillgänglig på:
<https://cela.ca/statement-on-small-modular-reactors/> (hämtad 2022-01-20).
33. D. Song. 2021. *Small modular reactors (SMRs): The case of China*. Woodhead Publishing Series in Energy, 2021, s. 395–408. Tillgänglig på: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823916-2.00016-3> (hämtad 2022-01-20).
34. B. Wang. China Completes Big Nuclear Reactor and Will Start Small Modular Reactor Project, Next Big Future. 2019. Tillgänglig på: www.nextbigfuture.com/2019/08/china-completes-big-nuclear-reactor-and-will-start-small-modular-reactor-project.html (hämtad 2022-01-20).
35. Rosatom. 2021. Rosatom Overseas Receives Russian Regulator's License for Nuclear Installations Construction. Tillgänglig på: <https://rosatom-europe.com/press-centre/news/rosatom-overseas-receives-russian-regulator-s-license-for-nuclear-installations-construction/> (hämtad 2022-01-20).

36. Afrikantov OKBM. "Reactor Plants for Nuclear-Powered Icebreakers and Optimized Floating Power Units." Tillgänglig på:
www.okbm.nnov.ru/upload/iblock/7c6/fc8drypg4s59sma16g1pajwe86j2tay1.pdf (hämtad 2022-01-20).
37. Rosatom. Rosatom rolls out the small modular reactor: A mini-nuclear power station to solve some big problems. 2019. Tillgänglig på: www.rusatom-overseas.com/media/mass-media-about-us/rosatom-rolls-out-the-small-modular-reactor-a-mini-nuclear-power-station-to-solve-some-big-problems.html (hämtad 2022-01-20).
38. Bellona. Rosatom to build plant running on small modular reactors in eastern Siberia. 2021. Tillgänglig på:
<https://bellona.org/news/nuclear-issues/2021-01-rosatom-to-build-plant-running-on-small-modular-reactors-in-eastern-siberia> (hämtad 2022-01-20).
39. UK Department for Business, Energy & Industrial Strategy; The Rt Hon Alok Sharma MP; The Rt Hon Boris Johnson MP. 2020. Policy paper. *The ten point plan for a green industrial revolution*. Tillgänglig på:
<https://www.gov.uk/government/publications/the-ten-point-plan-for-a-green-industrial-revolution> (hämtad 2022-01-20).
40. UK Department for Business, Energy & Industrial Strategy. Guidance. "Funding for nuclear innovation". Publicerad 2016 och uppdaterad 2020. Tillgänglig på:
www.gov.uk/guidance/funding-for-nuclear-innovation (hämtad 2022-01-20).
41. UK Department for Business, Energy & Industrial Strategy and The Rt Hon Kwasi Kwarteng MP. Press release 2021-11-09: "UK backs new small nuclear technology with £210 million." Tillgänglig på: <https://www.gov.uk/government/news/uk-backs-new-small-nuclear-technology-with-210-million> (hämtad 2022-01-20).

42. UK Department for Business, Energy & Industrial Strategy, Advanced Nuclear Technologies. 2021. Tillgänglig på: www.gov.uk/government/publications/advanced-nuclear-technologies/advanced-nuclear-technologies (hämtad 2022-01-20).
43. UK Department for Business, Energy & Industrial Strategy. Market framework for financing small nuclear. 2018. Tillgänglig på: www.gov.uk/government/publications/market-framework-for-financing-small-nuclear (hämtad 2022-01-20).
44. Office of Nuclear Energy. Advanced Reactor Demonstration Program. Tillgänglig på: www.energy.gov/ne/advanced-reactor-demonstration-program (hämtad 2022-01-20).
45. B.B. Cipiti. "Advanced reactor deployment: U.S. safeguards and security challenges." *Proceedings of the INMM & ESARDA Joint Virtual Annual Meeting*, August 23-26 & August 30-September 1, 2021.
46. Office of Nuclear Energy. Advanced Small Modular Reactors (SMRs). Tillgänglig på: www.energy.gov/ne/nuclear-reactor-technologies/small-modular-nuclear-reactors (hämtad 2022-01-20).
47. NuScale Power. Tillgänglig på: www.nuscalepower.com/ (hämtad 2022-01-20).
48. A. Sadegh-Noedoost, F. Faghihi, A. Fakhraei and M. Amin-Mozafari. "Investigations of the fresh-core cycle-length and the average fuel depletion analysis of the NuScale core." *Annals of Nuclear Energy*, Vol. 136, February 2020. Tillgänglig på: <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2019.106995> (hämtad 2022-01-20).
49. Office of nuclear energy. NRC Approves First U.S. Small Modular Reactor Design. 2020. Tillgänglig på: www.energy.gov/ne/articles/nrc-approves-first-us-small-modular-reactor-design (hämtad 2022-01-20).
50. SMR Start. Tillgänglig på: <http://smrstart.org/> (hämtad 2022-01-20).

51. Vattenfall. ”Vattenfall fördjupar samarbetet om små modulära reaktorer i Estland.” Pressmeddelande. Tillgängligt på: <https://group.vattenfall.com/se/nyheter-och-press/pressmeddelanden/2020/vattenfall-fordjupar-samarbetet-om-sma-modulara-reaktorer-i-estland> (hämtad 2022-01-20).
52. Fermi Energia. Små modulära reaktorer. Tillgänglig på: <https://fermi.ee/vaikeseed-moodulreaktorid/> (hämtad 2022-01-20).
53. LeadCold. SEALER-UK plant design submitted for review. Tillgänglig på: www.leadcold.com/sealer-uk-design-submitted.html (hämtad 2022-01-20).
54. Stiftelsen för strategisk forskning. Hållbar kärnteknisk forskning i Sverige (SUNRISE). Tillgänglig på: <https://strategiska.se/en/research/ongoing-research/ssf-agenda-2030-research-centers-arc-2019/project/10979/> (hämtad 2022-01-20).
55. World nuclear news. Joint venture formed to spur SMR deployment in Sweden, 2021. Tillgänglig på: <https://world-nuclear-news.org/Articles/Joint-venture-formed-to-spur-SMR-deployment-in-Swe> (hämtad 2022-01-20).
56. Energimyndigheten. 2021. ”Kompetenscentrum 2022–2026.” Tillgänglig på: www.energimyndigheten.se/forskning-och-innovation/forskning/omraden-for-forskning/kompetenscentrum-2022-2026/ (hämtad 2022-01-20).
57. S. Hillberg et al. “District heating reactors and the development at VTT.” Presentation VTT Beyond the obvious. 2021-01-20. Tillgänglig på: https://energiforsk.se/media/29022/tulkki_vtt.pdf (hämtad 2022-01-20).
58. Fortum. 2020. Clean district heating with SMRs. Tillgänglig på: www.fortum.com/about-us/blog-podcast/forthedoers-blog/clean-district-heating-smrs (hämtad 2022-01-20).

59. Läs mer om forskningsprojektet på LUT university. Finnish Ecosystem for Small Modular Reactors (EcoSMR). Tillgänglig på: https://research.lut.fi/converis/portal/Project/13316699?auxfun=&lang=en_GB (hämtad 2022-01-20).
60. VTT Technical Research Centre. 2020 "Finnish expertise on small modular reactors will be strengthened by a new innovation and business network." Pressmeddelande. Tillgänglig på: www.vttresearch.com/en/news-and-ideas/finnish-expertise-small-modular-reactors-will-be-strengthened-new-innovation-and (hämtad 2022-01-20).
61. V. Tulkki, E. Pursiheimo, T. J. Lindroos. 2017. *District heat with Small Nuclear Reactors (SMR)*. Reseach report. VTT Technical Research Centre of Finland. Tillgänglig på: <https://cris.vtt.fi/en/publications/district-heat-with-small-modular-reactors-smr> (hämtad 2022-01-20).
62. VTT Technical Research Centre. Future of nuclear. Tillgänglig på: www.vttresearch.com/en/ourservices/future-nuclear (hämtad 2022-01-20).
63. VTT Technical Research Centre. Good riddance to fossil fuels! VTT develops a Small Modular Reactor for district heating, Pressmeddelande 2020. Tillgänglig på: www.vttresearch.com/en/news-and-ideas/good-riddance-fossil-fuels-vtt-develops-small-modular-reactor-district-heating (hämtad 2022-01-20).
64. World Nuclear Association. Nuclear Power in France. Tillgänglig på: www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-a-f/france.aspx (hämtad 2022-01-20).
65. CEA, EDF. Naval Group and TechnicAtome unveil NUWARD: jointly developed Small Modular Reactor (SMR) project. Pressmeddelande 2019. Tillgänglig på: www.cea.fr/english/Pages/News/Nuward-SMR-CEA.aspx (hämtad 2022-01-20).

66. Ministry of Energy. *Possibilities for deployment of high-temperature nuclear reactors in Poland*. Report of the Committee for Analysis and Preparation of Conditions for Deployment of High-Temperature Nuclear Reactors. Tillgänglig på: www.gov.pl/attachment/ccc29947-3858-4b95-9cf5-88eefb8a240b (hämtad 2022-01-20).
67. World Nuclear News, Romania to explore NuScale SMR deployment. 2019. Tillgänglig på: www.world-nuclear-news.org/Articles/Romania-to-explore-NuScale-SMR-deployment (hämtad 2022-01-20).
68. Prague Daily Monitor. ČEZ sees a future in small nuclear reactors: Signs second contract. 2020. Tillgänglig på: <https://praguemonitor.com/business/04/02/2020/2020-02-04-cez-sees-future-small-nuclear-reactors-signs-second-contract/> (hämtad 2022-01-20).
69. Skoda, R. "TEPLATOR: nuclear district heating solution". *The 29th International Conference Nuclear Energy for New Europe*, 7-10 September 2020. Tillgänglig på: http://home.zcu.cz/~masata/NENE2020_408.pdf (hämtad 2022-01-20).
70. SMART Power Co Ltd. Development History. Tillgänglig på: http://smart-nuclear.com/tech/d_history.php (hämtad 2022-01-20).
71. Shin, Y.H. et al. 2015. "Small modular reactor (SMR) development plan in Korea". *AIP Conference Proceedings*, Volume 1659, 020002. Tillgänglig på: <https://doi.org/10.1063/1.4916841> (hämtad 2022-01-20). Se även: "Advancing of nuclear science and energy for national development." *Proceedings of the Nuclear Science, Technology, and Engineering Conference 2014* (NuSTEC2014). DOI: 10.1063/1.4916841.
72. D.F. Delmastro, 2021. "14 - Small modular reactors (SMRs): The case of Argentina" Ed(s): D.T. Ingersoll, M. D. Carelli, In: *Handbook of Small Modular Nuclear Reactors* (Second Edition), s. 359-373 Woodhead Publishing Series in Energy. ISBN 9780128239162. Tillgänglig på: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823916-2.00014-X> (hämtad 2022-01-20).

73. D.T. Ingersoll. "2 – Small modular reactors (SMRs) for producing nuclear energy: International developments." Ed(s): Daniel T. Ingersoll, Mario D. Carelli. In *Woodhead Publishing Series in Energy, Handbook of Small Modular Nuclear Reactors* (Second Edition), Woodhead Publishing, 2021, Pages 29–50, ISBN 9780128239162. Tillgänglig på: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823916-2.00002-3> (hämtad 2022-01-20).
74. O. Beneš, R.J.M. Konings. "3.13 - Molten Salt Reactor Fuel and Coolant." Ed(s): Rudy J.M. Konings. *Comprehensive Nuclear Materials, Elsevier*. 2012, Pages 359–389. Tillgänglig på: www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978008056033500628?via%3Dihub (hämtad 2022-01-20).
75. World Nuclear Association. Molten Salt Reactors. 2021. Tillgänglig på: <https://world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/molten-salt-reactors.aspx> (hämtad 2022-01-20).
76. B.R. Betzler, J. J. Powers, A. Worrall. "Molten Salt Reactor Neutronics and Fuel Cycle Modeling and Simulation with SCALE." *Annals of Nuclear Energy*, Vol. 101, s. 489–503, 2017. Tillgänglig på: <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2016.11.040> (hämtad 2022-01-20).
77. U. Gat, J. R. Engel, H. L. Dodds. "Molten salt reactors for burning dismantled weapons fuel." *Nuclear Technology*, Vol. 100:3, 1992. Tillgänglig på: <https://doi.org/10.13182/NT92-A34733> (hämtad 2022-01-20).
78. Generation IV International Forum. Generation IV Goals. Tillgänglig på: www.gen-4.org/gif/jcms/c_9502/generation-iv-goals (hämtad 2022-01-20).
79. P. Joly & E. Boo for the SACSESS Collaboration. 2014. *Report of technological mapping and system integration results*. Deliverable for WP32, Document number D32.1 – rev 1.

80. The Nuclear Energy Agency and the Organisation for economic co-operation and development. 2018. *State-of-the-Art Report on the Progress of Nuclear Fuel Cycle Chemistry*. NEA No. 7267, OECD. Tillgänglig på: www.oecd-nea.org/upload/docs/application/pdf/2019-12/7267-soar_2019-12-20_14-58-19_832.pdf (hämtad 2022-01-20).
81. D. Song & B. Quan, Small Modular Nuclear Reactor (SMR). 2014. "Research and Development (R&D) and Deployment in China." *Proceedings of ICAPP 2014*, Charlotte, USA, April 6–9, 2014. Tillgänglig på: www.aben.com.br/Arquivos/325/325.pdf (hämtad 2022-01-20).
82. International Atomic Energy Agency. *International Conference on Innovative Technologies for Nuclear Fuel Cycles and Nuclear Power*. 23–26 June, 2003 Vienna, Austria. Tillgänglig på: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/34/068/34068009.pdf?r=1 (hämtad 2022-01-20).
83. M. Santinello, M.E Ricotti, H. Ninokata, G. Haratyk, J.J Ingremeau, V. Gourmel. "External heat transfer capability of a submerged SMR containment: The Flexblue case". *Progress in Nuclear Energy* Vol. 96, April 2017, s. 62–75. Tillgänglig på: <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2016.12.002> (hämtad 2022-01-20).
84. V.S Beliauskii, Vladimir N. Nesterov, Roman A. Laas, Alexei V. Godovikh, Olga I. Bulakh. "Effect of fuel nuclide composition on the fuel lifetime of reactor KLT-40S." *Nuclear Engineering and Design*, Vol. 360, 15 April 2020, 110524. Tillgänglig på: <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2020.110524> (hämtad 2022-01-20).
85. V. Kuznetsov. "19 – Small modular reactors (SMRs): The case of Russia." Ed(s): D.T. Ingersoll, M.D. Carelli. In Woodhead Publishing Series in Energy. *Handbook of Small Modular Nuclear Reactors* (Second Edition), Woodhead Publishing, 2021, Pages 467–501. Tillgänglig på: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823916-2.00019-9> (hämtad 2022-01-20).

86. NuScale. Powering the next generation of nuclear. Nucleus Spring 2019. Tillgänglig på:
www.nuscalepower.com/newsletter/nucleus-spring-2019/powering-the-next-generation-of-nuclear
(hämtad 2022-01-20).
87. K. Kito, T. Hino, K. Matsumura, M. Matsuura. "Hitachi's Vision for Nuclear Power and Development of New Reactors." *Hitachi Review*, Vol. 69, No. 4, s. 564–565, 2020. Tillgänglig på:
www.hitachi.com/rev/archive/2020/r2020_04/pdf/04d03.pdf
(hämtad 2022-01-20).
88. B.A. Gabaraev, Yu.N. Kuznetsov. "Nuclear Co-Generation Desalination Complex with Simplified Boiling Water Reactor VK-300." *Proceedings of an International Conference on Opportunities and Challenges for Water Cooled Reactors in the 21st Century*. IAEA-CN-164-5S07. Tillgänglig på:
https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:43003457
(hämtad 2022-01-20).
89. General Atomics. USA Status Report – EM2. IAEA Aris Database, 2019/09/30. Tillgänglig på:
[https://aris.iaea.org/PDF/EM2\(GeneralAtomics\)_2020.pdf](https://aris.iaea.org/PDF/EM2(GeneralAtomics)_2020.pdf)
(hämtad 2022-01-20).
90. General Atomics. GT-MHR conceptual design description report. U.S. Nuclear Regulatory Commission. GA/NRC-337-02, 2002. Tillgänglig på:
www.nrc.gov/docs/ML0224/ML022470282.pdf
(hämtad 2022-01-20).
91. Z. Zhang et al. "Current status and technical description of Chinese 2 × 250 MWth HTR-PM demonstration plant." *Nuclear Engineering and Design*, Vol. 239, Issue 7, 2009, s. 1212–1219. Tillgänglig på: <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2009.02.023>
(hämtad 2022-01-20).
92. S. Furui, L. Yong, G. Qiang. "On power refueling management of HTR-PM." *Proceedings of the HTR 2014 Weihai*. China, October 27–31, 2014, Paper HTR2014-51380. Tillgänglig på:
https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/48/076/48076857.pdf?r=1
(hämtad 2022-01-20).

93. J. Zhang, F. Li, & Y. Sun. "Physical Analysis of the Initial Core and Running-In Phase for Pebble-Bed Reactor HTR-PM." *Science and Technology of Nuclear Installations*, Vol. 2017. Article ID 8918424. Tillgänglig på: <https://doi.org/10.1155/2017/8918424> (hämtad 2022-01-20).
94. M. Yetisir. 2021 "15 – Small modular reactors (SMRs): The case of Canada." Ed(s): D.T. Ingersoll, M.D. Carelli. In Woodhead Publishing Series in Energy. *Handbook of Small Modular Nuclear Reactors* (Second Edition), Woodhead Publishing, Pages 375–393. Tillgänglig på: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823916-2.00015-1> (hämtad 2022-01-20).
95. Global First Power. "Project Description for the Micro Modular Reactor™ Project at Chalk River." Document number CRP-LIC-01-001. Issue date 2019/07/08. Tillgänglig på: <https://iaac-aeic.gc.ca/050/documents/p80182/130911E.pdf> (hämtad 2022-01-20).
96. X-Energy. Reactor: Xe-100. Tillgänglig på: <https://x-energy.com/reactors/x-100> (hämtad 2022-01-20).
97. E.J. Mulder, W.A. Boyes. "Neutronics characteristics of a 165 MWth Xe-100 reactor." *Nuclear Engineering and Design* Vol. 357, February 2020, 110415. Tillgänglig på: <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2019.110415> (hämtad 2022-01-20).
98. Office of Nuclear Energy. X-energy is Developing a Pebble Bed Reactor That They Say Can't Melt Down, 2021. Tillgänglig på: www.energy.gov/ne/articles/x-energy-developing-pebble-bed-reactor-they-say-cant-melt-down (hämtad 2022-01-20).
99. Toshiba Corporation and Central Research Institute of Electric Power Industry (CRIEPI). Super-safe, small and simple reactor (4S, Toshiba design). IAEA ARIS Database, 03-06-2013. Tillgänglig på: <https://aris.iaea.org/PDF/4S.pdf> (hämtad 2022-01-20).

100. N. Ueda, I. Kinoshita, A. Minato, S. Kasai, T. Yokoyama, S. Maruyama. "Sodium cooled small fast long-life reactor '4S'", *Progress in Nuclear Energy*. Vol. 47, Issues 1–4, 2005, s. 222–230. Tillgänglig på: <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2005.05.022> (hämtad 2022-01-20).
101. B. S. Triplett, E. P. Loewen & B. J. Dooies. "PRISM: A Competitive Small Modular Sodium-Cooled Reactor." *Nuclear Technology*, 178:2, 2017, s. 186–200. Tillgänglig på: <https://doi.org/10.13182/NT178-186> (hämtad 2022-01-20).
102. LeadCold, SEALER. Tillgänglig på: www.leadcold.com/sealer.html (hämtad 2022-01-20).
103. Terrestrial Energy. How it works. Tillgänglig på: www.terrestrialenergy.com/technology/molten-salt-reactor/ (hämtad 2022-01-20).
104. D. LeBlanc, C. Rodenburg. "18 – Integral molten salt reactor." Ed(s): Thomas J. Dolan. *Molten Salt Reactors and Thorium Energy*. Woodhead Publishing, 2017, s. 541–556. Tillgänglig på: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101126-3.00018-X> (hämtad 2022-01-20).
105. TerraPower. Benefits of the Molten Chloride Fast Reactor Technology: Low-cost, Carbon-free Energy. 2020. Tillgänglig på: www.terrapower.com/benefits-molten-chloride-fast-reactor-technology/ (hämtad 2022-01-20).
106. TerraPower. 2016. Molten nuclear fuel salts and related systems and methods. United States. Patent Application Publication. US 2016/0189813 A1, June 2016. Tillgänglig på: <https://patentimages.storage.googleapis.com/b8/bc/a8/ca1ffc732ebc7c/US20160189813A1.pdf> (hämtad 2022-01-20).
107. Moltex Energy. Net reduction in Nuclear Waste to produce limitless, carbon free energy, from Moltex. August 2017. Tillgänglig på: www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/energy/energy-resources/Moltex_-_WATSS_-_Nuclear_Waste_Reduction.pdf (hämtad 2022-01-20).

108. IAEA. 2019. International Atomic Energy Agency, Waste from Innovative Types of Reactors and Fuel Cycles A Preliminary Study. IAEA Nuclear Energy Series, No. NW-T-1.7. International Atomic Energy Agency, Vienna, 2019. Tillgänglig på: www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/PUB1822_web.pdf (hämtad 2022-01-20).
109. D. E. Shropshire & J.S. Herring. "Fuel-Cycle and Nuclear Material Disposition Issues Associated with High-Temperature Gas Reactors." Americas Nuclear Energy Symposium (ANES 2004), October 3–6, 2004 in Miami Beach, Florida. Tillgänglig på: www.osti.gov/servlets/purl/839371 (hämtad 2022-01-20).
110. L. Jungfeng. Treatment and disposal of the radioactive graphite waste of high-temperature gas-cooled reactor spent fuel. Processing of Irradiated Graphite to Meet Acceptance Criteria for Waste Disposal. IAEA-TECDOC-1790. Tillgänglig på: https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:47090155 (hämtad 2022-01-20).
111. I. Chatzis. "Small Modular Reactors: A Challenge for Spent Fuel Management?" IAEA Bulletin, June 2019. Tillgänglig på: www.iaea.org/sites/default/files/bull602june20190.pdf (hämtad 2022-01-20).
112. IAEA. International Atomic Energy Agency. *Technology Roadmap for Small Modular Reactor Deployment*. IAEA Nuclear Energy Series, No. NR-T-1.18. Tillgänglig på: www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/PUB1944_web.pdf (hämtad 2022-01-20).
113. A. Bradford. Fuel and Waste Considerations for Small Modular Reactors and Advanced Reactors. FCIX, 11 June 2014. Tillgänglig på: www.nrc.gov/docs/ML1417/ML14170A133.pdf (hämtad 2022-01-20).
114. NuScale. Storing spent fuel. Tillgänglig på: www.nuscalepower.com/environment/spent-fuel (hämtad 2022-01-20).

115. SMR Waste Working Group (WWG). July 2018. *Canadian SMR Roadmap, Waste Working Group Report*. Tillgänglig på: <https://smrroadmap.ca/docs/Waste%20WG.pdf> (hämtad 2022-01-20).
116. S. George Xu et al. "Characteristic waste streams from small modular reactors considered for deployment in Canada." *CNL Nuclear Review*, Vol. 9, Number 1, December 2020. Tillgänglig på: <https://pubs.cnl.ca/doi/pdf/10.1139/CNR.2019.00008> (hämtad 2022-01-20).
117. SKB. 2015. Bilaga K:2 Ämnesvisa svar på kompletteringsönskemålen. Version 3. Stockholm. Svensk Kärnbränslehantering AB. Tillgänglig på: https://skb.se/wp-content/uploads/2015/05/Bilaga-K_2-2015.pdf (hämtad 2022-02-02).
118. SKB. 2011. Toppdokumentet till ansökan enligt Miljöbalken. Tillgänglig på: https://skb.se/wp-content/uploads/2015/05/flik_01a1.pdf (hämtad 2022-02-02).
119. SSM.2021-09-24. Förslag om nationell strategi för Sveriges kompetensförsörjning inom strålsäkerhetsområdet. Strålsäkerhetsmyndigheten. Dokumentnr: SSM2021-6186-1.
120. Aka-utredningen. 1976. SOU 1976:30 *Använt kärnbränsle och radioaktivt avfall*, s. 84. Den 19 maj 1976 överlämnade AKA-utredningen sitt huvudbetänkande vilket är uppdelat i tre delar. Del 1 (SOU 1976:30) innehåller sammanfattning, översiktlig redovisning av utredningsarbetet och bakgrundsmaterial samt överväganden och förslag. Del II (SOU 1976:31) omfattar sådant faktamaterial, som utgör underlag för utredningens ställningstaganden och förslag. Del III (SOU 1976:32) är en engelskspråkig sammanfattning av betänkandet. Utredningens bakgrundsmaterial gavs ut i en särskild bilaga till huvudbetänkandet (SOU 1976:41).

9 Kärnavfallet, ansvaret för kommande generationer och icke-identitetsproblemet

9.1 Inledning

Kärnavfallsfrågan handlar om något utöver bergarter, grundvattengenomströmning, hållfasthet och svetsningsteknik. Frågorna om kärnenergi och kärnavfall berör även moraliska och etiska värderingar och prioriteringar. – Vem har ansvar för en säker slutförvaring av det högaktiva avfallet? Bör vi avvakta en ny och bättre teknik i framtiden? Om inte, vilken kommun och vilka markägare skall upplåta sitt område för en slutförvarsanläggning? Vad kräver ansvaret för kommande generationer? [1]

Dessa ord är hämtade från Kärnavfallsrådets kunskapslägesrapport 2004 (Klr 2004). Kapitlet var särskilt inriktat på den sista frågan om vad ansvaret för kommande generationer betyder för hanteringen av kärnavfallet. Mycket har hänt i denna fråga under de år som gått sedan dess. Frågan om ansvaret för kommande generationer har i allt högre grad kommit att handla om klimatfrågan, de globala klimatmålen och hållbar utveckling. Det gäller den allmänna samhällsdebatten, men också den filosofiska etikdiskussionen. Syftet med detta kapitel är att presentera en fråga, som på ett överraskande sätt problematiserar innebörden av vårt ansvar för kommande generationer, och försöka att finna en lösning på problemen.

En grundläggande utgångspunkt för mycket av det som skrivits om ansvaret för kommande generationer är att det inte finns någon skillnad mellan vårt ansvar för nu levande människor och människor som tillhör framtida generationer. Om vi skadar en annan person i en avlägsen del av världen är vi lika ansvariga som om vi skadar vår granne. Och om vi skadar någon människa i framtiden är det lika illa

som om vi skadar en människa i dag. Vi kan kalla detta idén om *ansvarssymmetri*.

Idén om ansvarssymmetri finns också i bakgrunden både till klimatfrågan och hanteringen av kärnavfallet. IAEA (International Atomic Energy Agency) antog 1995 grundläggande principer för hanteringen av radioaktivt avfall. [2] Enligt artikel 5 ska avfallet hanteras på ett sätt ”som inte pålägger framtida generationer oskäligen bördor”. Denna tanke utvecklades i IAEA:s *Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management* från 1997. Sverige är anslutet till denna konvention. Enligt Artikel 1 är konventionens målsättning bl.a.:

... att säkerställa att det, under alla faser av hantering av använt kärnbränsle och radioaktivt avfall, finns effektiva skydd mot möjliga faror så att individer, samhället och miljön skyddas från skadliga verkningar av joniserande strålning, nu och i framtiden, på ett sådant sätt att behoven och strävandena hos dagens generation tillgodoses utan att äventyra möjligheten för kommande generationer att tillgodose sina behov och strävanden. [3]

I citatet görs ingen skillnad mellan ansvaret för nu levande människor och kommande generationer. Lite cyniskt kan man naturligtvis fråga sig om vi behöver göra något för framtiden – den har ju inte gjort något för oss! Men denna brist på symmetri har knappast någon *moralisk* betydelse. Vi har ju skyldigheter att respektera och visa hänsyn mot andra nu levande människor som vi inte känner eller har någon beröring med. Enligt många moralfilosofer finns det emellertid andra asymmetrier mellan nu levande människor och framtida personer. En av dessa är den brittiske filosofen Derek Parfit (1942–2017). Han anses vara en av 1900-talets mest framstående moralfilosofer. 2016 besökte han Stockholm för att ta emot det prestigefyllda Rolf Schock-priset i filosofi och logik, utdelat av Kungliga Vetenskapsakademien, ”för hans banbrytande bidrag rörande personlig identitet, hänsyn till framtida generationer, och analys av moralisk teoribildning”. [4] Parfit publicerade bara två – visserligen omfattande – böcker under sitt liv (*Reasons and Persons*, 1984, och *On What Matters* i tre volymer 2011–2017), men de fick ett mycket stort inflytande och har bl.a. påverkat de senaste decenniernas diskussion om vår moraliska skyldighet att ta ansvar för klimatförändringarna.

Parfit var helt övertygad om att vi har ett ofrånkomligt ansvar för kommande generationer och en moralisk skyldighet att vidta åtgärder mot klimatförändringarna. Men han ansåg också det inte är alldeles lätt att formulera en vattentät moralisk teori som förklarar *varför* vi har denna skyldighet. Frågan har blivit föremål för en omfattande och ingående filosofisk diskussion, där också svenska filosofer varit ledande. Två av dessa är professorerna Gustaf Arrhenius och Torbjörn Tännsjö. I en aktuell artikel går de tillsammans med den danske etikprofessorn Jesper Ryberg igenom den aktuella diskussionen och kommer till slutsatsen att en helt hållbar teori inte ännu formulerats. [5]

9.2 Syfte och disposition

Syftet är med detta kapitel att klargöra på vilket sätt den nutida etiska diskussionen behandlat frågan om ansvaret för framtida generationer, och vad detta ansvar innebär för kärnavfallsfrågan. Förutom inledningen och denna presentation av syfte och disposition innehåller kapitlet fyra olika avsnitt: i *avsnitt 3* ger vi en teoretisk bakgrund till de frågor som kapitlet kommer att behandla och presenterar det s.k. icke-identitetsproblemet. Därefter följer i *avsnitt 4* en kortfattad analys av den betydelse icke-identitetsproblemet har för kärnavfallsfrågan. Det följs av *avsnitt 5* där betydelsen av den s.k. personpåverkande principen klargörs och olika grundinställningar till principen förklaras. Därefter presenteras ett försök till en lösning av icke-identitetsproblemet som också erbjuder en robust moralisk motivering för vårt ansvar för kommande generationer och vikten av en hållbar och uthållig hantering av kärnavfallet. *Avsnitt 6* sammanfattar kapitlet med en slutsats och en sammanfattning.

9.3 Teoretisk bakgrund

I detta inledande avsnitt ska vi först ge en mycket kortfattad presentation av några etiska grundbegrepp, därefter ge en kort sammanfattning av problemställningen, nämligen icke-identitetsproblemet, och slutligen presentera dispositionen av kapitlet.

9.3.1 Etisk teori och metod

I etikkapitlet från 2004 beskrevs innebörden av vissa etiska grundbegrepp och teorier. En viktig skillnad är t.ex. mellan beskrivande etik och normativ etik. *Beskrivande etik* kan också kallas värderingsforskning och bedrivs med samma empiriska metoder som finns inom t.ex. sociologi och psykologi. *Normativ etik* söker i stället att studera vad som är gott och rätt och vad man *bör* göra i vissa situationer – och varför. Skillnaden är viktig, eftersom rådande värderingar om vad som är gott och rätt inte alltid sammanfaller med det som *verkligen* är gott och rätt och vad man *bör* göra.

I Klr 2004 anknyter vi bl.a. till den amerikanske filosofen John Rawls. I sin bok *A Theory of Justice* (1972) bygger han upp en teori om hur gott och rättvist samhälle bör utformas. En grundtanke är att endast sådana ojämlikheter (t.ex. i fråga om lön) bör accepteras som gynnar de sämst ställda i samhället. Men vad finns det för skäl för en sådan grundregel? Rawls anser att en sådan regel endast kan motiveras i samspel med de moraliska bedömningarna eller ”intuitioner” vi har i konkreta situationer. Vi reagerar spontant när ett barn blir plågat inför våra ögon, när kvinnor utnyttjas i människohandel eller när butiksägare tvingas betala organiserad brottssyndikat för ett ”skydd” som de inte bett om. Mot denna bakgrund kan vi ställa frågan om det finns några mer generella principer som förklarar dessa intuitioner. Särskilt omdiskuterade är t.ex. *konsekvensetiska* grundregler som t.ex. utilitarismen och *pliktetiska principer* som Immanuel Kants etik eller idén om mänskliga rättigheter. (Vi ska återkomma till denna fråga senare i kapitlet.) Ofta visar det sig att våra generella principer inte riktigt ”täcker” våra moraliska intuitioner. Om dessa grundregler inte ”passar” till våra moraliska intuitioner, så får vi anpassa våra grundregler – eller så får vi modifiera våra moraliska intuitioner. Efterhand uppnår vi förhoppningsvis en s.k. *reflekterad jämvikt* – även om vi inte kan förvänta oss att denna balans är helt orubblig.

En intressant fråga är nu hur vi ”får tag” i våra moraliska intuitioner. Ett sätt kan vara att formulera konkreta valsituationer, som på ett tillspetsat sätt utmanar vårt tänkande. Antag t.ex. att du hittar en dyrbar klocka på gatan. Vad gör du? Vad bör du göra? De flesta skulle naturligtvis svara att det rätta är att lämna in den på en polistation eller hittegodsexpedition. Detta är ett ganska enkelt och lätt-

löst exempel – men alla exempel är inte lika enkla. Vissa exempel beskriver i stället moraliska dilemman. De är inte lika lätta att ta ställning till. Här är ett sådant exempel:

Ett tåg är på väg att köra över din syster som ligger fastbunden på det ena spåret. Du har bara så mycket tid på dig att du hinner dra i en hävstång så att tåget kommer byta spår och således inte köra över din syster. Hur som helst, så ser du att din bästa vän är fastbunden vid det andra spåret. Denna vän räddade dig från döden alldeles nyligen. Du kan bara rädda en av dem. Vad skulle du göra?[6]

Syftet med dessa och liknande (inte sällan provocerande) exempel är egentligen inte att lösa det angivna dilemman, utan att rikta uppmärksamheten på vissa mer generella filosofiska problem. I detta kapitel kommer vi ta upp ett antal mer eller mindre realistiska exempel, som bland annat handlar om hur vi ska förhålla oss till framtida personer eller generationer. Dessa exempel utmanar ibland våra moraliska intuitioner och de moraliska grundregler som vi anser att dessa bedömningar grundar sig på. Hur ser växelspelet mellan enskilda bedömningar och generella grundregler egentligen ut? Gör reglerna rättvisa åt bedömningarna? Finns det anledning att modifiera grundreglerna? Bör moralbedömningarna omprövas? Målet är att komma fram till en reflekterad jämvikt mellan våra moraliska känslor och vissa generella grundregler om våra skyldigheter till framtidens människor.

9.4 Icke-identitetsproblemet

Samtida filosofiska analyser av moral och rättvisa tar i högre drag än tidigare hänsyn till förbisedda frågor om människors identitet och hur detta påverkar synen på vårt ansvar för framtida personer. Den brittiske filosofen Derek Parfit (1942–2017) klargör detta med hjälp av olika exempel, som blivit mycket omdiskuterade i etiken. I flera av dessa exempel utgår Parfit från en genetisk syn på människans identitet (centrala egenskaper). En människas centrala identitet är resultatet av arvsanlag från hennes föräldrar. De arvsanlag som bestämmer en människas identitet är bestämda av kvinnans ägg och mannens spermier med de arvsanlag som de har vid tidpunkten för befruktningen. Om befruktningen skett en månad tidigare eller sker en månad senare får vi en annan människa med en liknande med ändå annan identitet. Ett av Parfits exempel handlar om en kvinna som

planerar att föda ett barn, men som diagnosticeras med ett hälsoproblem med konsekvenser för hennes kommande barn.

En kvinna längtar efter ett barn. Vid ett läkarbesök får hon veta att hon lider av ett övergående hälsoproblem. Om hon blir gravid under den närmaste månaden, kommer barnet att få en medfödd sjukdom som kan leda till en förtidig död. Men om hon väntar två månader, så kommer hennes hälsoproblem att vara löst och barnet kommer att vara fullt friskt med en normal livslängd. Kvinnan vill av olika skäl inte vänta två månader. Hon beslutar sig därför för att skaffa barn omedelbart. Hon blir gravid och som läkaren förutskickade föder hon ett barn med en sjukdom som sannolikt förkortar barnets liv.¹

Hur ska vi bedöma kvinnans handlande rent moraliskt? De flesta skulle kanske anse att kvinnan handlar moraliskt orätt om hon väljer att skaffa barn omedelbart. Det anser också Parfit. Men vad skulle kvinnan svara på denna kritik? Hon skulle kunna säga följande: ”Jag anser att jag inte gjort något fel. Mitt blivande barn kommer trots sin sjukdom att få ett gott liv och har all anledning i världen att vara tacksam för att bli till snarare än att inte finnas till. Om jag väntat med min graviditet, skulle ett annat barn utan en medfödd sjukdom blivit fött. Men *detta barn är inte samma barn som på grund av sin medfödda sjukdom får kortare livslängd än normalt*. Det barn jag kommer att föda är en annan person än det som skulle blivit till om jag väntat två månader. Det är med andra ord inte *samma* barn, som får det sämre på grund av mitt val att bli gravid nu och som får det bättre om jag väntar två månader. Och man kan bara skada en person om man gör livet sämre för den personen.”

Trots detta reagerar många av oss ändå negativt på kvinnans val. Hon borde ha väntat med sin graviditet.² Samtidigt har hon ju rätt i att det barn som hon bär på är ett annat barn än de hon skulle burit på om två månader. Men har detta verkligen någon moralisk betydelse? Många av oss anser nog det. Men om man kan skada en person bara om man gör livet sämre för just den personen, så kan man inte jämföra barnet som hon väljer att koncipiera omedelbart med det barn som skulle ha kunnat bli koncipierat efter två månader. På så sätt uppstår det s.k. *icke-identitetsproblemet*, som är Parfits syfte med exemplet. Problemet består i att det finns en motsättning mellan

¹ Denna version av exemplet är hämtad från [7, 8].

² I det verkliga livet skulle det kunna ha varit okänsligt att mästra kvinnan för hennes handlande.

kvinnans uppfattning att hon inte gjort något moraliskt fel och den motsatta moraliska känsla som många av oss andra har.

9.5 Icke-identitetsproblemet och kärnavfallsfrågan

Många tycker kanske att allt detta bara är filosofiska hårklyverier, som inte har med det verkliga livet att göra. Det är sådant som verklighetsfrämmande filosofer utan ansvar för konkreta praktiska frågor kan grubbla över. Varför skulle människor i allmänhet – och än mindre politiker – behöva tänka på sådana frågor? Kvinnans bekymmer med sitt havandeskap och hennes medicinska problem är dessutom mycket speciellt och icke-identitetsproblemet är begränsat till mycket ovanliga situationer. Vi kan överlåta dessa frågor till filosofiska seminariediskussioner i sina akademiska elfenbenstorn.

Denna reaktion är dock förhastad. När man börjar få grepp om icke-identitetsproblemet börjar det dyka upp lite varstans. Det har också med brännande dagsaktuella frågor att göra – t.ex. klimatfrågan. [8] Här ska vi nöja oss med att klargöra hur icke-identitetsproblemet också har konsekvenser för energipolitiken. Utgångspunkten är två nya exempel, som belyser vad detta innebär och dessutom förtydligar vad problemet betyder för just kärnavfallsfrågan. (Det bör återigen understrykas att dessa exempel handlar om osannolika situationer och valda i anslutning till Derek Parfits analys enbart för att belysa en filosofisk problematik.)

I samband med deponeringen slarvar en kärnavfallstekniker med att kontrollera en kopparkapsel med använt kärnbränsle. Efter ca. 10 år börjar kapseln att läcka radioaktivitet och många människor får strålskador. Oberoende av hans handlande kommer samma människor att födas under den tid som förflutit fram till olyckan och de personer som drabbas av hans slarv skulle inte ha drabbats om han varit mer noggrann³

Ett land står inför valet mellan två olika lösningar att ta hand om det radioaktiva avfallet från sina kärnkraftverk. Det ena alternativet är att bygga ett långsiktigt säkert geologiskt slutförvar. Ett billigare och snabbare alternativ är att i stället skjuta upp beslutet om ett slutförvar cirka 100–200 år och bygga ut ett existerande mellanlager och/eller bygga ett nytt mellanlager. Landet väljer den senare lösningen med ett mellanlager och efter hundra år inträffar en naturkatastrof som förorsakar att mellanlagret översvämmas. Radioaktivt material läcker ut och 100-tals människor får

³ Exemplet är hämtat från Derek Parfit [9].

strålskador. I kunskapslägesrapporten 2004 överväger vi också om det finns andra moraliska grunder. [1]

Den viktigaste poängen är skillnaden mellan dessa två exempel. Det senare exemplet med valet av energipolitik skiljer sig från det första exemplet med den slarvige kärnavfallsteknikern. *Kärnavfallsteknikens slarv får inga storskaliga konsekvenser för samhället. Det får däremot valet av energipolitik. Industriell utveckling medför sociala förändringar och ibland kan även enskilda industriella projekt få omfattande och långtgående sociala konsekvenser. Ett exempel är etableringen av batterifabriken Northvolt i Skellefteå. [10] De sociala konsekvenserna av ett slutförvarsprojekt i Östhammars kommun har också blivit föremål för olika framtidsstudier. [11] Båda projekten kommer – om de fullföljs – att medföra en utveckling som påverkar hela befolkningens utveckling och rörlighet i de berörda regionerna. Utan att gå in på några detaljer kan man t.ex. konstatera att valet av energipolitik handlar om mångmiljardprojekt med långtgående sociala konsekvenser. Nya industrier, arbetstillfällen och kulturella mötesplatser uppstår, andra människor träffas, bildar familj och får barn.⁴ I det första fallet med kärnavfallsteknikern uppstår inte dessa stora sociala förändringar. Om han varit mer uppmärksam i sitt arbete, skulle *samma* människor som drabbas av hans slarv besparas sitt lidande. I det andra fallet blir situationen annorlunda. Om landet väljer ett slutförvar, så blir resultatet att om några hundra år kommer andra människor att befolka regionen än om man väljer ett mellanlager. Med ett geologiskt slutförvar är det inte samma människor som undgår skada om några hundra år jämfört med vilka människor som skadas med ett mellanlager. Om man kan skada en person bara genom att man gör livet sämre för den personen, så har de som skadas av ett läckande mellanlager inte fått ett sämre liv – *de skulle helt enkelt inte ha blivit till* om man i stället fattat ett beslut om ett geologiskt slutförvar.*

⁴ Se vidare om det sociotekniska perspektivet i kapitel 3.

9.6 Den personpåverkande principen

Mot denna bakgrund kan vi granska icke-identitetsproblemet lite närmare och särskilt uppmärksamma den betydelse som den s.k. personpåverkande principen har i detta sammanhang – och hur man kan förhålla sig till denna princip. Den har utpekats som huvudanledningen till icke-identitetsproblemet uppkomst. Vi börjar med att formulera ett resonemang som klargör betydelsen av den personpåverkande principen. Därefter går vi igenom tre olika grundinställningar till denna princip. Sedan ger vi några skäl mot två av dessa inställningar. Slutligen presenterar vi den amerikanska filosofen Elizabeth Harmans version av den tredje grundinställningen, som innebär att principen är godtagbar, men inte leder till slutsatsen att ett energipolitiskt val som innebär att personer kommer att skadas av radioaktiva utsläpp, är moraliskt rätt.

9.7 Den personpåverkande principens betydelse

Oberoende av energipolitisk uppfattning skulle alla kunna vara eniga om följande:

1. Det är moraliskt orätt att skada framtida personer. Från (1) kan vi sluta oss till en mer detaljerad värdering:
2. Det finns moraliska skäl mot det energipolitiska valet enligt exemplet eftersom detta val medför att framtida personer skadas. Följande s.k. personpåverkande principen, (person-affecting principle) förutsätts också vara sann:
3. En energipolitik skadar framtida personer bara om dessa personer får det sämre än de skulle ha fått om energipolitiken inte genomförts.⁵

Alla dessa tre påståenden verkar självklara – åtminstone vid första påseendet. Det gäller också (3), den personpåverkande principen. Den bygger på en mer generell princip, nämligen att *man vållar en person skada bara om man gör livet sämre för den personen*. Den har

⁵ Man kan tänka sig en svagare och en starkare version av (3). En starkare version innebär att en handling skadar en annan människa bara om den gör livet sämre för henne. Här förutsätter vi den starkare versionen och återkommer till den svagare lite längre fram.

problematiserats i den filosofiska etikdebatten och vi återkommer strax till detta.⁶

När man skärskådar dessa tre påståenden, kan man efter en stund upptäcka ett logiskt problem. Om (3) är sant, så måste (2) vara falskt (eller vice versa). Varför? Anledningen är följande: de framtida personer som drabbas av ett läckande mellanlager om några hundra år, skadas *inte* i betydelsen av att dessa personer får det sämre än om en annan energipolitik genomförts. Om en annan energipolitik valts, *så skulle dessa människor inte ha existerat över huvud taget!* De existerar tack vare ett bestämt energipolitiskt val. I vårt exempel medför detta val en kärnavfallsolycka, men – och detta är viktigt – trots denna olycka skulle de ändå kunna få liv som är värda att leva, leva i goda relationer till sina medmänniskor och uppleva många glädjeämnen i livet. Av denna anledning skulle inga framtida personer kunna klandra oss för att ha valt ett mellanlager i stället för ett slutförvar. Tvärtom har de oss att tacka för sin existens! Därför har inget moraliskt fel begåtts. Ändå har de flesta av oss en bestämd moralisk övertygelse att det energipolitiska valet är orätt.

9.8 Tre grundinställningar till den personpåverkande principen

Den personpåverkande principen är en nyckelfråga i den filosofiska etikdebatten om ansvaret för framtida generationer. Den är omdiskuterad, men utrymmet medger endast en kortfattad analys av diskussionen. Tre olika grundinställningar kan urskiljas.

Enligt den *första* grundinställningen bör den personpåverkande principen accepteras. Den medför att kvinnan som önskar sig ett barn inte gör något moraliskt fel om hon väljer att bli gravid omedelbart i stället för att vänta två månader för att vara på den säkra sidan och föda ett friskt barn. Om man tar exemplet med det energipolitiska valet som utgångspunkt, blir resultatet likartat. Bestämmer man sig för ett mellanlager och framtida personer drabbas av en kärnavfallsolycka, så har ändå inget moraliskt fel begåtts. En annan energipolitik skulle medföra att de som drabbas inte skulle ha blivit till över huvud taget. ”... *man kan skada en person bara om man gör livet sämre för den personen.*”

⁶ Resonemanget ovan är hämtat från [8a].

Den *andra* inställningen går ut på att ersätta principen med en opersonlig grundregel, som inte avser särskilda personer, utan i stället handlar om övergripande och eftersträvansvärda tillstånd. Utilitarismen är ett exempel. En handling är moraliskt rätt om den främjar välbefinnande (eller lycka, livskvalité eller nytta) för så många som möjligt. Utilitarismens styrka är att den undgår icke-identitetsproblemet och samtidigt ger en grund för ett ställningstagande i t.ex. energipolitiken. Förutsatt att säkerhetsfrågorna är lösta, bör man välja ett geologiskt slutförvar och på så viss undvika riskerna med ett mellanlager. Skälet är att det främjar människor välbefinnande bättre än andra alternativ – i varje fall bättre än alternativet med ett mellanlager.

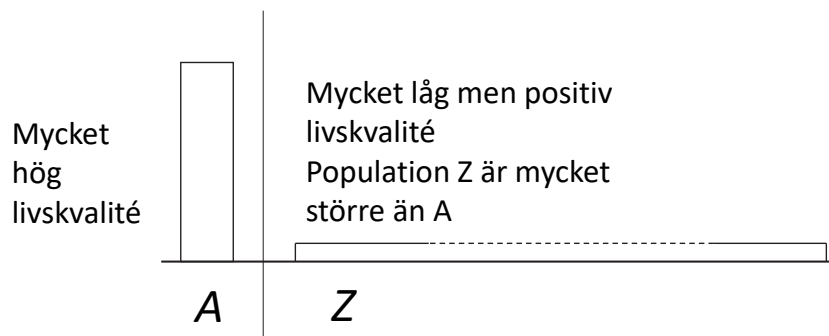
Den *tredje* grundinställningen ifrågasätter helt enkelt om (2) och (3) är så oförenliga som det verkar. Man skulle åtminstone kunna bibehålla en version av den personpåverkande principen *utan att därför förneka* (2), dvs. att en viss energipolitik är moraliskt orätt om den skadar framtida personer. Från uppfattningen att den personpåverkande grundprincipen i någon form är sann, är det inte nödvändigt att sluta sig till att den är oförenlig med (2).

9.9 Hur ska man bedöma de olika grundinställningarna till den personpåverkande principen?

Av de tre olika grundinställningarna finns de uppenbara problem med de två första. Den första inställningen godtar den personpåverkande grundprincipen enligt (3). Därmed kolliderar man front mot front med vår moraliska intuition att en energipolitik som riskerar att skada framtida personer om cirka 100–200 år är moraliskt orätt. Det finns de som anser att vi inte kan undvika denna dissonans och att vi därför på denna punkt måste göra upp med våra moraliska tankevanor. Något liknande gäller också andra grundinställningen, som innebär att man helt enkelt avvisar principen och ersätter den t.ex. med en utilitaristisk grundregel. Olyckligtvis leder denna inställning till nya problem. Ett av dessa är det Parfit kallar den motbjudande slutsatsen. Låt oss anta två olika samhällen A och Z. I samhälle A finns en mindre mängd människor som i genomsnitt har en mycket hög lyckonivå. Samhälle Z består av en mycket större

mängd människor som inte alls är lika lyckliga, men som sammantaget ändå uppnår en högre lyckonivå än samhälle A. Alltså bör vi enligt utilitarismen föredra samhälle Z framför samhälle A. Detta är *den motbjudande slutsatsen*. Den stora mängden människor i Z, resulterar i att Z får en samlad lyckonivå som är högre än det mycket mindre samhället A med en mycket hög livskvalité.

Figur 9.1 Den motbjudande slutsatsen – enligt utilitarismen är samhälle Z bättre än samhälle A [5]



Hur ska vi förhålla sig till den motbjudande slutsatsen? Det bästa vore naturligtvis att vi fann något alternativ till utilitarismen och som inte medförde någon motbjudande slutsats. Parfit kallar denna lösning teori X. Flera förslag på X har föreslagits och Gustaf Arrhenius gör i sin doktorsavhandling en genomgång av diskussionsläget för 20 år sedan. [13] Hans prognos att finna en snar och hållbar lösning är pessimistisk. Utvecklingen sedan dess har givit honom rätt; någon konsensus om hur X skulle kunna se ut har inte uppnåtts.

I avsnittet om vårt ansvar för kommande generationer i *Kärnavfallsrådets kunskapslägesrapport 2004* tas utgångspunkten i en rättviseteori. Den är en kombination mellan en stark teori (på kort sikt för närliggande generationer) och en svagare variant (också för generationer längre fram i tiden). Den svagare rättviseteorin innebär att ”vi har en moralisk förpliktelse att nyttja naturresurserna på ett sådant sätt att inte enbart nu levande människor utan också framtida människogenerationer kan tillgodose sina grundläggande behov.”⁷

⁷ Den starkare rättviseteorin innebär att ”[v]i har en förpliktelse att nyttja eller förbruka naturresurser på ett sådant sätt att efterkommande människogenerationer kan förväntas uppnå en likvärdig livskvalitet som den vi själva har.” [1a]

Ett problem med denna rättviseteori är att den inbegriper en utilitaristisk komponent. Vi ska handla så att vi på ett rättvist sätt ska tillgodose våra grundläggande mänskliga behov. Dit hör t.ex. behovet av ett lyckligt liv, som vi enligt utilitarismen bör eftersträva så mycket som möjligt. Därför undgår denna rättviseteori inte den motbjudande slutsatsen.

9.10 Harmans lösning

Den *tredje* grundinställningen innebär att man bibehåller den personpåverkande principen. Den är visserligen inte heltäckande och kan behöva modifieras. Då behöver den inte vara oförenlig med (2), dvs. att en viss energipolitik är moraliskt orätt om den skadar framtida personer. Det finns flera varianter av denna uppfattning. [12a] Vi ska särskilt fokusera på den amerikanska filosofen Elizabeth Harmans resonemang⁸. [8]

Harman godtar icke-identitetsproblemet utgångspunkter. Det är sant att de personer som enligt exemplet med valet av energipolitik skulle kunna skadas om man i dag väljer ett mellanlager, inte är samma människor som blir till om man väljer ett geologiskt slutförvar. Hon accepterar också den personpåverkande principen och avvisar alla opersonliga principer i form av t.ex. utilitarismen. Hon skriver: "There is harm in non-identity cases, and this harm explains the wrongness of actions." [8b]

Harman tar sin utgångspunkt i ett exempel som inte verkar relevant i sammanhanget, men som visar sig vara viktig och klargör en viktig poäng. Syftet med exemplet är att belysa hur en handling förutsätter en sammanvägning av skäl för och emot:

En läkare skär ett hål i buken för att ta bort min svullna blindtarm. Att skära upp buken orsakar mig smärta (när jag återhämtar mig); men om operationen inte hade utförts, skulle jag ha lidit värre smärta och dött mycket snart. [8c]

Läkaren gör rätt i att operera. Patienten blir inte skadad; hon blir snarare botad. Men det är egentligen en förenklad beskrivning av situationen. Själva ingreppet skadar patienten och är ett skäl *mot* den kirurgiska behandlingen. Men det finns också skäl *för* att genomföra

⁸. Harmans lösning på icke-identitetsproblemet utgår från ett delvis annat exempel än det som vi utgått från i detta sammanhang, men skillnaden är inte betydelsefull]

ingreppet Patienten skulle ha lidit och dött om inte ingreppet genomförts. Och detta skäl *för* väger tyngre än skälet *mot*. Operationen är alltså moraliskt godtagbar – för att inte säga nödvändig.

Mot denna bakgrund kan vi återvända till exemplet med valet av energipolitik. Enligt exemplet innebär beslutet att välja ett mellanlager i stället för ett geologiskt slutförvar att ett antal människor strålskadas om – låt oss säga – 200 år. Kärnavfallsbeslutet i dag orsakar lidande, död, kroppslig skada och lyte längre fram i tiden. Detta är ett skäl *mot* beslutet. Beslutet är moraliskt orätt eftersom det – indirekt – vållar skada. Alltså finns det skäl att avstå från ett sådant beslut. Det finns visserligen också ett skäl *för* beslutet: vi vill bli av med kärnavfallsproblemet och åtminstone finna en temporär lösning i avvaktan på en slutförvaring om cirka 100–200 år. Men detta är knappast ett argument som uppväger den skada som ett sådant beslut får till konsekvens. Alltså är beslutet fortfarande moraliskt orätt.

Det finns en invändning mot detta resonemang. Beslutet att bygga ett mellanlager skadar visserligen ett antal individer i framtiden, men det är också något positivt för dem. Allt som de får uppleva av glädje, gemenskap, njutning, allt detta skulle de gå miste om vid ett annat beslut; beslutet är nämligen – som vi konstaterat flera gånger – en förutsättning för att de ska bli till över huvud taget. Detta är ett skäl *för* beslutet, men det är inte *ett tillräckligt skäl*. Samtidigt som det finns dessa positiva konsekvenser, finns det också som nyss framhållits de negativa. Samma framtida personer som får uppleva mycket gott i livet, kommer också att drabbas av strålskador. Vid tidpunkten för beslutet vet vi inte vilka och hur många som skadas, men vi kan inte gärna vara omedvetna om att en olycka är möjlig och kanske sannolikare än om vi valt ett geologiskt slutförvar. Harmans resonemang utmynnar i följande två slutsatser. För det *första* skadar en handling en person om handlingen vållar lidande, död, kroppsskada eller lyte, *även om hon inte skulle ha existerat om handlingen inte utförts*.⁹ Den kursiverade bisatsen strider inte mot den personpåverkande principen (låt vara i en svagare form än (3)). [8] En handling skadar en person om den gör livet sämre för just denna person *även om hon inte skulle ha existerat om handlingen inte utförts*. Här är ytterligare ett exempel: en vårdslös bilförare skadar en kvinna som planerar att bli gravid. Till följd av olyckan blir graviditeten uppskjuten. Längre fram föder hon ett barn som får sämre förutsättningar i livet

⁹ Se vidare kapitlet om Århus-konventionen, kap 4.

till följd av kvinnans skada. Barnet skulle inte ha existerat om olyckan inte hänt. Handlingen är ändå moraliskt orätt inte bara på grund av att kvinnan skadats utan också därför att barnet får sämre förutsättningar i livet.

För det *andra* har vi en skyldighet att inte skada om inte en skada kan uppvägas av större fördelar för den som skadas. Denna skyldighet gäller också ”när det finns ett alternativ där parallella fördelar kan uppnås utan parallella skador.” [8] Det innebär att en operation är moraliskt felaktig om en patient kan tillfriskna på något annat sätt än genom ett kirurgiskt ingrepp. Det innebär också att en lösning av kärnavfallsproblemet är moraliskt felaktig om vi kan skydda oss och framtida generationer utan att skada – eller riskera att skada – några personer.¹⁰ [12b]

9.11 Etiska slutsatser

Enligt vår uppfattning blir slutsatsen att man bör vidhålla en personpåverkande princip – att en handling skadar en person om den gör livet sämre för den personen. Vi skadar en person om handlingen orsakar lidande, förtidig död, kroppslig skada eller lyte, även *om hon inte skulle ha existerat om handlingen inte utförts*. Och vi är moraliskt skyldiga att inte skada andra personer om det inte finns större fördelar för berörda personer och att dessa uppväger skadorna eller om det finns alternativa handlingar som uppnår dessa fördelar utan skador. Detta är – kort sagt – en av de viktigaste moraliska grunderna för vårt ansvar för kommande generationer. I kunskapslägesrapporten 2004 [1] överväger vi också om det finns andra moraliska grunder.

Som framhållits tidigare är de valda exemplen påhittade och valda i anslutning till Parfits analys för att belysa en filosofisk problematik med vårt ansvar för kommande generationer. Om vi lämnar exemplens fiktiva värld och i stället övergår till vår aktuella situation, kan vi ställa frågan *vilken betydelse den angivna moraliska grunden för vårt ansvar för framtida generationer har för ställningstagandet till förslaget om ett slutförvar för det svenska kärnavfallet*. Frågan har två svar.

¹⁰ Gustaf Arrhenius en artikel som ingående behandlar olika invändningar mot principen, men det skulle föra för långt att återge och ta ställning till denna specialdiskussion. Här räcker det att notera att Arrhenius i en sammanfattning av artikeln medger att vissa utformningar av den personpåverkande principen (s.k. mjuk comparativism) kan ha fördelar framför den tidigare berörda opersonliga grundinställningen.

Det *första* svaret handlar om att den moraliska grunden utesluter varje form av nedvärdering av vårt ansvar för kommande generationer i jämförelse med vårt ansvar för nu levande människor. Bara för att en människa – eller en generation av människor – lever längre fram eller långt fram i tiden, så minskar inte vårt ansvar för dessa människor (i den utsträckning de påverkas av våra handlingar i dag).

Det *andra* svaret handlar om vad detta ställer för krav på våra handlingar och särskilt på ett slutförvarsbeslut. *Vi är skyldiga att inte skada om inte den skadande handlingen har större fördelar som uppväger skadan, och om det finns alternativa handlingar som uppnår dessa fördelar utan att skada.* I teorin är dessa krav entydiga. De innebär – kort sagt – att ett slutförvarsbeslut måste fattas med hänsyn till grundläggande strålskyddskrav. Dessa är fastställda i Strålsäkerhetsmyndighetens (SSM:s) föreskrifter och utgångspunkten för Svensk Kärnbränslehantering AB:s (SKB:s) slutförvarsansökan. Så skyddar vi framtida människor mot lidande, förtidig död, kroppslig skada eller lyte. I praktiken är situationen naturligtvis mycket mer komplicerad. Den förutsätter den prövningsprocess som slutförvarsansökan genomgått och kommer att genomgå i en framtida stegvis prövning. Moralen svävar inte ovanför denna verklighet; den är invävd i dessa processer som även rymmer osäkerheter vad gäller framtida scenarier. De moraliska ställningstagandena utgör med andra ord en ofrånkomlig del av det vetenskapliga och politiska arbetet med hanteringen av det använda kärnbränslet. Eller som en svensk filosof en gång uttryckte det: moralen är inte bara en krydda på maten, utan en del av själva anrättningen.

9.12 Sammanfattning

Syftet med detta kapitel har varit att klargöra på vilket sätt den aktuella diskussionen om rättvisa och moral kan belysa vad ansvaret för framtida generationer innebär för kärnavfallsfrågan. Denna diskussion har på ett avgörande sätt tagit sin utgångspunkt i den brittiske filosofen Derek Parfitts tänkande och det han kallar icke-identitetsproblemet. Problemet uppstår när vi inte beaktar att det finns en moraliskt betydelsefull asymmetri mellan vårt ansvar för nu existerande personer och framtida personer. Storskaliga teknikbeslut som t.ex. ett val av energipolitik medför att helt andra människor blir

till i framtiden än om ett sådant beslut inte fattas. Det finns de som av detta drar slutsatsen att vi inte har ansvar för framtida generationer på samma sätt som vi har ansvar för nu levande och identifierbara människor. Detta kommer i konflikt med grundläggande moraliska intuitioner t.ex. att det är moraliskt orätt att utsätta framtida generationer för radioaktiva risker. Antingen kan vi leva med denna motsägelse eller så kan vi söka att formulera moraliska grundprinciper som stämmer med våra moraliska intuitioner och som samtidigt kan läggas till grund för åtgärder för ett aktivt ansvarstagande för framtida generationer.

En närmare analys av icke-identitetsproblemet betydelse för kärnavfallsfrågan visar den centrala roll som den s.k. personpåverkande principen spelar. Den innebär att en handling kan skada en person bara om handlingen gör det sämre för den personen. Principen förefaller helt självklar, men visar sig vid närmare påseende ha flera problem. Tre lösningar på dessa problem behandlas. Enligt den *första* bibehålls den personpåverkande principen även om den bl.a. medför att vårt ansvar för framtida personer och vikten av säkert och uthålligt omhändertagande av kärnavfallet luckras upp. Den *andra* lösningen vill ersätta principen med en opersonlig grundregel av utilitaristisk karaktär. Problemet är att denna moralprincip medför en motbjudande slutsats ("repugnant conclusion") och det har varit svårt att finna en lösning på detta problem. En *tredje* lösning – framförd av den amerikanska filosofen Elizabeth Harman – innebär att man modifierar den personpåverkande principen, men samtidigt ifrågasätter om den verkligen måste leda till att ansvaret för framtida personer undermineras. Harman försöker att visa att det tvärtom är så att ansvaret får en hållbar moralisk motivering. En handling skadar en person om handlingen vållar lidande, död, kroppsskada eller lyte, *även om hon inte skulle ha existerat om handlingen inte utförts*. Vi är moraliskt skyldiga att inte skada andra personer om det inte finns större fördelar som uppväger dessa skador eller om det finns alternativa handlingar som uppnår dessa fördelar utan skador.

Referenser

1. SOU 2004:67 *Kunskapsläget på kärnavfallsområdet 2004 – Del III* Kärnavfallsfrågan och framtiden. Kärnavfallsrådet. Stockholm: Fritzes. 1a, s. 405.
2. *The Principles of Radioactive Waste Management*. International Atomic Energy Agency, Safety Series No. 111-F, Vienna (1995) (hämtad 2022-02-02).
3. Prop. 1997/98:145, bilaga 59, s. 161. Svenska miljömål. Miljöpolitik för ett hållbart Sverige. Tillgänglig på: www.regeringen.se/49bba3/contentassets/c887c3695078405aa08d48990deec32e/del-1 (hämtad 2022-02-01).
4. Se Maria Bergströms intervju med Parfit. Tillgänglig på Fri tankes hemsida: <https://fritanke.se/han-var-en-av-var-tids-storsta-filosof-2/> (hämtad 2022-02-01).
5. Arrhenius, G.; Ryberg, J. & Tännsjö, T. 2017. "The Repugnant Conclusion". I *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Spring 2017 Edition, Edward N. Zalta, ed.
6. *Moraliska dilemman* (peda.net) (hämtad 2022-02-01).
7. Johann Fricks föreläsning på YouTube (www.youtube.com/watch?v=X-WLGaJ9I1I) (privat video).
8. Harman, E. 2004. "Can we harm and benefit in creating?" I *Philosophical perspectives*, 18, 2004, s. 89–113. Tillgänglig på: <https://www.princeton.edu/~eharman/canweharm.pdf> (hämtad 2022-02-01).
8a, s. 89–91.
8b, s. 90.
8c, s. 91.
8d, s. 92.
9. Exemplet är hämtat från: Parfits, D. 2010. "Energy policy and the further future" i Stephen Gardiner et al. (ed.) *Climate Ethics: Essential Readings*. Oxford UP.
10. *Northvolts etablering Regionala effekter i Västernorrland*. Studie på uppdrag av Tillväxtverket av WEP Advisory 2020.

11. SKB. 2007. Rapport R-07-04. *Slutförvarets lokala effekter på befolkning och sysselsättning i Östhammar och Oskarshamn*. U. Lindgren & M. Strömgren. Kulturgeografiska institutionen, Umeå universitet. Stockholm. Svensk Kärnbränslehantering AB.
12. Roberts, M. A. & Wasserman, D. T. (red.). 2009. *Harming Future Persons, Ethics, Genetics and the Nonidentity Problem*, s. xx–xxiii.
 - 12a Heyd, D. "Introduction", s. xxi–xxiii.
 - 12b Arrhenius, G. "Can the person affecting restriction solve the problems in populations ethics?", s. 289.
13. Arrhenius, G. 2000. *Future Generations: A Challenge for Moral Theory*.

DEL 2

10 Kärnavfallsrådets arbete och kärnavfallsområdet

10.1 Kärnavfallsrådets arbete 2020 och 2021

10.1.1 Gällande direktiv

Kärnavfallsrådets verksamhet regleras och styrs av instruktioner i ett direktiv. Enligt tilläggsdirektivet från 2018 ska rådet vartannat år publicera och redovisa föregående två års arbete och sin självständiga bedömning av det aktuella kunskapsläget inom kärnavfallsområdet, vilket görs i denna rapport för åren 2020 och 2021. [1]

Kärnavfallsrådet ska enligt direktivet utreda och belysa frågor om hantering och slutförvaring av använt kärnbränsle och kärnavfall samt om avställning och rivning av kärntekniska anläggningar. Rådet ska också lämna råd till regeringen i dessa frågor. Andra viktiga målgrupper är berörda myndigheter, kärnkraftsindustrin, kommuner, intresserade organisationer och politiker samt massmedier. Rådet arbetar med och för sina målgrupper genom bland annat publikationer, möten, seminarier, samt genom sin webbplats [2]. Kärnavfallsrådets uppdrag gäller till den 31 december 2022 och kan därefter förlängas med högst fem år i taget.

10.1.2 Publikationer och skrivelser

Kärnavfallsrådet ska enligt sitt direktiv publicera en kunskapslägesrapport vartannat år. Rådet ska även publicera sin självständiga bedömning, i ett eget yttrande, över reaktorinnehavarnas forskningsprogram (Fud-program) som presenteras vart tredje år. Båda rådets publikationer publiceras i serien Statens Offentliga Utredningar (SOU). I Kärnavfallsrådets uppdrag ingår även att svara på remisser

från regeringen och olika myndigheter. Nedan finns information om rådets publikationer, som publicerats under åren 2020 och 2021. (Samtliga finns att ladda ner på rådets webbplats [3]).

Kunskapslägesrapporter 2020 och 2022

I februari 2020 publicerade Kärnavfallsrådet kunskapslägesrapporten SOU 2020:9 *Steg för steg – Var står vi? Vart går vi?* [4] Rapportens kapitel belyser olika frågor utifrån rådets tvärvetenskapliga perspektiv.

En förutsättning för att projektet att uppföra och driva ett slutförvar för använt kärnbränsle ska lyckas, är att det finns rätt kompetens inom kärnteknik- och kärnavfallsområdena. I det inledande kapitlet ”Långsiktig kompetensförsörjning inom kärnavfallsområdet i sju europeiska länder med kommersiell kärnkraft” beskrivs en kartläggning gällande kompetensläget och de nationella strategierna i sex europeiska länder med kommersiell kärnkraft.

Kapitlet ”Stegvis prövning och tiden därefter – process och reflektioner” handlar om de olika faserna från stegvis prövning och fram till slutlig förslutning. Rådet skriver att det finns frågetecken om hur den befintliga regleringen kan anpassas till de särskilda förhållanden som gäller för uppförande och drift av ett slutförvar för använt kärnbränsle.

I kapitlet ”Modern2020 – kunskapsläge om övervakning” ges en översikt av kunskapsläget utifrån det internationella forskningsprojektet om övervakning, Modern2020.

Frågor om kapseln och långsiktig säkerhet lyfts i kapitlet ”Utveckling av barriärerna – kunskapsläget avseende kopparkapselns integritet”.

I ”Allmänheten och kärnavfallet” redogörs för en undersökning som rådet genomfört av allmänhetens attityder till och kunskaper om det svenska kärnavfallet.

Några initiativ när det gäller informations- och kunskapsbevarande beskrivs i kapitlet ”Att minnas ett slutförvar”.

Dessutom finns kapitlet ”Den goda tekniken och kärnavfallet” som är en syntes av de föregående kapitlen.

Kärnavfallsrådet presenterade kunskapslägesrapporten 2020 för miljöminister Isabella Lövin i februari 2020. På grund av Coronapandemin kunde däremot inte det planerade seminariet kring kunskapslägesrapporten genomföras. Kärnavfallsrådet publicerade därför under sommaren och hösten 2020 sex stycken informationsblad vilka beskriver kunskapslägesrapportens olika kapitel. [3]

Under år 2020 och år 2021 har rådets medlemmar arbetat med föreliggande kunskapslägesrapport 2022.

Publicering och överlämning av Kärnavfallsrådets yttrande över SKB:s Fud-program 2019

Vart tredje år publicerar reaktorinnehavarna, genom Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB), sitt forskningsprogram. Strålsäkerhetsmyndigheten (SSM) granskar programmet och efter en remissrunda tas synpunkter med från andra aktörer i SSM:s yttrande och granskningsrapport. [5] SKB publicerade sitt senaste forskningsprogram i september 2019. Den 30 juni 2020 lämnade rådet till regeringen sin bedömning av forskningsprogrammet: SOU 2020:39 *Kärnavfallsrådets yttrande över SKB:s Fud-program 2019*. [6] I samband med detta publicerades även ett informationsblad med Kärnavfallsrådets rekommendationer i korthet. [3] Rådet framhåller att allsidighet, öppenhet och insyn är viktigt för säkerhetens skull. En av rådets rekommendationer till regeringen i yttrandet är att forskning, utveckling och demonstration (Fud) redovisas i Fud-programmen framöver, såväl för ej tillståndsgiven verksamhet som för tillståndsgiven verksamhet. En öppen Fud-process är en demokratisk fråga samtidigt som den bidrar till en breddning av kunskapsläget.

Remissvar/yttranden och skrivelser

Kärnavfallsrådet har under åren 2020 och 2021 svarat på ett antal remisser från regeringen, SSM och Riksgälden. Rådet har under perioden även skickat in skrivelser till olika aktörer/myndigheter. Nedan nämns vad som skickats in och till vilka aktörer och organisationer. Yttrandena och skrivelserna gäller bl.a. remissvar och frågor om slutförvaret för använt kärnbränsle, bevarande av kompetens, kärn-

avfallsavgifter och SSM:s nya föreskrifter. Yttrandena nedan som är kursiverade och alla skrivelser finns publicerade på rådets webbplats.

Till Miljödepartementet om slutförvaret för använt kärnbränsle

Rådet har svarat på två remisser från Miljödepartementet när det gäller innehållet i SKB:s ansökan om ett slutförvar för använt kärnbränsle och kompletteringar gällande ansökan (oktober 2021, juni 2020), Se mer om dessa remisser nedan under översikten av kärnavfallsområdet.

Efter att reaktorinnehavarna varnat för att mellanlagret (Clab) snart kommer att bli fullt, skickade rådet (mars 2021) in en skrivelse om möjligheten att särskilja ansökan om utökning av kapaciteten i Clab från ansökan om slutförvaret för använt kärnbränsle. I juli 2021 fick rådet denna fråga på remiss. Regeringen fattade beslut om tillstånd till utökning av Clab separat från ansökan om ett slutförvar för använt kärnbränsle, den 26 augusti 2021, se mer nedan under översikten av kärnavfallsområdet.

- *Kärnavfallsrådets svar på Remiss angående kopparkorrosion och gjutjärn när det gäller Ärenden om tillåtlighet enligt miljöbalken och tillstånd enligt lagen om kärnteknisk verksamhet till anläggningar i ett sammanhängande system för slutförvaring av använt kärnbränsle och kärnavfall* (oktober 2021). Läs mer om detta yttrande nedan.
- Rådet har även skickat in en skrivelse till regeringen rörande att slutförvaret för använt kärnbränsle ska prövas i skilda rättsprocesser enligt två olika lagar (mars 2021). Skrivelsen tar bl.a. upp frågan om regeringen kan bryta ut ansökan om att utöka kapaciteten i Clab.
- *Kärnavfallsrådets yttrande gällande "Ärenden om tillåtlighet enligt miljöbalken och tillstånd enligt lagen om kärnteknisk verksamhet till anläggningar i ett sammanhängande system för slutförvaring av använt kärnbränsle och kärnavfall"* (juli 2021).
- *Kärnavfallsrådets yttrande angående Komplettering i regeringens ärenden angående Svensk Kärnbränslehantering AB:s ansökningar om tillstånd till anläggningar i ett sammanhängande system för slutförvaring av använt kärnbränsle och kärnavfall* (juni 2020).

Övrigt till Miljödepartementet

Rådet har även skickat in följande yttranden (kursiverade) och skrivelser till Miljödepartementet:

- *Kärnavfallsrådets svar angående remiss av promemorian "Ändrade förutsättningar för att betala ut medel från kärnavfallsfonden" (september 2021).*
- *Kärnavfallsrådets synpunkter på Svensk Kärnbränslehantering AB:s bemötande av Strålsäkerhetsmyndighetens granskningsrapport och Kärnavfallsrådets yttrande över Fud-program 2019 (november 2020).*
- *Kärnavfallsrådets yttrande angående en ny och uppdaterad förordning om ansvar och ersättning vid radiologiska olyckor (oktober 2020).*
- *Kärnavfallsrådet har i oktober 2020 sänt en skrivelse till Miljödepartementet kring framtida kompetensförsörjning.*

Till Riksgälden (RKG)

Nedan under kärnavfallsområdet går det att läsa mer RKG:s förslag på kärnavfallsavgifter. Rådet har skickat följande yttranden till RKG under perioden:

- *Kärnavfallsrådets yttrande gällande "Remiss av Riksgäldens förslag på kärnavfallsavgifter, finansierings- och kompletteringsbelopp för 2022–2023 (augusti 2021).*
- *Kärnavfallsrådets yttrande gällande Riksgäldens remiss angående Riksgäldens beräkningsmodell för kompletteringsbelopp (maj 2021).*
- *Kärnavfallsrådets remissvar angående Riksgäldens förslag på kärnavfallsavgifter, finansieringsbelopp och kompletteringsbelopp för 2021 (augusti 2020).*

Till Strålsäkerhetsmyndigheten (SSM)

Kärnavfallsrådet har svarat på remisser när det gäller SSM:s uppdaterade föreskrifter, utkastet till en Nationell plan, samt en nationell strategi för kompetensförsörjning (vilket rådet tidigare skickat en skrivelse om, se även skrivelse angående kompetens, till Miljödepartementet ovan).

- *Kärnavfallsrådets remissvar angående Strålsäkerhetsmyndighetens förslag om nationell strategi för Sveriges kompetensförsörjning inom strålsäkerhetsområdet (november 2021).*
- *Kärnavfallsrådets remissvar angående Strålsäkerhetsmyndighetens förslag till föreskrifter om omhändertagande av kärntekniskt avfall (april 2021).*
- *Kärnavfallsrådets remissvar angående Strålsäkerhetsmyndighetens förslag till föreskrifter om konstruktion och drift av kärnkraftreaktorer samt värdering och redovisning av strålsäkerhet för kärnkraftsreaktorer (februari 2021).*
- *Kärnavfallsrådets synpunkter på Strålsäkerhetsmyndighetens (SSM) utkast av rapporten Nationell Plan för ansvarsfull och säker hantering av använt kärnbränsle och radioaktivt avfall (Nationell plan) (februari 2021).*

Till övriga aktörer

- *Kärnavfallsrådets svar gällande Kärnkraftskommunernas samarbetsorgans skrivelse (KSO) (maj 2021).*

10.1.3 Seminarier och möten

Kärnavfallsrådet ska enligt direktivet utreda och belysa viktiga frågor inom kärnavfallsområdet, bl.a. genom utfrågningar och seminarier.

På grund av den rådande pandemin så har rådet endast genomfört ett öppet seminarium under år 2020 och år 2021. Den 30 november 2021 arrangerade rådet ett seminarium kring gjutjärn, det material som används till kopparkapselns insats. För att nå fler aktörer spelades seminariet in. [7, 8]

Hannu Hänninen (sakkunnig i Kärnavfallsrådet) och Ville Björklund, båda från Aalto universitet höll en presentation om ”Effects of embrittlement mechanisms on mechanical performance of nodular cast iron”. Hasse Fredriksson, KTH höll presentationen ”En optimal gjutprocess – för optimala egenskaper”. Bo Strömberg, SSM, gav en ”Tillbakablick på Strålsäkerhetsmyndighetens granskning av segjärnsinsatsen”. SKB var inbjudna att ha en presentation och/eller delta i seminariet men avböjde.

Alla möten med andra aktörer har under de två åren genomförts digitalt i stället för fysiskt p.g.a. Corona-pandemin. Rådet har haft avstämningsmöten med Miljödepartementet och Strålsäkerhetsmyndigheten (SSM).

I december 2020 genomförde rådet ett digitalt rundabordsmöte med Östhammars- och Oskarshamns kommuner. I mars 2021 genomfördes ett digitalt rundabordsmöte med representanter för miljöorganisationer aktiva på kärnavfallsområdet.

Den 28 april 2021 deltog representanter från rådet i ett möte med dåvarande Miljö- och klimatminister Per Bolund. Syftet med mötet var att presentera rådet och dess uppgifter. Frågor kring framtid, kompetensförsörjning och informationsbevarande diskuterades bland annat.

Den 24 augusti 2021 hade representanter från Kärnavfallsrådet möte med Miljödepartementet och Statsrådsberedningen och presenterade bl.a. rådets förslag på villkor och kapselfrågor.

10.1.4 Omvärldsbevakning

Kärnavfallsrådet ska enligt direktivet följa utvecklingen av andra länders slutförvarsprogram när det gäller hantering av kärnavfall och använt kärnbränsle. Rådet bör även följa och vid behov delta i internationella organisationers arbete i kärnavfallsfrågan. På grund av Corona-pandemin så har rådet inte deltagit på plats i några internationella möten eller konferenser under åren 2020 och 2021.

Kärnavfallsrådet följer och deltar i ett par internationella arbetsgrupper inom OECD/NEA (Nuclear Energy Agency). I gruppen Forum on Stakeholder Confidence (FSC) finns Sverige representerat genom Kärnavfallsrådet, tillsammans med SSM och SKB. Rådet deltar i gruppen Information, Data and Knowledge Management

(IDKM) där även SKB, SSM, Riksarkivet och representanter från kommunerna har deltagit från Sverige.¹

Rådet bevakar olika områden och nedan nämns några exempel.

Avveckling och rivning

Enligt direktivet ska Kärnavfallsrådet utreda och belysa frågor om hantering och slutförvaring av använt kärnbränsle och kärnavfall samt om avställning och rivning av kärntekniska anläggningar.

Tidigare år har rådet besökt olika länder för att bl.a. bevaka dessa frågor, men p.g.a. rådande Corona-pandemi har detta inte kunnat genomföras under 2020–2021. Ett studiebesök till Barsebäck var inplanerat, men har fått skjutas upp. Rådet har lagt till översiktlig information om avveckling och rivning på sin webbplats.

Nå unga vuxna

Rådet hade seminariet ”Vad tänker de unga om kärnavfallet – och vad vill de veta?” i Almedalen 2019. Innan Corona-pandemin hade rådet planer på att arbeta vidare med att nå unga vuxna genom bl.a. lunchseminarier om kärnavfall på universitet. Ett seminarium på Chalmers var inbokat under våren 2020, men har fått skjutas upp.

Inom vissa länder är det en uppmärksammas fråga att yngre personer som ska ta över kärnavfallsfrågorna framöver behöver känna till att de frågorna finns. Under hösten 2021 publicerade t.ex. FSC (se ovan) broschyren ”Intergenerational connections in radioactive waste management: Involving children and youth” där det går att läsa om initiativ som gjorts i flera länder. [9]

Informationsbevarande

Ovan nämns gruppens IDKM vars fokus bl.a. är hur det går att hantera bevarande av information och kunskap under mycket lång tid. IDKM har under åren 2020 och 2021 haft flera digitala möten som rådet har närvarat vid.

¹ Läs mer om IDKM i [4].

Rådet har flera gånger lyft att informationsbevarande är en viktig fråga och SSM fick i sitt regleringsbrev 2021 i uppdrag att redogöra hur olika metoder för information och kunskap om slutförvaret för använt kärnbränsle kan säkerställas över lång tid. I oktober 2021 publicerade SSM rapporten SSM 2021:24 *Metoder för överföring av information och kunskap om slutförvar för radioaktivt avfall*. [10] I rapporten redovisar SSM för de strategier och metoder som finns beskrivna i internationella samarbeten samt arbeten som har utförts inom området nationellt och i andra länder.

10.2 Kärnavfallsområdet i Sverige 2020–2021

10.2.1 Tillståndsprocessen om slutförvar för använt kärnbränsle

Regeringens beslut om tillåtlighet och tillstånd till ett slutförvar för använt kärnbränsle som togs den 27 januari 2022 [11, 12] kom i det absoluta slutskedet av arbetet med denna kunskapslägesrapport. Rådet har därför inte haft besluten som grund i skrivprocessen, men däremot kommenterat besluten i ett särskilt kapitel i föreliggande rapport.

Här nedan kommer översiktlig information om beslutet och vad som hänt i processen då regeringen haft frågan på sitt bord, från och med 2020 fram till den 27 januari 2022.

Besluten 27 januari 2022 och fortsatt process

Besluten kunde fattas efter att ansökan enligt Miljöbalken (1998:808) (miljöbalken) tillstyrkts av Oskarshamns kommunfullmäktige 2018 och av Östhammars kommunfullmäktige i oktober 2020, utifrån den så kallade vetorätten i miljöbalken. Regeringen ställde ett villkor för tillåtlighet enligt miljöbalken och fem för tillstånd enligt kärntekniklagen, se mer om besluten i kapitel 2 i föreliggande rapport.

När regeringen nu gett tillåtlighet enligt miljöbalken kommer domstolen åter att hålla en huvudförhandling och ge tillstånd i enlighet med regeringens beslut. Domstolen beslutar även om villkor enligt miljöbalken utöver det som regeringen lagt fram i januari 2022.

Efter att regeringen nu gett tillstånd enligt Lagen (1984:3) om kärnteknisk verksamhet (kärntekniklagen) och beslutat om fem villkor, så delegeras till SSM att ställa ytterligare villkor för verksamheten. Villkoren som SSM meddelar utgår både från kärntekniklagen och från strålskyddslagen.

Enligt regeringens nu lagda villkor startar en stegvis prövning enligt kärntekniklagen som innebär att SKB behöver godkännanden från SSM inför uppförandet, inför provdrift och inför rutinmässig drift av slutförvaret. Enligt SKB:s beräkningar tar hela projektet fram till förslutning cirka 70 år.

Information om processen fram till beslut

Kärnavfallsfrågan har under perioden varit mera aktuell i samhällsdebatten jämfört med tidigare år. Under 2020 och 2021 har det förts ett antal interpellationsdebatter² i riksdagen om slutförvaring av använt kärnbränsle. Och i dagstidningar har frågan uppmärksammats.

Nedan beskrivs kortfattat några delar som ingått i regeringens prövning:

- två remisser till allmänheten
- en remiss till SSM och Kärnavfallsrådet angående kapselfrågor
- Esbosamråd under 2021
- separering och godkännande av ansökan om utökning av Clab

Två remisser till allmänheten – svarsdatum juni 2020 och januari 2022

SKB lämnade 2011 in sina ansökningar enligt miljöbalken och kärntekniklagen. Efter beredning av dem lämnade mark- och miljödomstolen respektive SSM över sina yttranden till regeringen i januari 2018. Därefter har det varit upp till regeringen att fatta beslut om ansökningarna. SKB lämnade kompletteringar i april 2019, som gick ut på remiss och ett flertal myndigheter m.fl. svarade på under

² Interpellationer är en typ av frågor som debatteras i kammaren. Ledamoten ställer interpellationen skriftligt till en minister i regeringen och får svar både skriftligt och muntligt av ministern som kommer till kammaren. Debatterna dokumenteras i kammarens protokoll.

hösten 2019. [13] Regeringen kungjorde kompletteringarna och även allmänheten fick möjlighet att lämna yttranden i juni 2020. [14]

Regeringen kungjorde åter ansökan i december 2021 för att allmänheten skulle få ännu en möjlighet att lämna synpunkter inför regeringens beslut den 27 januari 2022. I kungörelsen ingick nytt material eftersom regeringen fått flera remissyttranden. Bland annat fick SSM och Kärnavfallsrådet en remiss av regeringen angående kapsel-frågor under hösten 2021, vilket beskrivs nedan.

Remiss om osäkerheter gällande gjutjärnets egenskaper och kopparkapselns förmåga att innesluta kärnavfallet på lång sikt

Den 23 september 2021 skickade regeringen en remiss, med två bilagor, till Kärnavfallsrådet och SSM för att få synpunkter på kvarstående osäkerheter när det gäller gjutjärnets egenskaper och kopparkapselns förmåga att innesluta kärnavfallet på lång sikt. Den *ena* bilagan var en artikel från den vetenskapliga tidskriften *Corrosion Science* 184, 2021 som beskriver hur metallisk koppar av den typ som avses att användas i kopparkapslarna för slutförvaret kan korrodera i närvaro av svavelföreningar. [15] Den *andra* bilagan var en finsk master-upsats om ny finsk forskning kring gjutjärnets egenskaper. [16]

Regeringen efterfrågade även synpunkter på de s.k. LOT-försöken vid Äspölaboratoriet. (Om diskussionen kring LOT-försöken se bl.a. [17, 18]).

Nedan ges sammanfattningar av rådets svar (se ovan yttrande oktober 2021) på remissens tre delar [19]:

- Artikeln i *Corrosion Science* innehåller enligt Kärnavfallsrådet inte några nya observationer avseende spänningskorrosion under slutförvarsförhållanden som förändrar kunskapsläget vad gäller bedömningen av kopparkapselns långsiktiga integritet. Vidare föreslår Kärnavfallsrådet att regeringen ställer som villkor vid eventuell tillåtlighet för driften av ett slutförvar för använt kärnbränsle att SKB gör nya försök för att specifikt studera kopparkorrosionen under slutförvarsförhållanden.

- Mastersuppsatsen: Den finska forskningen tillför ny kunskap om gjutjärnets egenskaper. Det finns dock fortfarande osäkerheter om gjutjärnets egenskaper i förhållande till kopparkapselns förmåga att innesluta kärnavfallet på lång sikt. Att kvantifiera dessa som små eller betydande är inte möjligt i dagsläget.
- LOT-försöken: Resultaten från LOT-försöken vad gäller kopparkorrosion tillför inte ny kunskap vad gäller kopparkapslarnas långsiktiga integritet under slutförvarförhållanden. Skälet är svagheter i försöksupplägget avseende hållbarheten hos kopparkapslarna.

Regeringens beslut om utökad lagringskapacitet i Clab (centralt mellanlager för använt kärnbränsle)

Regeringen fattade beslut om tillåtlighet enligt miljöbalken och tillstånd enligt kärntekniklagen till utökad lagring i Clab till 11 000 ton använt kärnbränsle den 26 augusti 2021. [20]

Bakgrunden är att SKB har tillstånd att lagra 8 000 ton använt kärnbränsle och hårdkomponenter i Clab, och att reaktorinnehavarna har varnat för att mellanlagret kommer uppnå dessa 8 000 ton 2023. Enligt SKB går det att utöka lagringen i befintliga bassänger till 11 000 ton använt kärnbränsle genom förhållandevis enkla åtgärder i anläggningen. [21]

SKB har framhävt att Clab ingår i ett sammanhängande system för att hantera och slutförvara kärnavfallet. Ett yrkande om utökning av lagringskapaciteten i Clab fanns dock inte med när SKB lämnade in sin ansökan 2011, utan ett yrkande om detta lades till 2015. [22]

Kärnavfallsrådet skickade under våren 2021 en skrivelse om att det är möjligt för regeringen att bryta ut ansökan om att utöka kapaciteten i Clab, från övriga slutförvarssystemet. [23] Under sommaren 2021 skickade regeringen ut en remiss om synpunkter på att ge tillstånd för en utökning av Clab i ett separat beslut. Därefter fattade regeringen beslut den 26 augusti om att tillåta utökad lagringskapacitet till 11 000 ton använt kärnbränsle och hårdkomponenter. Efter regeringens beslut lämnades ärendet åter till SSM och mark- och miljödomstolen för vidare hantering.

I januari 2022 meddelade mark- och miljödomstolen en tidsplan för fortsatt prövning av en utökad lagringskapacitet. En huvudför-

handling om villkor är planerad till den 24–25 maj 2022 i Oskarshamn. Preliminärt så meddelas domstolens avgörande i juni/juli 2022. [24]

SKB hade ett informationsmöte med SSM i oktober 2021 om den fortsatta prövningen enligt kärntekniklagen. [25]

Samråd enligt Esbo-konventionen 2021

Konventionen om miljökonsekvensbeskrivningar i ett gränsöverskridande sammanhang (Esbokonventionen), är en miljöskyddskonvention om att länder i Europa, Kanada och USA ska samarbeta och förebygga att miljöeffekter sker över gränserna. Det finns enligt konventionen krav på att grannländer och allmänhet måste informeras om det finns planer på verksamheter ”som kan orsaka miljöeffekter”. [26] I Sverige är Naturvårdsverket ansvarig för att hålla dessa samråd med andra länder.

Naturvårdsverket höll ett första skriftligt ”Esbo-samråd” 2008 när det gäller ett slutförvar för använt kärnbränsle. Efter mark- och miljödomstolens och SSM:s kungörelser av ansökningarna, kunde SKB fortsätta med ”Esbo-samrådet” 2016. [27]

Eftersom SKB kompletterade sin ansökan om slutförvar för använt kärnbränsle i april 2019 höll Naturvårdsverket ett nytt Esbo-samråd under våren 2021, efter en fråga från regeringen om det fanns behov av det. Samrådet hölls med Polen och Tyskland, eftersom dessa var de enda länder som uttryckt önskemål om att fortsatt få ta del av eventuell ny dokumentation kopplad till ärendet. [28] Varken myndigheterna i Polen eller Tyskland fick in några synpunkter och hade inget att kommentera. Naturvårdsverket ansåg därmed att det kompletterande ”Esbo-samrådet” var avslutat. [29]

10.2.2 Tillståndsprocessen om Slutförvar för kortlivat låg- och medelaktivt avfall (SFR)

Regeringen fattade beslut om tillåtlighet enligt miljöbalken och tillstånd enligt kärntekniklagen den 22 december 2021 för ett utbyggt Slutförvar för använt kärnbränsle, SFR. [30, 31]

Bakgrunden är att det behövs mer plats för att bl.a. ta hand om rivningsavfall och SKB lämnade in sina ansökningar enligt miljöbal-

ken och kärntekniklagen 2014. Efter att mark- och miljödomstolen och SSM berett ansökningarna lämnade myndigheterna över sina respektive yttranden i slutet av 2019 till regeringen, där båda tillstyrkte ansökningarna.

Den 27 april 2021 fattade även kommunfullmäktige i Östhammars kommun beslut om att tillstyrka utbyggnaden av SFR i Forsmark.

10.2.3 Övrigt

Fud-programmet 2019

Efter att yttranden har lämnats av SSM och Kärnavfallsrådet, se ovan, har regeringen beslutat att godkänna SKB:s forskningsprogram *Fud-program 2019* i december 2020. [32].

Riksgäldens förslag på kärnavfallsavgifter

Reaktorinnehavarna betalar kärnavfallsavgifter, och deras gemensamma bolag SKB beräknar utifrån sina antaganden de framtida kostnaderna för hantering och slutförvaring av kärnavfall och rivning av reaktorer. [33] Riksgälden (RKG) har sedan 2018 varit ansvariga för att ge förslag på kärnavfallsavgifter (gjordes tidigare av SSM), utifrån SKB:s beräkningar. Regeringen fattar därefter beslut om avgifterna. Vanligtvis bestäms avgifterna för en treårsperiod. (Läs mer om finansieringssystemet under en ny flik på kärnavfallsrådets webbplats [34]).

Finansieringslagstiftningen ändrades 2017 och RKG har utvecklat metoderna så att beräkningarna ska motsvara de nya bestämmelserna. Myndighetens arbete med en ny beräkningsmodell för kompletteringsbeloppet blev försenat p.g.a. Corona-pandemin. RKG valde att ge ett förslag på avgifter för endast 2021, som regeringen accepterade 2020-12-10. Under våren 2021 var den nya beräkningsmodellen ute på remiss. Efter remissen lämnade RKG i september 2021 ett förslag på avgifter för åren 2022–2023, där kompletteringsbeloppet höjts ordentligt utifrån den nya modellen. [35] Regeringen har den 27 januari 2022 fattat beslut om avgifterna enligt RKG:s förslag. [36]

Statens sistahandsansvar

Kärntekniklagen och miljöbalken har uppdaterats när det gäller statens ansvar efter förslutning av vissa slutförvar. Lagändringarna började gälla den 1 november 2020. [37]

SSM:s uppdaterade föreskrifter

Strålsäkerhetsmyndighetens arbetar med att se över sina föreskrifter. Under 2021 har myndigheten, efter remisser, publicerat följande föreskrifter [38]:

SSMFS 2021:7 *Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter om omhändertagande av kärntekniskt avfall*

SSMFS 2021:6 *Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter och allmänna råd om drift av kärnkraftsreaktorer*

SSMFS 2021:5 *Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter och allmänna råd om värdering och redovisning av strålsäkerhet för kärnkraftsreaktorer*

SSMFS 2021:4 *Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter och allmänna råd om konstruktion av kärnkraftsreaktorer*

SSMFS 2021:1 *Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter om avgifter vid riksmätplatsen för joniserande strålning och radonlaboratoriet*

Finansiering för Miljöorganisationer

Miljöorganisationer kunde under 2020 och 2021 söka statligt stöd för arbete med slutförvarsfrågor genom SSM. Detta gäller även för 2022. [39]

En utredning tillsattes 2021 med målet att se över möjligheten till en långsiktig finansiering av kommuners och ideella organisationers medverkan i frågor om prövning av ett slutförvar för använt kärnbränsle och radioaktivt avfall, samt för övrigt arbete med att följa kärnavfallsfrågan. [40]

Uppdaterad Nationell Plan publicerad

Efter en remiss har SSM publicerat 2021:15 *Nationell Plan: Ansvarsfull och säker hantering av använt kärnbränsle och radioaktivt avfall i Sverige*. [41]

Referenser

1. Kommittédirektiv 2018:18, se bilaga i denna rapport.
2. www.karnavfallsradet.se (hämtad 2022-02-02).
3. www.karnavfallsradet.se/publikationer (hämtad 2022-02-02).
4. Kärnavfallsrådet. 2020. SOU 2020:9 *Kunskapsläget på kärnavfallsområdet 2020. Steg för steg. Var står vi? Vart går vi?* Stockholm: Norstedts Juridik.
5. SSM. 2020-03-30. *Strålsäkerhetsmyndighetens yttrande över Fud-program 2019* Dokumentnr: SSM2018-5179-8 (4 s); Granskning och utvärdering av Fud-program 2019. Dokumentnr: SSM2018-5179-9 (228 s).
6. Kärnavfallsrådet. 2020. SOU 2020:39 *Kärnavfallsrådets yttrande över SKB:s Fud-program 2019*. Stockholm. Norstedts Juridik.
7. www.karnavfallsradet.se/seminarier (hämtad 2022-02-02).
8. Filmen från seminariet finns på:
www.youtube.com/watch?v=F32H-XtUCck
(hämtad 2022-02-01).
9. The Forum on Stakeholder Confidence (FSC). 2021. "Intergenerational connections in radioactive waste management: Involving children and youth." Tillgänglig på:
www.oecd-nea.org/jcms/pl_61421/fsc-intergenerational-connections-in-radioactive-waste-management-involving-children-and-youth (hämtad 2022-02-02).
10. SSM. 2021. SSM 2021:24 *Metoder för överföring av information och kunskap om slutförvar för radioaktivt avfall*. Tillgänglig på:
www.stralsakerhetsmyndigheten.se/publikationer/rapporter/stralskydd/2021/202124/ (hämtad 2022-02-02).
11. Regeringsbeslut. Miljödepartementet. 2022-01-27. Tillåtlighetsprövning enligt 17 kap. miljöbalken av anläggningar i ett sammanhängande system för slutförvaring av använt kärnbränsle. M2018/00217, M2017/02796, M2021/00969.

12. Regeringsbeslut. Miljödepartementet 2022-01-27. Tillstånd enligt lagen (1984:3) om kärntekniska verksamhet till anläggningar i ett sammanhängande system för slutförvaring av använt kärnbränsle. M2018/00221.
13. Se även: Kärnavfallsrådet. Yttrande 2019-09-13. *Kärnavfallsrådets remissvar angående Svensk kärnbränslehantering AB:s kompletterande yttranden, dels i ärendet om tillåtlighetsprövning enligt 17 kap. miljöbalken, dels enligt Lagen (1984:3) om kärnteknisk verksamhet.* Komm2019/00605/M 1992:A.
14. Se även: Kärnavfallsrådet. Yttrande 2020-06-17. *Kärnavfallsrådets yttrande angående Komplettering i regeringens ärenden angående Svensk Kärnbränslehantering AB:s ansökningar om tillstånd till anläggningar i ett sammanhängande system för slutförvaring av använt kärnbränsle och kärnavfall.* Komm2020/00396/M 1992:A.
15. Zhang, F., Ornek, C., Liu, M., Müller, T., Lienert, U., Ratia-Hanby, V., Carp'en, L., Isotahdon, E., Pan, J. "Corrosion-induced microstructure degradation of copper in sulfide-containing simulated anoxic groundwater studied by synchrotron high-energy X-ray diffraction and ab-initio density functional theory calculation." *Corrosion Science*, 184, 2021, 10939010.2021.
16. Björklund, V. 2021. *The effects of static strain aging on the mechanical performance of nodular cast iron.* M.Sc. thesis, Aalto University. Tillgänglig på:
https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/109797/master_Bj%c3%b6rklund_Ville_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y (hämtad 2022-02-02).
17. SSM. 2021. Strålsäkerhetsmyndighetens granskning av SKB:s analys och rapportering av kopparkorrosionsresultat från försökspaket A3 och S2 i LOT-projektet vid Äspölaboratoriet. Strålsäkerhetsmyndigheten. Dokumentnr: SSM2021-1539-1. Tillgänglig på:
www.stralsakerhetsmyndigheten.se/press/nyheter/2021/resultat-av-lot-tester-i-linje-med-tidigare-kunskap/ (hämtad 2022-02-09).

18. Naturskyddsföreningen m.fl. Yttrande 2021-11-04. *Yttrande från Naturskyddsföreningen, Jordens Vänner och Miljöorganisationernas kärnavfallsgranskning om vikten av att kopparkorrosionsresultat från LOT-försöket utnyttjas maximalt innan ett beslut om tillåtlighet tas i regeringens prövning av kärnbränsleförvarsansökan enligt miljöbalken (M2018-00217/Me) och kärntekniklagen (M2018/00221/Ke).*
19. Kärnavfallsrådet. Yttrande 2021-10-21. *Kärnavfallsrådets svar på Remiss angående kopparkorrosion och gjutjärn när det gäller Ärenden om tillåtlighet enligt miljöbalken och tillstånd enligt lagen om kärnteknisk verksamhet till anläggningar i ett sammanhängande system för slutförvaring av använt kärnbränsle och kärnavfall.* Komm2021/00855/M 1992:A.
20. Läs mer om regeringens beslut om utökad mellanlagring av använt kärnbränsle på:
www.regeringen.se/pressmeddelanden/2021/08/beslut-om-utokad-mellanlagring-av-anvant-karnbransle/
(hämtad 2022-02-02).
21. SKB. 2014. ”Underlag för samråd enligt 6:e kapitlet miljöbalken – för prövningen enligt miljöbalken och kärntekniklagen Oskarshamn – Utökad kapacitet för mellanlagring i Clab.” DokumentID 1448927.
22. SKB. 2015-03-16. Underlag avseende utökad mellanlagring i Clab/Clink. DokumentID 1473843;
Se även: ”Förändringar i Clink och tilläggsyrkande avseende utökad mellanlagring” Tillgänglig på:
www.stralsakerhetsmyndigheten.se/contentassets/4e89ae88294f451dad6cc4d7d0dbb57/forandringar-i-clink-och-tillaggsyrkanden-avseende-utokad-mellanlagring.pdf
(hämtad 2022-02-02).
23. Kärnavfallsrådet. Skrivelse 2021-03-23. Slutförvaret för använt kärnbränsle ska prövas i skilda rättsprocesser enligt två olika lagar. Komm2021/00235 /M 1992:A. Tillgänglig på:
www.karnavfallsradet.se/sites/default/files/documents/provning_och_sarskiljning_av_slutforvarssystemet.pdf
(hämtad 2022-02-02).

24. Mark- och miljödomstolen vid Nacka tingsrätt. 2021. Mål nr M 1333-11. Aktbilaga 865. Information och tidsplan. 2022-01-04.
25. Informationsmöte 2021-10-08 om SKB:s planer för fortsatt prövning av utökad mellanlagring i Clab. Dokumentnr: SSM2021-6219-1.
26. Läs mer på: www.naturvardsverket.se/om-miljoarbetet/internationellt-miljoarbete/internationella-miljokonventioner/esbokkonventionen--om-information-till-grannlander/ (hämtad 2022-02-02).
27. Naturvårdsverket. 2016-05-27 Ärendenr: NV-07138-15. Redovisning av genomfört gränsöverskridande samråd för SKB:s planerade mellanlagring, inkapsling och slutförvar av använt kärnbränsle, Mål nr M1333-11. Se Aktbilaga 393. Mark- och miljödomstolen vid Nacka tingsrätt. Mål nr M1333-11.
28. Naturvårdsverket, Ärende NV-00432-21.
29. Naturvårdsverket, ärende NV-07138-15.
30. Regeringsbeslut. Miljödepartementet. 2021-12-22. Tillstånd enligt lagen om kärnteknisk verksamhet att inneha, bygga ut och fortsätta driva slutförvaret för låg- och medelaktivt avfall (SFR). M2019/01879.
31. Regeringsbeslut. Miljödepartementet. 2021-12-22. Tillåtlighetsprövning enligt 17 kap miljöbalken av anläggning för slutförvaring av kortlivat låg- och medelaktivt avfall mm (SFR). M2019/02009.
32. Regeringsbeslut. Miljödepartementet. 2020-12-10. Beslut rörande Program för forskning, utveckling och demonstration av metoder för hantering och slutförvaring av kärnavfall 2019. M2020/00539, M2020/01086.
33. Beräkningarna redovisas av SKB i en rapport. Den senaste är: SKB. 2019. *Plan 2019 Kostnader från och med år 2021 för kärnkraftens radioaktiva restprodukter Underlag för avgifter och säkerheter åren 2021–2023*. Tillgänglig på: www.skb.com/publication/2493480 (hämtad 2022-02-02).

34. www.karnavfallsradet.se/karnavfall-och-slutforvaring/finansiering-av-karnavfallshantering (hämtad 2022-02-02).
35. Riksgäldens förslag på kärnavfallsavgifter och säkerhetsbelopp för reaktorinnehavare för år 2022–2023. Se: www.riksgalden.se/sv/press-och-publicerat/pressmeddelanden-och-nyheter/nyheter/2021/forslag-pa-karnavfallsavgifter-och-sakerhetsbelopp-for-reaktorinnehavare-for-ar-2022-2023/ (hämtad 2022-02-02).
36. Regeringen har beslutat kärnavfallsavgifter för 2022–2023 enligt Riksgäldens förslag. Se: www.riksgalden.se/sv/press-och-publicerat/pressmeddelanden-och-nyheter/pressmeddelanden/20223/regeringen-har-beslutat-karnavfallsavgifter-for-2022-2023-enligt-riksgaldens-forslag/ (hämtad 2022-02-02).
37. Ett förtydligt statligt ansvar för vissa kärntekniska verksamheter. Forsvarsutskottets Betänkande 2019/20:FöU10 – Riksdagen. Tillgänglig på: www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/arende/betankande/ett-fortydligt-statligt-ansvar-for-vissa_H701F%C3%B6U10 (hämtad 2022-02-09).
38. Se lista på SSM:s föreskrifter: www.stralsakerhetsmyndigheten.se/regler/foreskrifter/ (hämtad 2022-02-02).
39. Se: www.stralsakerhetsmyndigheten.se/press/nyheter/2021/miljoorganisationer-kan-soka-statligt-stod-for-arbete-med-slutforvarsfragor/ (hämtad 2022-02-02).
40. Miljödepartementet. 2021-06-22 M2021/01270. Utredning om en långsiktig finansiering för kommuner och ideella miljöorganisationers medverkan i frågor om slutförvar (M 2021:B) och Uppdrag att utreda långsiktig finansiering för kommuners och ideella miljöorganisationers medverkan i frågor om slutförvar.

- 41.SSM. 2021. 2021:15 *Nationell Plan: Ansvarsfull och säker hantering av använt kärnbränsle och radioaktivt avfall i Sverige*. Tillgänglig på:
www.stralsakerhetsmyndigheten.se/press/nyheter/2021/nationell-plan-for-ansvarsfull-och-saker-hantering-av-anvant-karnbransle-och-radioaktivt-avfall-i-sverige-ar-uppdaterad/
(hämtad 2022-02-02).

Kommittédirektiv 1992:72

Vetenskaplig kommitté med uppgift att utreda frågor om kärnavfall och om avställning och rivning av kärntekniska anläggningar m.m.

Beslut vid regeringssammanträde 1992-05-27. Chefen för Miljö- och naturresursdepartementet, statsrådet Johansson, anför

Mitt förslag

Jag föreslår att en särskild kommitté med vetenskaplig inriktning tillsätts med uppgift att utreda frågor om kärnavfall och om avställning och rivning av kärntekniska anläggningar och för att lämna regeringen och vissa myndigheter råd i dessa frågor.

Bakgrund

I propositionen 1991/92:99 om vissa anslagsfrågor för budgetåret 1992/93 samt om ändringar i den statliga organisationen på Kärnavfallsområdet föreslog regeringen att Statens kärnbränslenämnd läggs ned som egen myndighet och att verksamheten förs över till Statens kärnkraftinspektion. I propositionen anfördes att det vetenskapliga råd – KASAM – som finns knutet till Kärnbränslenämnden skulle ges en mer fristående ställning och knytas direkt till Miljö- och naturresursdepartementet som en utredning i stället för att i administrativt hänseende vara knutet till en myndighet.

Riksdagen (1991/92:NU22, rskr.226) har beslutat i enlighet med regeringens förslag till ändrad statlig organisation på kärnavfallsområdet.

En särskild kommitté med vetenskaplig inriktning med uppgift att utreda frågor om kärnavfall och om avställning och rivning av kärntekniska anläggningar och med uppgift att lämna regeringen och vissa myndigheter råd i dessa frågor, bör alltså tillsättas.

Uppdraget

Kommittén bör

- vart tredje år med början år 1992, senast den 1 juni, i ett särskilt betänkande redovisa sin självständiga bedömning av kunskapsläget på kärnavfallsområdet.
- senast nio månader efter den tidpunkt som anges i 25 § förordningen (1984:14) om kärnteknisk verksamhet redovisa sin självständiga bedömning av det program för den allsidiga forsknings och utvecklingsverksamhet och de övriga åtgärder som den som har tillstånd att inneha och driva en kärnkraftsreaktor skall upprätta eller låta upprätta enligt 12 § Lagen (1984:3) om kärnteknisk verksamhet.

Kommittén bör även lämna råd i ärenden med anknytning till kärnavfallsområdet till Statens kärnkraftinspektion och Statens strålskyddsinstitut när detta begärs av dem.

I mån av behov och tillgång på medel bör kommittén få företa Utrikes resor för att studera anläggningar och verksamhet inom kärnavfallsområdet samt anordna seminarier kring övergripande frågor inom kärnavfallshanteringen.

Kommittén bör beakta regeringens direktiv till statliga kommittéer och särskilda utredare angående utredningsförslagets inriktning (Dir. 1984:5) samt angående EG-aspekter i utredningsverksamheten (Dir. 1988:43).

Kommittén bör bestå av en ordförande och högst tio andra ledamöter. Den bör också i mån av behov och tillgång på medel få anlita utomstående för särskilda uppdrag. Ordförande, ledamöter, sakkunniga, experter, sekreterare och annat biträde bör utses för en bestämd tid.

Kommitténs uppdrag skall anses vara slutfört när regeringen beslutat i anledning av en ansökan om slutförvar för använt kärnbränsle och högaktivt kärnavfall i Sverige.

Hemställan

Med hänvisning till vad jag nu har anfört hemställer jag att regeringen bemyndigar chefen för Miljö- och naturresursdepartementet

- att tillkalla en särskild kommitté med vetenskaplig inriktning – omfattat av kommittéförordningen (1976:119) – med högst elva ledamöter med uppgift att utreda frågor om kärnavfall och om avställning och rivning av kärntekniska anläggningar och för att lämna regeringen och vissa myndigheter råd i dessa frågor,
- att besluta om ordförande, ledamöter, sakkunniga, experter, sekreterare och annat biträde.

Vidare hemställer jag att regeringen beslutar att kostnaderna skall belasta fjortonde huvudtitelns anslag Utredningar m.m.

Beslut

Regeringen ansluter sig till föredragandens överväganden och bifaller hans hemställan.

Kommittédirektiv 2009:31

Tilläggsdirektiv till Kärnavfallsrådet (M 1992:A)

Beslut vid regeringssammanträde den 8 april 2009

Sammanfattning

Statens råd för kärnavfallsfrågor inrättades genom beslut vid regeringssammanträde den 27 maj 1992 (dir. 1992:72). Rådet, som fortsättningsvis kallas Kärnavfallsrådet, ska utreda och belysa frågor om kärnavfall och om avställning och rivning av kärntekniska anläggningar m.m. samt lämna råd till regeringen i dessa frågor. Utöver regeringen är viktiga målgrupper för Kärnavfallsrådet också berörda myndigheter, kärnkraftsindustrin, kommuner, intresserade organisationer samt politiker och massmedier.

Kärnavfallsrådet ska ha en ämnesmässigt bred vetenskaplig kompetensprofil innefattande naturvetenskap, teknik, samhällsvetenskap och humaniora.

Kärnavfallsrådets uppdrag ska anses slutfört när regeringen har beslutat om ett slutförvar för använt kärnbränsle och högaktivt kärnavfall i Sverige.

Dessa direktiv ersätter direktiven från den 27 maj 1992.

Uppdraget

Kärnavfallsrådet ska bedöma Svensk Kärnbränslehantering AB:s forsknings-, utvecklings- och demonstrationsprogram (Fud-program), ansökningar och övriga redovisningar av relevans för slutför-

varing av kärnavfall. Kärnavfallsrådet ska senast nio månader efter det att Svensk Kärnbränslehantering AB i enlighet med 12 § lagen (1984:3) om kärnteknisk verksamhet har lämnat sitt Fud-program redovisa sin självständiga bedömning av den forsknings- och utvecklingsverksamhet och de övriga åtgärder som redovisas i programmet. Rådet ska även följa det arbete som sker inom avveckling och rivning av kärntekniska anläggningar.

Kärnavfallsrådet ska under februari månad varje år fr.o.m. 2010 redovisa föregående års arbete och sin självständiga bedömning av det aktuella läget inom kärnavfallsområdet.

Kärnavfallsrådet ska utreda och belysa viktiga frågor inom kärnavfallsområdet, bl.a. genom utfrågningar och seminarier, och skapa förutsättningar för så väl underbyggda råd till regeringen som möjligt.

Kärnavfallsrådet ska följa utvecklingen av andra länders slutförvarsprogram avseende hantering av kärnavfall och använt kärnbränsle. Rådet bör även följa och vid behov delta i internationella organisationers arbete i kärnavfallsfrågan.

Dessa direktiv ersätter direktiven från den 27 maj 1992 (dir. 1992:72).

Organisation

Kärnavfallsrådet ska bestå av en ordförande och högst tio andra ledamöter (varav en fungerar som vice ordförande). Ledamöterna ska ha en bred vetenskaplig kompetens inom områden som berör kärnavfallsfrågan. Den kan vid behov och tillgång på medel anlita utomstående för särskilda uppdrag. Ordförande, ledamöter, sakkunniga, experter, sekreterare och annat biträde ska utses för en bestämd tid.

Tidsplan

Kärnavfallsrådets uppdrag ska anses slutfört när regeringen har beslutat om ett slutförvar för använt kärnbränsle och högaktivt kärnavfall i Sverige.

(Miljödepartementet)

Kommittédirektiv 2018:18

Tilläggsdirektiv till Kärnavfallsrådet (M 1992:A)

Beslut vid regeringssammanträde den 1 mars 2018

Ändring av uppdrag och tid

Statens råd för kärnavfallsfrågor (Kärnavfallsrådet) inrättades genom beslut vid regeringssammanträde den 27 maj 1992 (dir. 1992:72), ersatt av tilläggsdirektiv (2009:31).

Kärnavfallsrådet ska fr.om. 2018 redovisa de föregående årens arbete och sin självständiga bedömning av det aktuella läget inom kärnavfallsområdet vartannat år, i stället för årligen.

Kärnavfallsrådets uppdrag blir tidsbegränsat till den 31 december 2022. Uppdraget kan därefter förlängas med högst fem år i taget.

Dessa direktiv ersätter direktiven från den 8 april 2009.

Uppdraget

Kärnavfallsrådet ska utreda och belysa frågor om hantering och slutförvaring av använt kärnbränsle och kärnavfall samt om avställning och rivning av kärntekniska anläggningar. Rådet ska också lämna råd till regeringen i dessa frågor. Viktiga målgrupper utöver regeringen är berörda myndigheter, kärnkraftsindustrin, kommuner, intresserade organisationer samt politiker och massmedier.

Kärnavfallsrådet ska ha en ämnesmässigt bred vetenskaplig kompetensprofil innefattande naturvetenskap, teknik, samhällsvetenskap och humaniora.

Kärnavfallsrådet ska bedöma Svensk Kärnbränslehantering AB:s forsknings-, utvecklings- och demonstrationsprogram (Fud-program), ansökningar och övriga redovisningar av relevans för slutförvaring av kärnavfall. Kärnavfallsrådet ska senast nio månader efter det att Svensk Kärnbränslehantering AB i enlighet med 12 § lagen (1984:3) om kärnteknisk verksamhet har lämnat sitt Fud-program redovisa sin självständiga bedömning av den forsknings- och utvecklingsverksamhet och de övriga åtgärder som redovisas i programmet. Rådet ska även följa det arbete som sker inom avveckling och rivning av kärntekniska anläggningar.

Kärnavfallsrådet ska under februari månad vartannat år fr.o.m. 2018 redovisa de föregående årens arbete och sin självständiga bedömning av det aktuella läget inom kärnavfallsområdet.

Kärnavfallsrådet ska utreda och belysa viktiga frågor inom kärnavfallsområdet, bl.a. genom utfrågningar och seminarier, och skapa förutsättningar för så väl underbyggda råd till regeringen som möjligt.

Kärnavfallsrådet ska följa utvecklingen av andra länders slutförvarsprogram avseende hantering av kärnavfall och använt kärnbränsle. Rådet bör även följa och vid behov delta i internationella organisationers arbete i kärnavfallsfrågan.

Kärnavfallsrådets uppdrag löper till den 31 december 2022. Uppdraget kan därefter förlängas med högst fem år i taget.

Organisation

Kärnavfallsrådet ska bestå av en ordförande och högst tio andra ledamöter, varav en fungerar som vice ordförande. Ledamöterna ska ha en bred vetenskaplig kompetens inom områden som berör kärnavfallsfrågan. Rådet kan vid behov och tillgång på medel anlita utomstående för särskilda uppdrag. Ordförande, ledamöter, sakkunniga, experter, sekreterare och annat biträde ska utses för en bestämd tid.

(Miljö- och energidepartementet)

Statens offentliga utredningar 2022

Kronologisk förteckning

1. Förbättrade åtgärder när barn misstänks för brott. Ju.
2. En skärpt syn på brott mot journalister och utövare av vissa samhällsnyttiga funktioner. Ju.
3. Sveriges tillgång till vaccin mot covid-19 – framgång genom samarbete och helgardering. S.
4. Minska gapet. Åtgärder för jämställda livsinkomster. A.
5. Innehållsvillkor för public service på internet – och ordningen för beslut vid förhandsprövning. Ku.
6. Hälso- och sjukvårdens beredskap – struktur för ökad förmåga. Del 1 och 2. S.
7. Kunskapsläget på kärnavfallsområdet 2022. Samhället, tekniken och etiken. M.

Statens offentliga utredningar 2022

Systematisk förteckning

Arbetsmarknadsdepartementet

Minska gapet. Åtgärder för minskade
livsinkomster. [4]

Justitiedepartementet

Förbättrade åtgärder när barn misstänks
för brott. [1]

En skärpt syn på brott mot
journalister och utövare av vissa
sambällsnyttiga funktioner. [2]

Kulturdepartementet

Innehållsvillkor för public service på
internet – och ordningen för beslut vid
förhandsprövning. [5]

Miljödepartementet

Kunskapsläget på kärnavfallsområdet
2022. Samhället, tekniken och etiken.
[7]

Socialdepartementet

Sveriges tillgång till vaccin mot covid-19
– framgång genom samarbete och
helgardering. [3]

Hälso- och sjukvårdens beredskap
– struktur för ökad förmåga.
Del 1 och 2. [6]